*Η σοφία είναι η πιο ακριβής επιστήμη.*

*Αριστοτέλης (384 - 322 πρ. Χρ.)*

*Мъдростта е най-точната наука.*

*Аристотел (384 - 322 пр. Хр.)*

























© Space Research and Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences

ISSN 1313 - 3888
2014

SES 2013

# SES 2013

## Ninth Scientific Conference with International Participation

## SPACE, ECOLOGY, SAFETY

**20 - 22 November 2013, 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**

**REPRESENTATIVE OFFICE OF ROSSOTRUDNICHESTVO IN BULGARIA**

# *NINTH SCIENTIFIC CONFERENCE*
## *with International Participation*

**Devoted to the 25-th Anniversary of the *Shipka* Scientific Programme and the Mission of the Bulgarian Astronaut Alexander Alexandrov**

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

# S E S 2013

# PROCEEDINGS

**2014**

## Organizational Committee

***Honoured Chairman:*** Acad. Stefan Vodenicharov

***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. Konstantin Peev
Dr. Krassimir Stoyanov
Chief Assistant Rumen Shkevov
Chief Assistant Maria Dimitrova
Valeri Vassev, MS
Valeriy Varbanov, MS
Adelina Kuzeva, MS

## Scientific-Programming Council

Acad. Lev Zelenyi – Russia
Prof. Gennadiy Maklakov – Ukraine
Prof. Rupert Gerzer – Germany
Prof. Alen Hauchecorne – France
Prof. Gerasimos Papadopoulos – Greece
Prof. Stefano Tinti – Italy
Dr. Stoyan Velkoski – Macedonia

General Dr. Alexander Alexandrov
Acad. Chavdar Roumenin, DSc
Corr. Member Peter Velinov, DSc
Corr. Member Filip Filipov, DSc
Prof. Petar Getsov, DSc
Prof. Garo Mardirossian, DSc
Prof. Nikola Vichev, DSc
Prof. Dr. Boyko Ranguelov
Chief Assistant Georgi Jelev
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 Ninth Scientific Conference with International Participation „Space, Ecology, Safety - SES 2013", which was held on 20 – 22 November 2013 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/fax: (+359 2) 988 35 03
**e-mail: office@space.bas.bg; http://www.space.bas.bg**

# CONTENTS


***Plenary Session***

***Петър Гецов***
Актуално състояние на космическите изследвания в България. . . . . 11

***Славейко Нейчев, Станислав Климов, Ангел Анев, Несим Барух, Людмила Белякова, Алла Беликова, Ани Бонева, Анна Бузекова, Дичко Бъчваров, Георги Галев, Валерий Грушин, Мариана Захаринова, Иван Иванов, Олга Лапшина, Румен Недков, Денис Новиков, Валентин Мягких, Павлин Граматиков, Владимир Осипов, Георги Станев, Димитър Теодосиев, Людмила Тодориева***
Прибор за измерване на потенциала на корпуса на МКС: Апаратура и първи резултати. . . . . 15

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

***Ирина Дэспирак, Андрис Любчич, Н. Клейменова***
“Полярные” и “высокоширотные” суббури и условия в солнечном ветре. . . . . 27

***Irina Despirak, Andris Liubchich, Rositza Koleva***
Magnetotail Observations of Substorms Signatures during Different Solar Wind Streams. . . . . .32

***Олеся Исайкина, Юрий Кукса, Игорь Шибаев***
Оценка устойчивости артериального давления и пульса при изменениях геомагнитной активности и атмосферного давления. . . . . .36

***Jordanka Semkova, Tsvetan Dachev, Rositza Koleva, Stefan Maltchev, Nikolay Bankov, Krasimir Krastev, Victor Benghin, Vyacheslav Shurshakov, Vladislav Petrov***
Radiation Environment on the International Space Station in 2012 – September 2013 according Data from Liulin-5 Experiment. . . . . .43

***Йордан Тасев, Димитринка Томова***
Производство на озон от слънчево протонното събитие (SPE) на 20.01.2005. . . . . .48

***Yavor Chapanov, Victor Gorshkov***
Possible Space Origine of 6-Year Earth Oscillations. . . . . .55

***Yavor Chapanov***
Solar Excitation of Decadal Climate, Mean Sea Level and Earth Rotation Cycles. . . . . 60

***Krasimira Yankova***
MHD Effects in Development of the Accretion Flow. . . . . 69

***Кирил Кабадийски, Снежан Божков, Александр Даскалов***
Применение принципа "антигравитация" для транспортировки грузов на Землю с Луны. . . . . .74

***Tsvetan Georgiev***
Distributions of the Solar System Bodies by Masses, Densities and Orbits. . . . . 79

***Andrey Kirillov, Rolf Werner, Veneta Guineva***
The Distribution of Solar Proton Energy on Electronic States of Molecules in the Mixture of $N_2$, $O_2$, Co, $Co_2$ Gases. . . . . .86

***Veneta Guineva, Rolf Werner, Andrey Kirillov***
A Method to Compute the Atmospheric $O_2$ Extinction Spectrum – Analysis and Estimate of Some Input Parameters . . . . . .94

***Мария Димитрова, Мариана Захаринова, Румен Недков, Пламен Христов***
Анализ на познаваемостта на прогнозите за космическото време през 2013 година. . . . . 100

***Мария Димитрова, Биляна Велчева, Деян Гочев***
Влияние на космическото време върху качеството на телекомуникационните услуги. . . . . 106

***Мария Димитрова, Биляна Велчева, Деян Гочев, Пламен Тренчев***
Физическо взаимодействие на променливо геомагнитно поле с радиовълните – ефекти върху комуникациите. . . . . .110

***Костадин Шейретски, Румен Шкевов, Николай Ерохин***
Теорема за резонансния хамилтониан на неавтономна колебателна система. . . . . .115

***Daniela Boneva, Lachezar Filipov, Krasimira Yankova, Deyan Gotchev, Zhivko Zhelezov, Georgi Chamov, Mariya Bivolarska, Spaska Yaneva***
Application of Nanosatellites in the Near-Earth Space Investigation. . . . . .120

***Петър Тонев, Петър Велинов, Мария Димитрова, Лъчезар Матеев, Йордан Тасев, Мария Абунина, Анатолий Абунин, Анатолий Белов, Сергей Гайдаш***
Энергетическая оценка событий космической погоды для периода 2011 - 2012. . . . . .125

***Peter Tonev***
Effects in Equatorial Lower Ionosphere Caused by Electric Fields from Tropospheric Sources. . . . 133

***Анна Бузекова – Пенкова, Стела Атанасова – Владимирова***
Картиране по елементен състав на дисперсноуякчена алуминиева сплав. . . . . 138

***Session 2***
***Aerospace Technologies and Biotechnologies***

***Таня Иванова***
Автоматизираните космически оранжерии - българският принос за полета на човека до Марс. . . . . .147

***Таня Иванова, Иван Дандолов***
Проекти на ЕКА за изследвания с растения в условия на микрогравитация. . . . . 153

***Геннадий Маклаков***
Система за подготовка на млади учени в областта на аерокосмическите технологии. . . . . .159

***Georgi Milev, Keranka Vassileva, Ivo Milev, Rumen Pelovski, Ivailo Andreev, Gergana Gerova***
Current Status and Activities of Satellite Groung-Based System EUPOS and EUPOS-BG. . . . . 163

***Николай Загорски***
Човешкият фактор – основен елемент при декомпозиция на модела 5 x M за причините за авиационни произшествия. . . . . 174

***Николай Загорски***
Външната среда – основен елемент при декомпозиция на модела 5 x M за причините за авиационни произшествия. . . . . 181

***Светлозар Асенов, Николай Загорски, Ангелина Чожгова***
Техническите фактори – основен елемент при декомпозиция на модела 5 x M за причините за авиационни произшествия. . . . . .186

***Светлозар Асенов, Ангелина Чожгова, Николай Загорски***
Оценка на експлоатационната надеждност на газотурбинни двигатели на вертолети среден клас. . . . . .190

***Ангелина Чожгова, Светлозар Асенов, Николай Загорски***
Сравнителен анализ на експлоатационните характеристики на самолети с военно предназначение. . . . . .196

***Михаил Владов, Дмитрий Добров, Петр Гецов, Георги Сотиров***
Экспериментальные исследования работы систем СКИ «АГАТ» при температуре окружающей среды до 500 ºС. . . . . .202

***Александър Костовски, Димитър Моралийски, Томислав Скандалиев***
Научно-изследователска ракета „ОСОГОВО” . . . . . 207

***Калин Крумов, Христофор Скандалиев***
Използване на конвенционални GPS устройства за проследяване на изследователски ракети. . . . . 213

***Христофор Скандалиев, Калин Крумов***
Изследване параметрите на екологично ракетно гориво *КАЛИЕВ НИТРАТ – ИЗОМАЛТ*. . . . . .219

***Евгени Хубенов, Антонио Андонов, Зоя Чифлиджанова***
Адаптивно управление на комуникационни мрежи на база на дискретно-събитиен анализ на потоците от информационни обекти. . . . . .225

***Зоя Хубенова, Владимир Гергов***
Проблемът за човешкия фактор при оценка ефективността на функциониране на сложни ергатични системи. . . . . 231

***Пламен Костов, Константин Методиев***
Особености и приложение на електронни тензиометри и преобразуватели на налягане в системите за напояване на растенията. . . . . .237

***Илияна Илиева, Йордан Найденов***
Резултати от използването на блок за осветление на светодиоди в лабораторни условия за отглеждане на *листна цикория*. . . . . 243

***Boyan Benev, Alexey Stoev, Penka Stoeva***
Comparative Analysis of Different Coil Systems Used for Calibration of Magnetometers. . . . . .248

***Plamen Arapchev***
Regeneration of the Energy or Basics of the Regerative Energetics. . . . . .252

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

***Хернани Спиридонов, Георги Желев***
Палеагеография на неогенските басейни в Северна България . . . . . 261

***Atanas Atanassov***
Parallel Solving of Situational Problems for Space Mission Analysis and Design. . . . . .283

***Atanas Atanassov***
Orbit Path Filter for Detection of Dangerous Satellite-Satellite and Satellite-Space Debris Close Approaches. . . . . 289

***Rumiana Kancheva, Denitsa Borisova, Georgi Georgiev***
Deriving Information on Winter Wheat Performance from In-Season Variations of Crop Canopy Reflectance. . . . . 294

***Rumiana Kancheva, Denitsa Borisova, Georgi Georgiev***
Relationships between Plant Optical Properties and Chlorophyll Content. . . . . 303

***Александър Гиков, Петър Димитров***
Проследяване промените на земното покритие в района на Седемте езера, Рила планина за периода 1988 - 2010 г. . . . . .312

***Златомир Димитров, Александър Гиков***
Приложение на атмосферни корекции на сателитни изображения с много висока разделителна способност в планински територии. . . . . 321

***Hristo Nikolov, Denitsa Borisova***
Application of Multitemporal Remote Sensing Data in Large Water Basins Area Estimation. . . . . 329

***Валентин Атанасов, Георги Желев, Деница Борисова, Кирил Алексиев, Петя Копринкова***
Анализ на грешките в спектрометричните измервания. . . . . 334

***Валентин Атанасов, Деница Борисова, Георги Желев, Кирил Алексиев, Петя Копринкова***
Коригиране на грешките в спектрометричните измервания. . . . . .340

***Петя Копринкова-Христова, Кирил Алексиев, Деница Борисова, Георги Желев, Валентин Атанасов***
Автоматична клъстеризация на многоспектрални изображения посредством рекурентни невронни мрежи. . . . . .348

***Ivan Yanev, Lachezar Filchev***
Land Surface Temperature of Urban Areas Using Thermal Remote Sensing Data: State of the Art, Problems and Perspectives. . . . . .357

***Мила Атанасова, Явор Чапанов***
Движение на геоцентъра и неговото влияние в изменението на координатите и скоростите на точки от земната повърхност. . . . . .363

***Георги Петров, Ралица Берберова***
Методи за цифрова сигнална обработка в компютърно подпомагания анализ на радарграми от земно-насипни съоръжения. . . . . .369

***Георги Петров***
Концептуален фреймуърк за визуализация и цифрова обработка на радарграми. . . . . 377

***Bogdana Mendeva***
Ozone Dynamics over Bulgaria. . . . . 381

***Веселин Ташев, Ролф Вернер, Мариана Горанова, Ангел Манев, Богдана Мендева, Димитър Вълев***
Обработка и изследване на двегодишни данни за добив на слънчева енергия с използване на MC Vantage Pro2 Plus в регион Ст. Загора. . . . . 387

***Иван Димитров***
Никулицел – Голямо кале и Малко кале. . . . . 395

***Иван Димитров***
Динамика на делтата на река Дунав – исторически карти и сателитни снимки. . . . . .400

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

***Boyko Ranguelov, Steliyan Zhelezov, Dimitrin Dimitrov, Stoyan Petkov, Nadia Marinova***
The EU 7FP Project Enclose – Feasibility Study, Soft Measures and Sulp Intentions for Balchik. . . 407

***Надя Маринова***
Маркетингови механизми за опазване на околната среда и екологичен риск. . . . . 412

***Marieta Dimitrova, Anna Kortcheva, Vasko Galabov***
Validation of the Marine Multi-Hazard System of NIMH-BAS through the Satellite Earth Observation Data. . . . . .416

***Ралица Берберова***
Анализ на статистически данни за наводнения в Р. България . . . . . .424

***Биляна Костова, Ралица Берберова***
Състояние на микроязовирна стена на язовир Блатница, община Стрелча. . . . . 429

***Екатерина Иванова, Ивица Милевски***
Картографиране на свлачищната чувствителност на територията на общините Пехчево и Симитли чрез моделиране в GIS. . . . . 434

***Ivica Milevski, Ekaterina Ivanova***
Erosion Potential Modeling of the Territory of Municipalities Pehchevo and Simitli Using Remote Sensing Data. . . . . 444

***Калина Левкова***
Успешни практики в организирането на щадящ природата туризъм. Бизнесът като позитивен фактор в опазването на природата. . . . . 451

***Борис Ценков***
Астроинженеринг срещу промените на климата. . . . . .457

***Борис Ценков***
Проект *Феникс енержи*. . . . . .464

***Веска Василева***
Космосът – настояще и бъдеще на човечеството. . . . . .469

***Session 5***
***Space Material Science and Nanotechnology***

***Ivan Nikolov, Nina Sultanova, Stefka Kasarova***
Polymer Materials for NIR and Laser Applications . . . . . .475

***Васил Кавърджиков, Десислава Пашкулева, Иван Николов, Михаил Чурбанов***
Оптични системи за микро- и нано-фокусиране на базата на оптични материали работещи в инфрачервения диапазон. . . . . .481

***Анна Петрова, Силвия Симеонова, Тинка Грозданова***
Физико-механични свойства на образци от титанова керамика покрити със стъкловъглерод за приложение в медицината. . . . . 487

***Анна Бузекова - Пенкова***
Изследвания на механичните свойства на дисперсноуякчена алуминиева сплав, предназначена за открития Космос. . . . . 492

***Mila Ilieva-Obretenova***
Quantum Sensor for Magnetic Field. . . . . 497

***Mila Ilieva-Obretenova***
Information Model for Management of Nanotechnologies . . . . . 506

***Владимир Петков, Йонка Иванова, Димитър Теодосиев, Радослав Вълов***
Биокерамика от висококяк композиционен материал на основата на $AL_2O_3$ и нанодисперсен въглерод. . . . . 511

***Людмил Марков***
Синтез на наноразмерни диаманти с използване енергията на взрива. . . . . 516

***Людмил Марков, Юлиян Караджов, Росица Димитрова, Валентин Манолов***
Взривно синтезиран, деагрегиран и модифициран нанодиамант за приложение в наномодифицирани сплави. . . . . .520

***Valentin Gospodinov***
Volume Dependence of the Grüneisen Ratio for Equation-of-State Studies. Phenomenological Expressions. . . . . .523

***Adelina Miteva, Valeria Stoyanova***
On Some Experimental Studies of the Quantum Confined Stark Effect in Semiconductor Nanostructures. . . . . 530

***Adelina Miteva, Valeria Stoyanova***
Quantum-Confined Stark Effect in Semiconductor Nanostructures and Its Device Applications. . . . 536

***Тинка Грозданова***
Състояние на контактната зона при триене на метали и сплави във вакуум. . . . . .542

***Late Submissions***

***Николай Ерохин, Румен Шкевов, Надежда Зольникова, Алекс Ерохин, Людмила Михайловская***
Исследование серфотронного ускорения электронов в космической плазме для различных продольных импульсах частицы. . . . . 549

***Николай Ерохин, Надежда Зольникова, Людмила Михайловская, Румен Шкевов***
Динамика тропического циклогенеза с вариациями скорости ветра. . . . . .556

***Ventzeslav Dimitrov***
Verification of Forest and Water Bodies High Resolution Layers 2012 for Bulgaria. . . . . 562

# *Plenary Session*

# АКТУАЛНО СЪСТОЯНИЕ НА КОСМИЧЕСКИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ В БЪЛГАРИЯ

**Петър Гецов**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*

**Годината минава под знака на 25-годишнината от полета на Ал. Александров и осъществяването на Научната програма „Шипка”.** Програмата „Шипка” е един от върховете на българските космически изследвания. Както Ви е известно, по нея бяха създадени 12 апаратни системи и прибори. На орбиталната станция „Мир” в Космоса бяха проведени повече от 50 експерименти (фиг. 1). Това голямо събитие беше отбелязано по подобаващ начин на много места в страната: БАН, Омуртаг, Пловдив, Ст. Загора и др. Беше валидирана пощенска марка и открит монумент на космонавта Александров в родния му град Омуртаг.

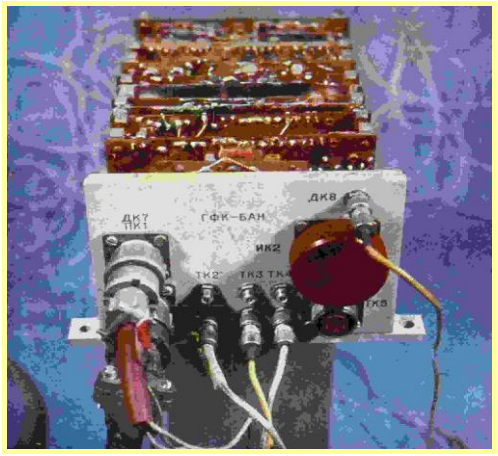



Фиг. 1

**През месец юли в Созопол беше проведена международна конференция по „Космическа физика”,** а през октомври - конференция по програмата **Хоризон-2020 на Европейската комисия,** на която институтът беше съучредител. Тази програма определя дейността ни през следващите години - от 2014 до 2020 включително.

**Днес ние провеждаме нашата конференция „Космос, Екология, Сигурност”, която е девета по ред.** По една хубава традиция ние я провеждаме в Руския културно-

информационен център, за което искам да благодаря на нашите любезни домакини и приятели. Това сътрудничество не е случайно и то започва още от годините на първия прибор П-1, с който България стана 18-та космическа държава в света (фиг.2), по-късно с полета на Г.Иванов - 6-та страна, имаща космонавт (фиг.3), а с полета на Ал. Александров - двама космонавти.



Фиг. 2



Фиг. 3

Аз няма да изреждам всичките ни космически програми, които сме разработвали заедно. Ще кажа само, че и сега българските космически изследвания се базират в голямата си част на сътрудничеството ни с Русия. По линия на междуакадемичния обмен между двете академии в момента се работи по **26 проекта**. Следващата седмица ще има заседание на Руско-българската изпълнителна работна група по фундаменталните космически изследвания в Москва. На това съвещание ще бъдат стартирани, утвърдени и продължени такива проекти като „Екзомарс", „Резонанс", „Балкансат" (фиг.4) и др., които са с голямо значение не само за нас, но и за цялата световна наука.



Фиг. 4

Аз вече много пъти съм подчертавал, че сега **проектното финансиране** няма алтернатива, тъй като всъщност само по този начин ние можем да преминем към нов начин на сътрудничество, което се характеризира с по-голяма конкретика на целта на изследванията, източниците и размера на финансирането, времето за изпълнение и очакваните резултати. Следвайки този принцип, ние бавно, но уверено се включваме в европейското научно космическо пространство. Така например, през последните три години в института се разработват около **84 проекта**, като 18 са финансирани по договори и програми на ЕС, **седем са по 7-ма рамкова програма** (Попдат, Космос, Проба-В и др.), т.е. освен с Русия ние имаме сътрудничество и с Германия, Англия, Белгия, Чехия, Полша, Украйна, Латвия, Китай и поне още 20 държави.

**Работи се и по 12 договори с министерства, ведомства и фирми** от страната и 9 - по договори с фонда „Научни изследвания". Ключовата дума за института сега е

**модернизация.** Без подмяната на остарялото оборудване и създаването на нови лаборатории ние не можем да бъдем актуални и да сме на ниво при търсенето на партньори при участието в европейските проекти. В това отношение много се работи. В момента се изпълнява проект за **създаване на лаборатория по дистанционни методи,** която се финансира по програма „Конкурентоспособност" на стойност около 2 млн. лева. Успешно върви и проекта за създаване на **офис за трансфер на технологии „Риск мениджмънт"**, който е също с европейско финансиране. Осъществяваме **трансфер на аерокосмически технологии** и в момента разработената в института светлинна пътека намира приложение в София, а в перспектива и в много други градове на страната. Във ВМА внедряваме компютъризирана система за подбор, обучение и контрол на оператори на сложни системи. Осъществяваме и **публично-частно партньорство** с около 40 фирми, институти и университети, като участваме в **Клъстер за аерокосмически технологии** по проект за малък спътник на стойност повече от 3 млн. лв. по програмата „Конкурентоспособност" (табл. 1). В института е създаден **Център за изследване на въздействието на Слънцето** и на нашия сайт ежедневно се правят прогнози за космическото време, т.е. влиянието на слънчевите изригвания на хората. България, чрез нашия институт, продължава да присъства активно и в Космоса.

Табл. 1. Списък на проектите на ИКИТ-БАН за периода 2011-2013 г.

| N | Разпределение на проектите | Количество, бр. |
|---|---|---|
| 1 | Проекти за научни изследвания, финансирани от бюджета на БАН | **32** |
| 2 | Проекти, допълнително финансирани по договори с Фонд "Научни изследвания" | **9** |
| 3 | Проекти по договори с министерства, ведомства и фирми от страната | **12** |
| 4 | Проекти, допълнително финансирани по договори и програми на ЕС, НАТО, ЮНЕСКО и др. международни и чуждестранни организации | **18** |
| 5 | Проекти по ЕБР в рамките на междуакадемично и междуинститутско сътрудничество | **45** |
| 6 | Проекти с РАН | **26** |
| 7 | Утвърдени по 7 РП | **7** |
| 8 | Всичко | **116** |

През април тази година от външната страна на Международната космическа станция беше монтирана и българска апаратура за изследване на обстановката около станцията по **проекта „Обстановка**" (фиг. 5). По същото време беше изстрелян и **спътника „Бион**" (фиг. 6), на който също имаше българска апаратура.



Фиг. 5



фиг. 6

Работим сериозно и по въпроса за подмладяване на научния състав на института. В момента върви **проект по програмата „Човешки ресурси”** за подпомагане на докторанти на стойност 200000 лева. Много се прави и за кариерното израстване на състава и в института вече има 12 професори, 24 доценти, 35 доктори и 4 доктори на науките.

Перспективите за развитието на института през следващия период виждаме основно в следните направления:

- активно участие в Европейската програма „Хоризонт-2020”;

- членство в ЕКА;

- приемане в Народното събрание на Закон за космическите изследвания и технологии;

- проектите - Екзомарс, Резонанс, ГМОС и т.н.

**Литература:**


1. Г е ц о в, П. Научно-техническа програма за втория българо-руски космически полет – Проект „Шипка” – основни цели, задачи и резултати. В: Десет години Космически проект „Шипка”, С., 1999, с. 15-22
2. Ч а п к ъ н о в, П. 30 години Институт за космически изследвания при БАН. В: 30 години организирани космически изследвания в България, С., 2000, с. 13-15
3. G e t s o v, P., L. F i l i p o v, E. R o u m e n i n a, A. P a v l o v a, I. N i k o l o v a, D. A n d r e e v a, D. G o t c h e v, N. T o m o v, O. P e t r o v, M. D i m i t r o v a, M. Z a h a r i n o v a. Microsatellite platform “BALKANSAT” and the challenges in Earth Observation. International conference RAST’ 2005, Istanbul, pp 159-161.
4. I v a n o v a, T., P. K o s t o v, S. S a p u n o v a, I. D a n d o l o v. Results from Microgravity Experiments in the SVET Space Greenhouse Onboard the MIR Orbital Station,51. – In: International Astronautical Congres, Rio de Janeiro, 2-6 October 2000, Rep. IAF-00-J.3.10.

# ПРИБОР ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ПОТЕНЦИАЛА НА КОРПУСА НА МКС: АПАРАТУРА И ПЪРВИ РЕЗУЛТАТИ

**Славейко Нейчев[1], Станислав Климов[2], Ангел Анев[3], Несим Барух[4], Людмила Белякова[2], Алла Беликова[2], Ани Бонева[5], Анна Бузекова[1], Дичко Бъчваров[5], Георги Галев[1], Валерий Грушин[2], Мариана Захаринова[1], Иван Иванов[1], Олга Лапшина[6], Румен Недков[1], Денис Новиков[2], Валентин Мягких[2], Павлин Граматиков[1], Владимир Осипов[6], Георги Станев[1], Димитър Теодосиев[1], Людмила Тодориева[1]**

*[1]ИКИТ-БАН, България*
*[2]ИКИ-РАН, Русия*
*[3]ОРТ, България*
*[4]ЕЛЛ-Сливен,България*
*[5]ИИКТ-БАН, България*
*[6]РКК ЕНЕРГИЯ, Русия*

***Ключови думи:*** *Международната космическа станция, свръхголеми космически изкуствени обекти,датчик на потенциала (ДП1 и ДП2), слънчева и геомагнитна активност*

***Резюме:*** *Обстановката в близост до свръхголеми космически изкуствени обекти, каквато е Международната космическа станция, е все още недостатъчно изучен. За комплексното й изследване е предназначен експериментът ОБСТАНОВКА (Първи етап), който е монтиран на повърхността на ЗАРЯ (руския сегмент на МКС). Приборът ДП е предназначен за изследване на зареждането на Руския сегмент на МКС. Два идентични прибора (ДП1 и ДП2) са част от приборния състав на блоковете Плазменовълнов комплекс 1, 2 (ПВК1 и ПВК2). Предвидено е да бъде изследвана динамиката на потенциала в зависимост от слънчевата и геомагнитната активност, дейността на космонавтите, особено по време на работата им на повърхността на станцията, корекциите на орбитата на МКС и скачването и разкачването на космическите кораби с МКС.*

# DEVICE FOR MEASUREMENT OF SPACEKRAFT POTENTIAL OF ISS – EQUIPMENT AND FIRST RESULTS

**Slaveyko Neychev[1], Stanislav Klimov[2], Angel Anev[3], Nesim Baruh[4], Lyudmila Belyakova[2], Alla Belikova[2], Ani Boneva[5], Anna Buzekova[1], Dichko Buchvarov[5], Georgi Galev[1], Valeriy Grushin[2], Mariana Zaharinova[1], Ivan Ivanov[1], Olga Lapshina[6], Rumen Nedkov[1], Denis Novikov[2], Valentin Myagkih[2], Pavlin Gramatikov[1], Vladimir Osipov[6], Georgi Stanev[1], Dimitar Teodosiev[1], Lyudmila Todorieva[1]**

*[1]SRTI-BAS, Bulgaria*
*[2]SRI-RAS, Russia*
*[3]ORT, Bulgaria*
*[4]ELL - Sliven, Bulgaria*
*[5]IICT - BAS, Bulgaria*
*[6]RSK ENERGIA, Russia*

***Abstract:*** *The situation around big space objects such as the International Space Station (ISS) is not yet fully studied. "OBSTANOVKA" (first stage) equipment is designed for complex investigation of this environment. It is mounted on the Russian segment "ZARYA". The DP device is intended to measure the charging of the Russian segment of ISS. There are two identical devices (DP1 and DP2) which are part of the plasma-wave complexes 1 and 2 (PWC1 and PWC2). It is intended to study the potential dynamics depending on the solar and geomagnetic activity, the activity of the astronauts, especially during their work outside the station, ISS orbit corrections and docking and undocking of spacecrafts to the ISS*

**Постановка задачи**

Существующие модели взаимодействия космических аппаратов с окружающей плазмой разработаны и применимы к телам с размерами не более нескольких метров. Международная Космическая Станция многократно превышает этот размер, к тому же очевидна тенденция его дальнейшего увеличения. Из-за этого не ясно насколько корректно применение существующих моделей и поэтому прямые измерения на борту МКС особенно необходимы. Исследование причинно-следственных связей параметров в окресности МКС с солнечной и геомагнитной активностью являются тоже частью программы „Космическая пагода". Это свазано с обеспечением необходимых жизненных условий для космонавтов как в станции, так и особенно на ее поверхности, что исключительно важно при выходе оператора на поверхность в открытый космос.

Наличие различных высокочастотных устройств приводит к возможности генерирования волн и колебаний, а также и к турболентности в окресности МКС. Через механизмы взаимодействия типа волна-частица и волна-волна, высокочастотные воздействия могут трансформироваться в низкочастотные и даже крайненизкочастотные такие, которые влияют значительно на человеческий организм. Исследования, относящиеся к низкочастотным и квазистатическим характеристикам в окресности МКС в зависимости от работы радиопередающих устройств и плазменных излучателей, и есть одна из задач прибора ДП.

Хотя исследование характеристик плазмы в областей ионосферы, где лежит орбита МКС, имеет десятилетнюю историю, существует ряд проблемм, которые не нашли задоволительного объяснения. Например, все еще есть нерешенные проблеммы, связянные с экваториальным фонтан-эффектом и его динамикой, определяющейся солнечно-земными связями. Кроме того, развитие методики зондовых методов в последнее время, дает возможность в ряде случаев использовать резултаты, полученные при измерении электрических полей, для определения таких параметров, которые типичны для классических зондовых приборов, как, например, концентрация. Из-за этого, использование такого прибора для измерения потенциала, как прибор ДП, необходимо при комплексном исследовании параметров плазмы.

При исследовании плазмы зондовыми приборами изучается зависимость суммы собираемых зондом токов в зависимости от потенциала и по отношению к плавающему потенциалу зонда. Эти токи включают также и фототок, который зависит в основном от использованных конструктивных материалов.

Поэтому, качества поверхности зонда влияют в значительной степени на точность измерений. Разработанные методы и средства минимизации этих влияний не учитывают изменений (деградацию), наступивших после длительного влияния околоземной плазмы - потоки энергетических электронов, ультрафиолетовое излучение и др., т.к. до сих пор такие исследования не проводились. Измерение изменений поверхностных свойств материалов, используемых в космическом приборостроении, будут проводиться на образцах до и после пребывания ДП-ПМ на поверхности станции, как и на аналогичных референтных образцах, которые будут деградировать в лабораторных условиях. Такие исследования проводятся впервые в области научных исследований.

Назначение ДП состоит в измерении потенциала корпуса международной космической станции МКС.

Разработка ДП проводилась в соответствии с требованиями ИТТ КНЦ РС МКС.

**Характеристики ДП**

Измерение разности потенциалов между чувствительным элементом и корпусом МКС является основной научной задачей прибора ДП. Это позволяет изучать физические явления, связанные с процессами изменения электрического заряда МКС и временными вариациями электрического потенциала. Наличие двух идентичных приборов ДП, установленных на расстоянии порядка 2 м друг от друга, позволяет осуществить измерение пространственных характеристик электростатического потенциала в окресностях станции МКС. Сверхбольшие размеры МКС предполагают и механизмов заряжения космического объекта, отличных от наблюдаемых и исследованных до сих пор на обычных спутниках. Из-за этого, а также и из-за перемен в конфигурацию космического тела (стыковка и расстыковка с другими космическими аппаратами), можно ожидать высокие значения потенциалов.

Назначение ДП в составе комплекса ПВК состоит в обеспечении измерения потенциала корпуса в ближней зоне (не далее 3 м от поверхности) МКС.

- величины разности потенциалов между чувствительным элементом и корпусом станции МКС в диапазоне ± 100 В в частотном диапазоне от 0 до 500 Гц в секунду и порогом чувствительности по потенциалу не более 3.125 мВ;
- величины разности потенциалов между двумя чувствительными элементами в диапазоне ± 200 В в частотном диапазоне от 0 до 500 Гц в секунду и порогом чувствительности по потенциалу не более 3.125 мВ. Эта величина получается считывая одновременно или в очень близких моментах показания обоих приборов ДП.

ДП позволяют оценить импеданс переходного слоя системы зонд-плазма на поверхности МКС.

ДП обеспечивает измерения следующих физических величин в окрестности МКС: Таблица 1.1.

ТАБЛИЦА 1.1.

| **Физическая величина** | **Измеряемые характеристики** | **Измерительное устройство** |
|---|---|---|
| Измерение потенциала корпуса МКС | Диапазон измеряемых потенциалов:<br>от – 100 В до + 100 В<br>Диапазоны частот 0 – 500 Гц<br>Порог чувствительности – 3.125 мВ | ДП-ПП: первичный преобразователь<br>ДП-ВП: вторичный преобразователь |
| Измерение потенциальной разности между двумя зондами | Диапазон измеряемых потенциальных разностей: от -200 В до +200 В<br>Диапазоны частот: 0 – 500 Гц<br>Порог чувствительности – 3.125 мВ | ДП-ПП: первичный преобразователь<br>ДП-ВП: вторичный преобразователь |
| Измерение величины фототока и его распределение | Величина работы выхода электрона в диапазоне 4.5 – 5.5 эВ<br>(вышеуказанная характеристика измеряется на Земле) | ДП-ПМ: Блок для исследования поверхностных свойств материалов |
| Исследование физико-механических характеристик образцов | Прочность на растяжение<br>Микротвердость | ДП-ПМ: Блок для исследования поверхностных свойств материалов |

**ДП – Состав**

ДП эксперимент состоит из двух идентичных приборов ДП. Каждый из них содержит сензор - электронный преобразовательный блок ДП-ПП (Первичный Преобразователь) и электронный блок ДП-ВП (Вторичный преобразователь). Из-за этого маркировка на двух комплектах блоков ДП-ПП и ДП-ВП одинакова (исключая серийных номеров). В составе одного из приборов ДП (ДП 1) включен и блок ДП-ПМ. Каждый из блоков ДП-ПП установлен на шКВД1 и шКВД2. Оба блока ДП-ВП устанавливаются внутри соответствующего блока комбинированной волновой диагностики комплекса ПВК - КВД1, КВД2, расположенных на внешней поверхности служебного модуля РС МКС на расстоянии порядка 2м друг от друга. Оба прибора ДП разработаны для независимой и непрерывной работы, а также и для изучения способов взаимодействия МКС с нейтральной и заряженной компонентами окружающей среды, что особено важно при формировании МКС, так как структура МКС изменяется периодически. На поверхности блока КВД1 устанавливается блок исследования поверхностных свойств ДП-ПМ, который представляет механическую конструкцию для экспозиции, сохранения и транспортировки образцов. Блок ДП-ПМ прикрепляется космонавтом к одной из сторон КВД1 при помощи "Велкро".

**Масса прибора ДП**

Общая масса прибора ДП **не более 1.525 кг** (без футляра датчика**) и 1.625 кг** (с футляром датчика), при этом масса отдельных блоков:

ДП-ПП: **не более 300 г** (без футляра);
ДП-ПП: **не более 400 г** (с футляром);
ДП-ВП: **не более 0.8 кг;**
ДП-ПМ**: не более 0.32 кг;**
Кабели связи блока ДП-ВП с блоком ДАКУ:
**Д1** - предназначен для блока ПВК1:
длина **не более 850±10 мм.**, масса **не более 150 г;**
**Д2** - предназначен для блока ПВК2:
длина **не более 550±10мм.**, масса **не более 100 г;**

**Блок ДП-ПП**

Блок ДП-ПП состоит из зонда (чувствительный элемент) и из расположенных в нем внутри разборной проводящей коробки, которая используется как эквипотенциальный экран: высоковольтовый буферный усилитель, система относительного управления потенциала защитного электрода и элементы выходного делителя. Зонды прибора ДП это сферические разборные конструкции диаметром 80 мм. Полусферы изготовлены из графита и покрыты стеклоуглеродным покрытием, которое обеспечивает минимальные вариации величины работы выхода электрона по всей поверхности зондов. Стеклоуглеродное покрытие сделано в ИКИ-БАН на основе технологии, которая разработана в БАН.

Для обеспечения вблизи сферы сферическо-симметрического распределения потенциала монтирован Симметрирующий электрод (СЭ), к которому буферный электрод подает потенциал, равный зондовому. Симметрирующий электрод (СЭ) изготовлен из титаново-алюминиевого сплава ВТ3.

Для уменьшения влияния тока низкоэнергетических электронов, которые идут с поверхности станции, проводящая часть между симметрирующим электродом и крепежным элементом несущей штанги представляет Защитный Электрод(ЗЭ), к каторому программно подаются значения потенциала 0 В, -3.5 В и -7 В по отношению потенциала сферы. Защитный электрод (ЗЭ) изготовлен из алюминиевого сплава Д16А.

**Блок ДП-ВП**

Блок ДП-ВП состоит из:

- плата ВИП, обеспечивающая электропитание всего прибора ДП;1408
- плата аналоговой обработки и квантования входных сигналов;
- микрокомпютерная плата.

Основные конструктивные характеристики блока электроники ДП-ВП показаны на Рис. 1.3. Потребляемая мощность прибора ДП не более 2.2 Ват. Время готовности к работе после включения питания не более 5 сек. Напряжение питания 28,5+0,5-5,5 на ДП подается через ДАКУ1,2, которые по командам из БХТИ осуществляют коммутацию напряжений питания на научные приборы блоков КВД1,2.

Пиковое значение пускового тока = 0.35А для Uвх (Uбортсеть) в диапазоне 17-36 В, что означает, что эти значения относятся ко ВСЕМУ диапазону. Время пускового процесса tпуск = 3÷ 5 мсек. Величина тока срабатывания защиты **Iз = 0.35 А.** Защита выключает ВИП после 70 msec тока.

Аналоговая плата блока ДВ-ВП обеспечивает:

- питание буферного усилителя БУ в диапазоне +/- 100 В;
- питание ДП-ПП в диапазоне +/- 5 В;
- преобразование аналогового сигнала в цифровом виде, поступающего от ДП-ПП.

Цифровая плата блока ДВ-ВП обеспечивает:

- управление и контроль обмена информации с блоком ДАКУ;
- предварительная обработка цифрового сигнала с использованием цифровой фильтрации;
- подготовка цифрового сигнала для передачи измеренных данных к блоку ДАКУ при помощи программно-реализованного управляемого низкочастотного фильтра;
- подготовка информации для передачи к блоку ДАКУ в соответствии с протоколом

принятого протокола обмена информации;

– передача данных после обработки (цифровой фильтрации) с целью уменьшения объема передаваемой информации;

– реализация выбора Времевого интервала фильтрации определяется через команду, поданную от ДАКУ. Описание соответствующих команд и параметров к ним дано ниже

– управление работы блока ДП-ВП для выработки напряжения ЗАЩИТНОГО электрода. (0 В, -3.5.В, -7В)

– слежение индикации о перегрузке по току от ЗЭ;

– управление работы прибора ДП во время наземной работы.

Прибор ДП измеряет и передает информацию о потенциале корпуса МКС в следующие информационные режимы (количество измерваний за секунду):

– Быстрый: 200;
– РАБОЧИЙ: 100, 50, 20, 12.5;
– БАЗОВЫЙ: 10, 8, 4, 2, 1.25;
– МЕДЛЕННЫЙ: 1, 0.8, 0.5;
– ДЕЖУРНЫЙ 0.33.

– Блок ДП-ПМ представляет контейнер из алюминиевого сплава В95Т с габаритными размерами 185х70х10 мм. Во внутренности контейнера расположены следующие типы образцов:

– 8 шт. из графита с покрытием из стеклоуглерода (30х15х8 мм);
– 10 шт. цилиндрические из модификации алюминиевых сплавов (70мм и max Ø 7 мм );
– 4 шт. из модификации алюминиевых сплавов (22х15х4.5 мм).

С целью экспонирования образцов, контейнер укрепляется космонавтом (без защитной крышки) к поверхности блока КВД1 посредством „Велкро”. После простоя из не меньше 6 (шести) месяцев на поверхности КВД1 в условиях околоземной орбиты, блок ДП-ПМ подлежит возврату на Землю для дальнейших исследований и должен быть передан в ИКИ РАН (ИКИ БАН).

**Первые результати прибора ДП**

Из-за некоторых организационных проблем обработка данных прибора ДП (ДП1 и ДП2) эксперимента “ОБСТАНОВКА Первый этап” на борту Международной космической станции началась с некоторым опазданием. Из-за этого все еще не обработана вся информация с прибора во время натурных испытаний.

1. Характерный вид получаемой информации после первичной обработки выглядит следующим образом:

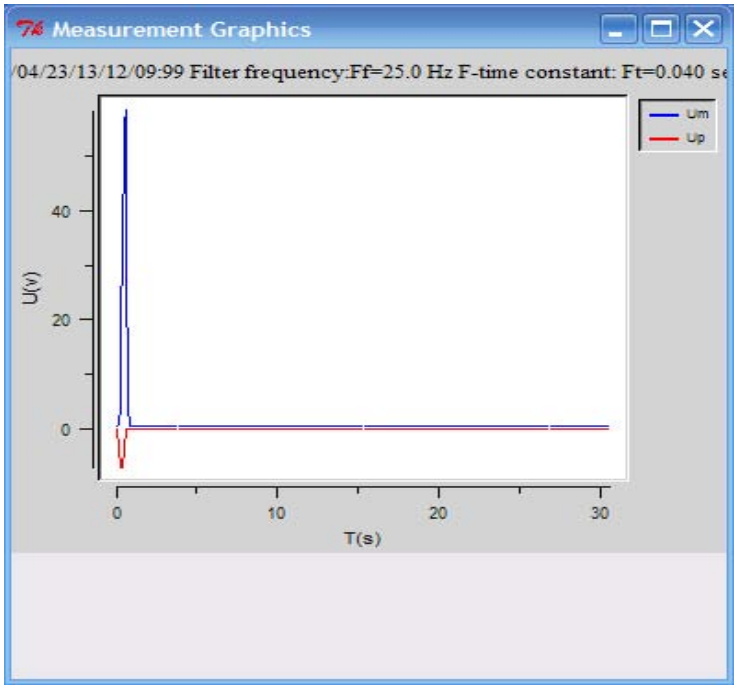



Рис. 1

Синяя кривая показывает измеряемый потенциал, а красная – подаваемое напряжение на охранный электрод. Показан набор измерений продолжительностью ~30 сек, после чего следует подача напряжения на охранный электрод с заданной частоты. В верхнем ряду записаны: время измерения, частота измерения (filter frequency) и соответствующее времевое разрешение. В показанном примере реализовано 25 измерений за секунду. Значение потенциала, показанное прямой линией, есть 0.61 В и это значение сохраняется во время всех таких же измерений - вероятно это “нулевое/ноль?” значение прибора ДП1. Замечается смещение реакции измеряемого потенциала по отношению к подоваемому напряжению на охранный электрод, связаное с использованием рекурентного фильтра в приборе.

Существует отставание в реакции измерения потенциала по отношению к напряжению охранного электрода.

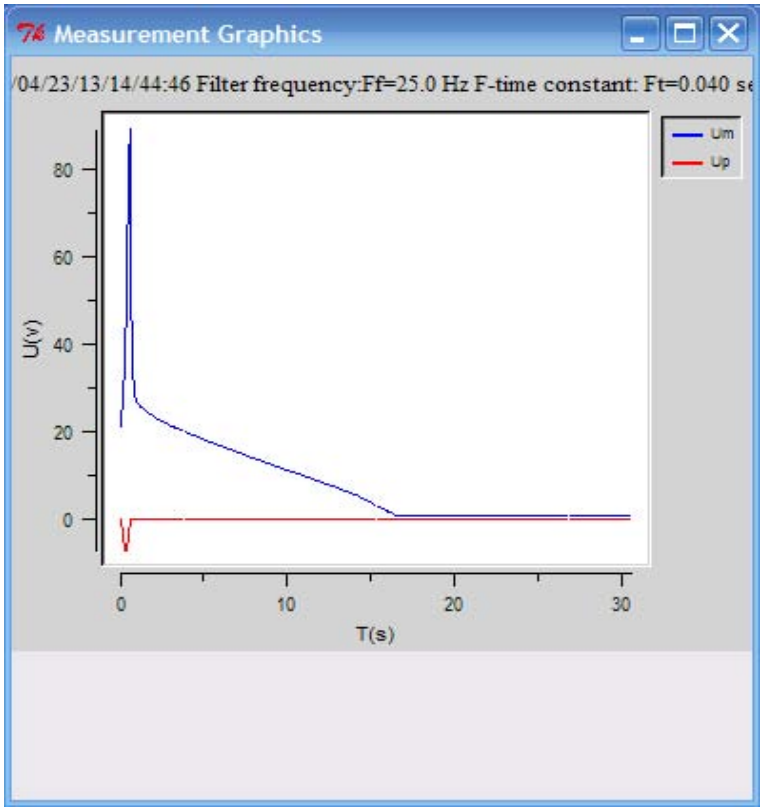



Рис. 2

Из рис. 2 видно, что достижение "нулевого уровня" (0,61 В) происходит в течение очень длительного промежутка времени (~ 17 сек.), что связано с физическими причинами. Для обсуждения этого явления необходимо иметь значительно больше информации от ДП, а также и привлечение синхронной информации с других приборов эксперимента “Обстановка”, как и информацию о работе самой станции.

2. В ряде случаев происходит изменение в значении потенциала при нулевом напряжении охранного электрода. На Рис.3 и Рис.4 показаны два таких случая, когда был измерен потенциал, достигающий 20 В, в течении десятков секунд (для имерения на Рис.4 это больше 25 сек.). Этот результат весьма неожиданный, так как предполагалось, что такие большие значения потенциала нельзя наблюдать за такой длительный период времени, который дольше времени ионно звуковых колебаний. Очевидно, что анализ и интерпретация этих результатов потребует значительных дополнительных сведений о приборах эксперимента “Обстановка”, о геомагнитной обстановке и о работе самой станции.

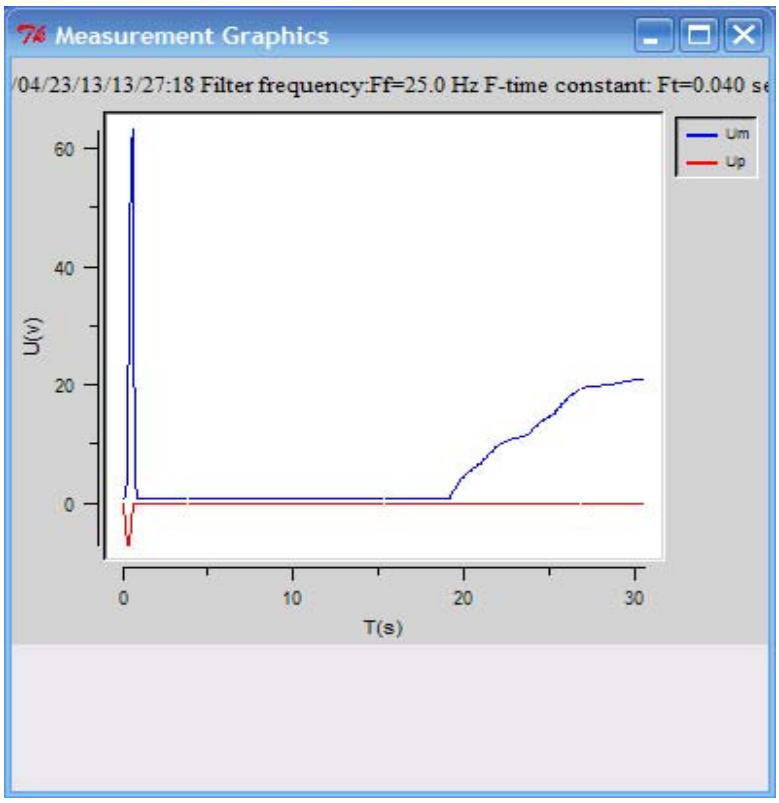



Рис. 3

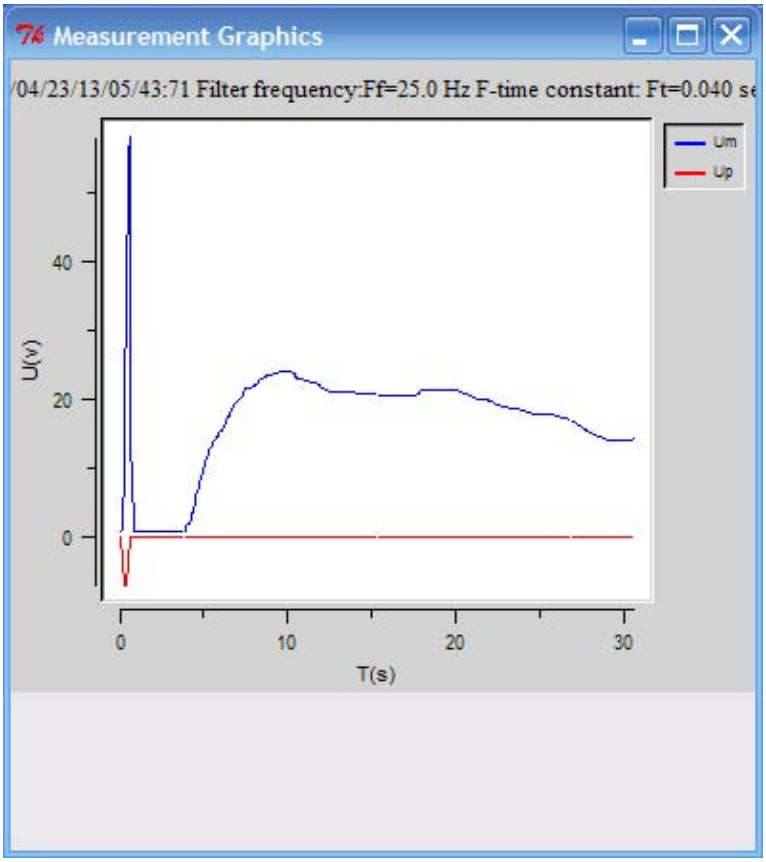



Рис. 4

3. Подобные результаты, как от вышеуказанных измерений, но с

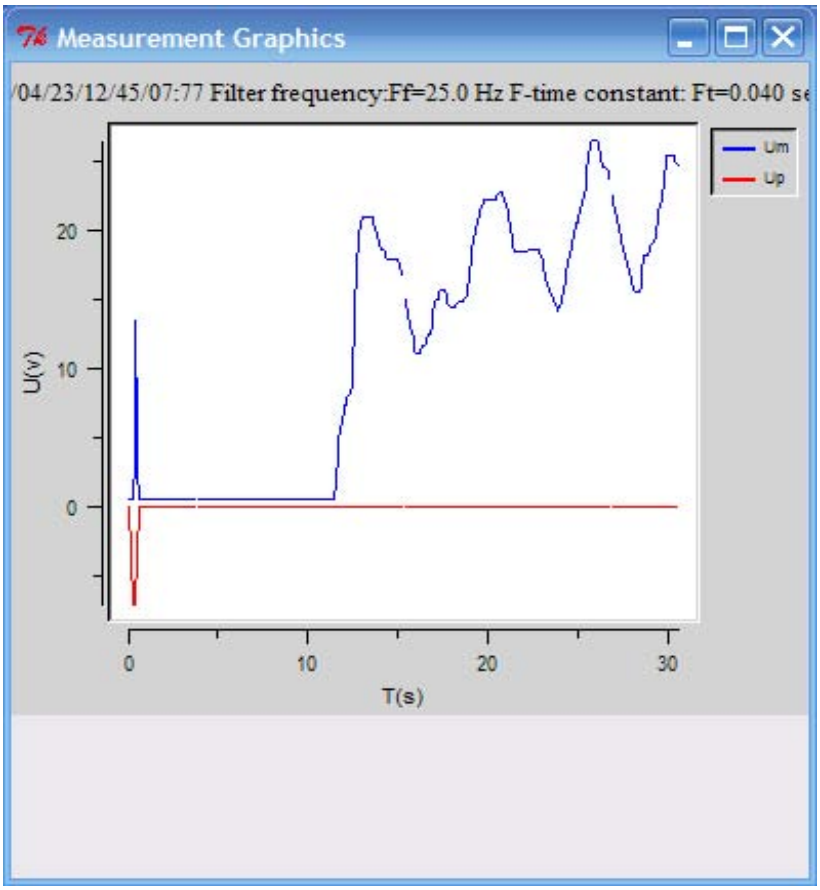



Рис. 5

серией локальных максимумов и минимумов, показаны на рис. 5. Наибольшее значение измеренного потенциал составляет примерно 27 В, а период квазиколебаний есть порядка 5 секунд. В этом случае, есть еще одна особенность: тогда как в других случаях измеренный потенциал при напряжении -7,5 В охранного электрода есть более чем 40 В (тот на рис. 2 есть больше чем 80 В), то при измерении, показанном на рис.5, этот потенциал не достигает и 15 В. Это делает измеренного потенциала на локальном максимуме (25_й сек) тем неожиданнее и требует дальнейшего исследования и анализа.

4. Другой наблюдаемый результат показан на рис. 6. При подаче на охранном электроде напряжения -7.5 В сферический зонд измеряет положительный потенциал порядка 100 В, после чего следует переключение на отрицательный потенциал, тоже порядка 100 В и снова возвращение в области положительных значений. Скорее всего, это происходит из-за аппаратных эффектов: достижение максимального значения измерений и переключение на другой диапазон. Есть несколько аналогичных результатов и для их понимания необходимы дополнительные исследования, а может быть и моделирование работы прибора.

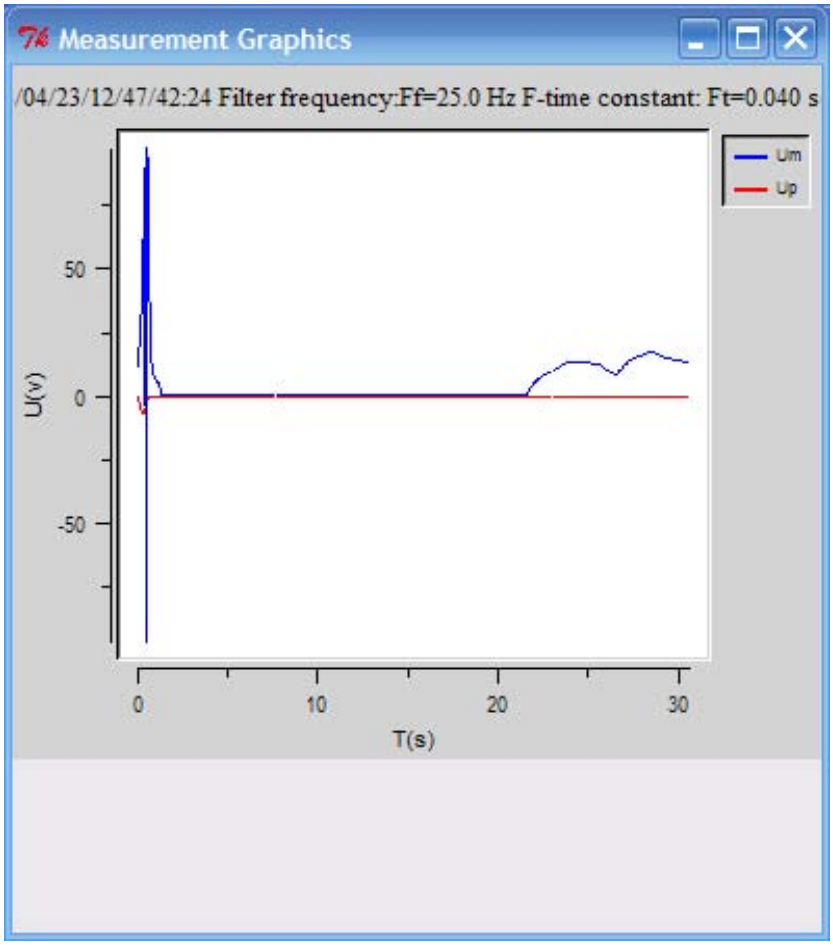



Рис. 6

5. Показанные результаты дают основание уверенно утверждать, что прибор ДП эксперимента “Обстановка – первый этап” на борту Международной космической станции работает и дает полезные научные данные. Для анализа полученной информации необходимо продолжать делать первичную обработку данных прибора ДП, привлекать дополнительную информацию о данных и работе других приборов, входящих в комплекс эксперимента “Обстановка – первый этап”, как и о работе и деятельностей на борту Международной космической станции.

**Session 1**

# *Space Physics*

Chairmen: Prof. Tsvetan Dachev
Prof. Nikolay Erokhin
Secretaries: Chief Assistant Maria Dimitrova
Chief Assistant Daniela Boneva

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# "ПОЛЯРНЫЕ" И "ВЫСОКОШИРОТНЫЕ" СУББУРИ И УСЛОВИЯ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ

**Ирина Дэспирак[1], Андрис Любчич[1], Н. Клейменова[2]**

*[1]Полярный геофизический институт, РАН, Апатиты, Мурманская область, Россия*
*[2]Институт Физики Земли, РАН, Москва, Россия*
*e-mail: despirak@gmail.com*

***Ключевые слова:*** *солнечный ветер, суббури, западный электроджет*

***Аннотация****: Все наблюдающиеся на высоких широтах суббуревые возмущения можно разделить на 2 типа – «полярные» (наблюдаются только на >70º при отсутствии в этот день суббурь на <70º) и «высокоширотные» суббури (перемещаются из авроральных (<70º) в полярные (>70º) геомагнитные широты). Целью исследования было сравнить условия в солнечном ветре, при которых наблюдаются эти 2 типа суббурь. Для этой цели были использованы данные цепочки магнитометров IMAGE и данные базы OMNI за 1995, 2000, 2006-2011 годы. Всего было отобрано 105 «полярных» и 55 «высокоширотных» суббурь. Показано, что «полярные» суббури, наблюдаются при низкой скорости солнечного ветра, после прохождения высокоскоростного рекуррентного потока, на поздней восстановительной фазе геомагнитной бури. «Высокоширотные» суббури, наоборот, наблюдаются при высокой скорости солнечного ветра, повышенных значениях Bz компоненты ММП, Ey компоненты электрического поля, температуры и давления солнечного ветра, во время прохождения мимо Земли высокоскоростного рекуррентного потока.*

# "POLAR" AND "HIGH LATITUDE" SUBSTORMS AND SOLAR WIND CONDITIONS

**Irina Despirak[1], Andris Liubchich[1], N. Kleimenova[2]**

*[1]Polar Geophysical Institute, RAS, Apatity, Murmansk region, Russia*
*[2]Institute of Physics of the Earth, RAS, Moscow, Russia*
*e-mail: despirak@gmail.com*

***Keywords:*** *solar wind, substorms, wesward electrojet*

***Abstract:*** *All substorms observed at high latitudes can be divided into 2 types - "polar" (observed only at > 70 º latitudes in the absence of that day substorms at <70 º latitudes) and "high latitude" substorms (propagating from auroral ( <70 º) to polar (> 70 º ) geomagnetic latitudes). The aim of this study was to compare solar wind conditions during these two types of substorms. For this purpose, we used the data of IMAGE magnetometers and solar wind data base (OMNI) for 1995, 2000, 2006-2011 periods. There were selected 105 "polar" and 55 "high latitude" substorms. It is shown that "polar" substorms observed at low solar wind velocity, after passing high speed stream, during late recovery phase of a geomagnetic storm. "High latitude" substorms, on the contrary, are observed at a high values of solar wind velocity, increased values of the southward $B_Z$ component of the IMF and Ey component of the electric field, increased temperature and pressure of the solar wind, while passing by the Earth recurrent high speed stream.*

## Введение

Известно, что во время взрывной фазы суббури сияния и западный электроджет движутся к полюсу ([1],[2],[3]). При этом распространение к полюсу полярной границы сияний происходит через серию микросуббурь и интенсификаций, так же как и смещение полярной границы электроджета к полюсу происходит как серия дискретных скачков [4],[5]. Иногда происходит распространение суббуревых возмущений до аномально высоких геомагнитных широт. При этом надо отметить, что среди суббурь, наблюдающихся на высоких геомагнитных широтах, можно выделить два разных типа - "полярные" и "высокоширотные" суббури. Первый

тип суббурь - возмущение начинается выше >71º и далее наблюдается распространение возмущения к полюсу, причем на широтах <70º возмущения отсутствуют. Такие суббуревые возмущения были названы «полярными» суббурями [6]. Второй тип суббурь – возмущение начинается на широтах авроральной зоны, далее происходит распространение возмущений к полюсу и в максимуме развития суббури западный электроджет (или «центр» западного электроджета) наблюдается на очень высоких геомагнитных широтах (CGLat >75$^0$). Такие суббуревые возмущения были названы “высокоширотными” суббурями. [7], [8] ,[9].

Первый тип суббурь, полярные суббури, когда все возмущения сосредоточены в узкой широтной области, на широтах полярной шапки, можно отнести к возмущениям, которые происходят при низкой геомагнитной активности, когда овал полярных сияний «сжат» и сдвинут в высокие широты ([10]). Такие суббуревые возмущения были названы «суббури на сжатом овале». Исследования показали, что суббури на сжатом овале не отличаются от обычных суббурь по своим характеристикам как в ионосфере, так и в магнитосферном хвосте и обычно происходят при южном направлении Bz компоненты ММП (Bz>0) [11],[12],[13],[14].

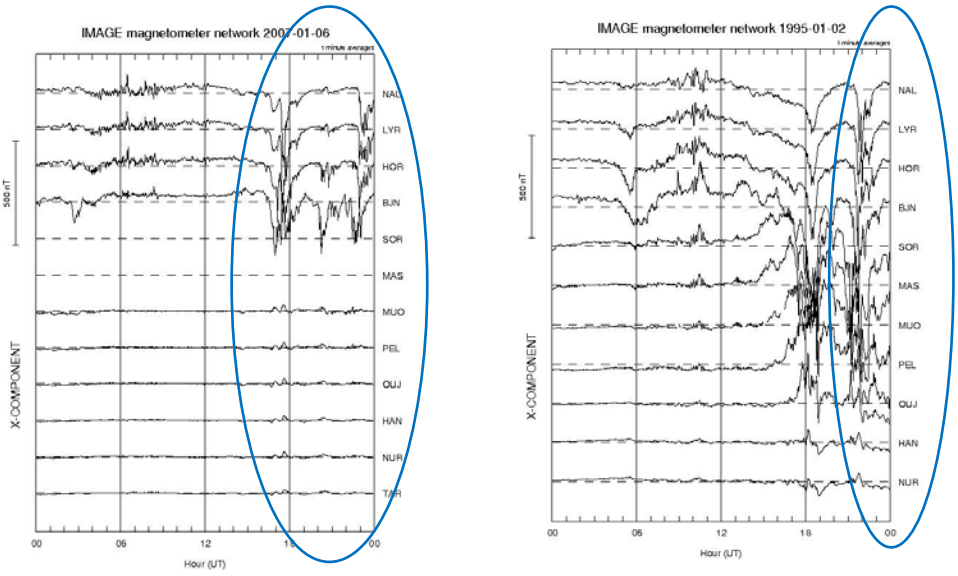
Второй тип суббурь, высокоширотные суббури, когда возмущение начинается в авроральной зоне и потом распространяется до высоких широт, тоже интенсивно исследовался [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]. Не было найдено различий в характеристиках между высокоширотными и обычными суббурями. Однако было показано, что определяющим фактором для появления высокоширотных суббурь является скорость солнечного ветра. Чем выше скорость, тем больше широта, до которой распространяется суббуря [23]. Высокоширотные суббури наблюдаются, в основном, в период минимума солнечной активности, когда преобладают высокоскоростные рекуррентные потоки из корональных дыр [7], [23]. Тогда как во время максимума солнечной активности, когда преобладают потоки, связанные с корональными выбросами массы (*CME*), высокоширотные суббури наблюдаются редко [9], [24]. Высокоширотные суббури наблюдаются также во время прохождения областей сжатой плазмы на фронтах потоков солнечного ветра, так называемых Sheath и CIR областей [25], однако эти суббури дают небольшой вклад в статистику, так как длительность Sheath и CIR областей мала, по сравнению с длительностью высокоскоростных рекуррентных потоков солнечного ветра.

Целью нашей работы является провести сравнение межпланетных условий, при которых наблюдаются «полярные» и «высокоширотные» суббури.

**Данные**

Использовались данные цепочки магнитных станций IMAGE и спутника WIND для периодов 1995, 2006-2011 годов, близких к минимуму солнечной активности и для периода максимума солнечной активности 2000 год. Характеристики солнечного ветра и межпланетного магнитного поля определялись по данным базы OMNI. За периоды 1995, 2000, 2006-2011 годы было проанализировано 160 случаев наблюдения суббурь на высоких геомагнитных широтах, из них 105 случаев «полярных» суббурь и 55 случаев «высокоширотных» суббурь. Для изучения перемещения по широте суббуревого западного электроджета использовались данные наземных магнитометров цепочки станций IMAGE, а именно, меридиональной цепочки NUR – NAL (Nurnijarvi – Ny Alesund) от 56.89 ° до 75.25 ° геомагнитной широты.

Пример наблюдения «полярных» и «высокоширотных» суббурь на цепочке станций NUR - NAL представлен на рисунке 1. Слева, на рисунке 1а представлены вариации в X-компоненте магнитного поля 6 января 2007 года, когда было 3 «полярных» суббури - в 17.15, 20.00 и 22.50. Видно, что во всех 3 случаях возмущения начались на станции BJN и далее распространялись к полюсу – до станции NAL, при этом на более низких широтах возмущения отсутствовали. Справа, на рисунке 1б, представлены вариации в X – компоненте магнитного поля 2 января 1995 года, в 21.20 наблюдалась «высокоширотная» суббуря. Суббуревые возмущения отмечены на рисунке синими овалами. Надо отметить, что 02 января 1995 наблюдалось распространение до станции NAL «центра» западного электроджета (Z-компонента магнитного поля не представлена здесь). «Центр» западного электроджета часто используется для определения широтного положения западного электроджета, так как во время взрывной фазы суббури западный электроджет занимает большую область в пространстве и бывает неоднороден [26]. Подробно метод определения положения «центра» электрождета описан в работе [9]. Надо отметить, что в нашей работе «высокоширотными» считаются суббури, у которых начало возмущения в авроральной зоне, а во время максимальной фазы «центр» западного электроджета наблюдался на станциях LYR или NAL (75.12° или 75.25° геомагнитной широты).




**а)** **б)**

Рисунок 1. Примеры наблюдения «полярных» (1а) и «высокоширотной» (1б) суббурь. Показаны вариации X-компоненты магнитного поля на меридиональной цепочке станций NUR-NAL за 06 января 2007 (1а) и 02 января 1995 года (1б), рассматриваемые суббуревые возмущения отмечены овалами.

**Результаты**

Оба типа суббурь - «полярные» и «высокоширотные» с помощью базы данных OMNI были сопоставлены с межпланетными условиями : наличие или отсутствие каких-либо потоков солнечного ветра, наличие геомагнитной бури и т.д. Результат представлен на рисунке 2.

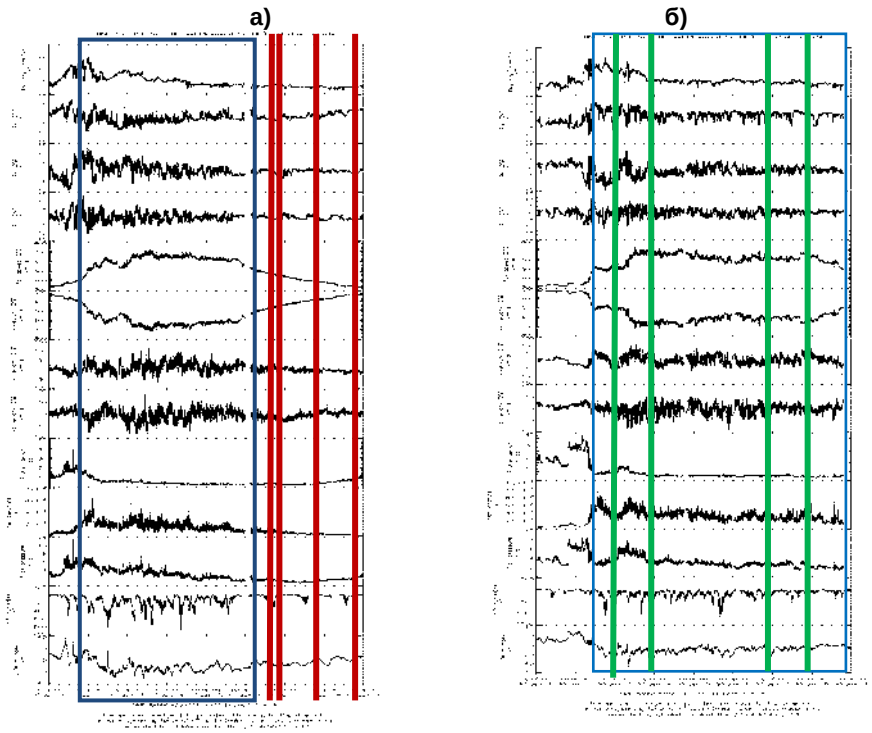



Рисунок 2. Параметры солнечного ветра и ММП ($B_T$, $B_X$,$B_Y$,$B_Z$,V,$V_X$,N,T,P) и индексы AL и SYMNH для двух высокоскоростных потоков: 2-8 января 2007 года и 2-8 января 1995 года. Границы высокоскоростного потока показаны синими прямоугольниками, время начала «полярных» и «высокоширотных» суббурь по данным IMAGE отмечено вертикальными красными и зелеными линиями, соответственно.

На рисунке 2 показаны данные по солнечному ветру и межпланетному манитному полю для 2-х высокоскоростных потоков, 2-8 января 2007 года и 2-8 января 1995 года. Сверху вниз: магнитуда магнитного поля и $B_X$, $B_Y$, $B_Z$ компоненты магнитного поля, потоковая скорость V, X-

компонента скорости солнечного ветра, плотность N, температура T и давление P солнечного ветра, и геомагнитные индексы AL и SYMNH. На эти данные наложены моменты начала «полярных» и «высокоширотных» суббурь по данным цепочки магнитных станций IMAGE. На рисунке 2а представлен пример условий в солнечном ветре, когда наблюдаются «полярные» суббури, на рисунке 2б – когда наблюдаются «высокоширотные» суббури (моменты начала суббурь отмечены красными и зелеными вертикальными линиями). Видно, что «полярные» суббури наблюдаются на фазе спада скорости солнечного ветра, в конце высокоскоростного потока или после его прохождения, во время восстановительной фазы геомагнитной бури. Высокоширотные суббури, наоборот, наблюдаются при высокой скорости солнечного ветра, во время прохождения высокоскоростного потока.

На рисунке 3 представлены значения параметров солнечного ветра за полутора часовой интервал, предшествующий моменту максимального развития суббури. Полуторачасовой интервал усреднения был выбран, чтобы учесть тот факт, что процесс поступления энергии может происходить не только во время предварительной фазы суббури (~1 ч), но и во время взрывной фазы (при *Bz* <0). Показаны усредненная Vx скорость солнечного ветра, Bz компонента ММП, Ey компонента электрического поля, температура и давление солнечного ветра, наблюдавшиеся перед началом «полярных» и «высокоширотных» суббурь. Видно, что основным фактором, по которому различаются эти 2 типа суббурь, является скорость солнечного ветра. «Полярные» суббури наблюдаются при низких скоростях (в основном, ~300-400 км/сек), а высокоширотные – при высокой скорости (>500 км/сек). Кроме того высокоширотные суббури наблюдаются при более высоких значениях южной компоненты ММП , Ey компоненты электрического поля, температуры и давления солнечного ветра, чем «полярные» суббури.

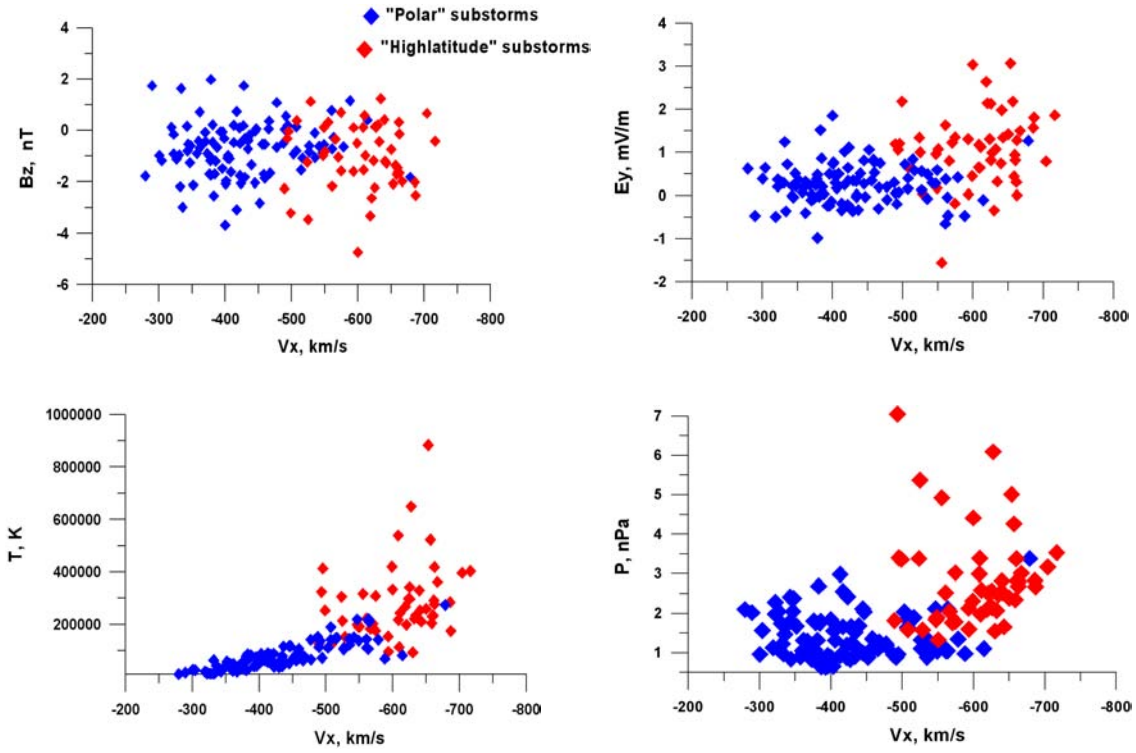



Рисунок 3. Параметры солнечного ветра Vx, Bz, Ey, T, P, усредненные за полтора часа перед началом «полярных» (синие ромбы) и «высокоширотных» (красные ромбы) суббурь

Были рассчитаны также возмущения (среднеквадратичные отклонения) для всех рассматриваемых параметров солнечного ветра ($V_X$, $B_Z$, $E_Y$, T, P) перед появлением этих 2-х типов суббурь. Оказалось, что возмущения параметров солнечного ветра больше для «высокоширотных» суббурь, чем для «полярных» суббурь (рисунок не представлен здесь).

**Выводы**

Проведен сравнительный анализ условий появления суббурь на высоких геомагнитных широтах. Показано, что суббури, для которых возмущения есть только на широтах >70º, наблюдаются при низкой скорости солнечного ветра, после прохождения высокоскоростного рекуррентного потока, на поздней восстановительной фазе геомагнитной бури. Суббури, во время которых возмущения перемещаются из авроральных (<70º) в полярные (>70º) широты,

наоборот, наблюдаются при высокой скорости солнечного ветра, повышенных значениях Bz, Ey, температуры и давления солнечного ветра, во время прохождения мимо Земли высокоскоростного рекуррентного потока.

**Благодарности**

Работа выполнена в рамках программы Президиума РАН № 22 «Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы», частичной поддержке гранта РФФИ 12-05-01030. Работа является также частью исследований в рамках Соглашения между РАН и БАН в области фундаментальных космических исследований, проект 2-14.

**References:**

1. Akasofu, S.I. The development of the auroral substorm. Planet..Space Sci., 12, .273 –282, 1964.
2. Troshichev, O.A., Kuznetsov, B.M., Pudovkin, M.I. The current systems of the magnetic substorm growth and explosive phase. Planet. Space Sci. .22, 1403 –1412, 1974.
3. Kisabeth, J.L., Rostoker, G. The expansive phase of magnetospheric substorms. Development of the auroral electrojets and auroral arcs configuration during substorm. J. Geophys. Res. 79, 972 –984, 1974.
4. Wiens, R.G., Rostoker, G. Characteristics of the development of the westward electrojet during the expansive phase of magnetospheric substorms. J. Geophys. Res. 16, 2109 –2128, 1975.
5. Sergeev, V.A., Yahnin, A.G. The features of auroral bulge expansion. Planet. Space Sci. 27, 1429 – 1440, 1979.
6. Клейменова, Н.Г., Антонова, Е.Е., Козырева, О.В., Малышева, Л.М., Корнилова, Т.А., Корнилов, И.А. Волновая структура магнитных суббурь в полярных широтах. Геомагнетизм и аэрономия. 52, 785-793, 2012.
7. Сергеев, В.А., Яхнин, А.Г., Дмитриева, Н.П. Суббури в полярной шапке - эффект высокоскоростных потоков солнечного ветра. Геомагнетизм и аэрономия. 19, 1121-1122, 1979.
8. Yahnin, A.G., Despirak, I.V., Lubchich, A.A., Kozelov, B.V. Solar wind control of the auroral bulge expansion. Proceedings of the 7th International Conference on Substorms, Helsinki, 31 –33. 2004.
9. Дэспирак, И.В., Любчич, А.А., Биернат, Х.К., Яхнин, А.Г. Полярная экспансия суббуревого западного электроджета в зависимости от параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля. Геомагнетизм и аэрономия. 48, 297-305, 2008.
10. Feldstein, Y. I., Starkov, G. V. Dynamics of auroral belt and geomagnetic disturbances. Planet. Space Sci. 15, 209, 1967.
11. Akasofu, S.-I., Wilson, C. R., Snyder, A.L., Perreault, P.D. Results from a meridian chain of observations in the Alaskan sector, 1. Planet. Space Sci., 19, 497, 1971.
12. Akasofu, S.-I., Perreault, P.D., Yasuhara, F., Meng, C.-I. Auroral substorms and the interplanetary magnetic field. J. Geophys. Res. 78, 7490, 1973.
13. Lui, A. T. Y., Anger, C.D., Akasofu, S.-I. The equatorward boundary of the diffuse aurora and auroral substorms as seen by the Isis 2 auroral scanning photometer. J. Geophys. Res. 80, 3603 - 3614 , 1975.
14. Lui, A. T. Y., Akasofu, S.-I., Hones, E.W., JR., Bame, S.J., McIwan, C.E. Observation of the plasma sheet during a contracted oval substorm in a prolonged quiet period. J. Geophys. Res. 81, 1415-1419, 1976.
15. Akasofu, S.I. Several “controversial ” issues on substorms. Space Sci. Rev. 113, 1 – 40, 2004.
16. Gupta, J.C., Loomer, E.I. Influence on AE index of substorms appearing north of Cambridge Bay. Planet. Space Sci. 27, 1019 –1025, 1979.
17. Loomer, E.I., Gupta, J.C. Some characteristics of high latitude substorms. J. Atmos. Terr. Phys. 42, 645 – 652, 1980.
18. Doolittle, J.H., Mende, S.B., Frey, H.U., Rosenberg, T.J., Weatherwax, A.T., Lanzerotti, L.J., Maclennan, C.G., Arnoldy, R.L., Engebretson, M.J., Fukunishi, H., Inan, U.S. Substorm auroral expansion to high latitudes and the dawn/dusk flanks. In: Kokubun S. and Kamide Y. (Eds). Substorm- 4. Terra Publ. Tokio. 47 –50, 1998.
19. Kuznetsov, S., Lazutin, L.L., Rosenberg, T., Borovkov, L., Gotselyuk, Yu., Weatherwax, A. Energetic electron and ion dynamics and polar aurora during magnetospheric substorm of March 10, 1994. In: Wilson A. (Ed). Substorm- 5. St. Petersburg. ESA SP- 443, 511 –514, 2001.
20. Mende, S.B., Frey, H.U., Geller, S.P., Doolittle, J.H. Multistation observations of auroras: Polar cap substorms. J. Geophys. Res. 104, 2333 –2342, 1999.
21. Weatherwax, A.T., Rosenberg, T.J., Maclennan, C.G., Doolittle, J.H. Substorm precipitation in the polar cap and associated Pc5 modulation. Geophys.Res.Lett. 24, 579 –582. 1997.
22. Gussenhoven, M.S. Extremely high latitude auroras. J. Geophys. Res. 87, 2401 –2412, 1982.
23. Дмитриева, Н.П., Сергеев, В.А. Появление авроральной электроструи на широтах полярной шапки: характеристики явления и возможность его использования для диагностики крупномасштабных высокоскоростных потоков солнечного ветра. Магнитосферные исследования. № 3. 58-66, 1984.
24. Despirak, I.V., Lubchich, A.A., Yahnin, A.G., Kozelov, B.V., Biernat, H.K. Development of substorm bulges during different solar wind structures. Ann. Geophys. 27, 1951 –1960, 2009.
25. Despirak, I.V., Lubchich, A.A., Guineva, V. Development of substorm bulges during storms of different interplanetary origins. J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. 73, 1460–1464, 2011.
26. Pudovkin, M.I., Semenov, V.S., Kotikov, A.L., Shishkina, E.M. Dynamics of auroral electrojets and energetics of substorm. J. Atmos. Terr. Phys., 57, 187 –192, 1995.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# MAGNETOTAIL OBSERVATIONS OF SUBSTORMS SIGNATURES DURING DIFFERENT SOLAR WIND STREAMS

**Irina Despirak[1], Andris Liubchich[1], Rositza Koleva[2]**

[1]*Polar Geophysical Institute, RAS, Apatity, Murmansk region, Russia*
[2]*Space Research and Technologies Institute, BAS, Sofia, Bulgaria*
*e-mail: despirak@gmail.com*

***Keywords:*** *solar wind, magnetotail, substorms*

***Abstract:*** *In this work we discuss the problem of the magnetic reconnection site location in the magnetotail during substorms associated with different solar wind streams. It was shown recently that solar cycle variations of the solar wind control the location of magnetic reconnection in the tail. A well-known fact is that solar wind high-speed streams have different nature during the different phases of the solar activity. During the declining phase and minima of the solar cycle predominate the recurrent streams (RS) originating from coronal magnetic holes. During solar cycle maxima the flare streams connected with coronal mass ejections prevail. We analyze the relationship between the locations of the tail magnetic reconnection site during substorms connected with solar wind magnetic clouds (MC) and recurrent streams. We use data from Geotail spacecraft in the magnetotail and solar wind parameters from Wind spacecraft observations; the auroral bulge parameters were obtained by the Ultra Violet Imager onboard Polar. We show that magnetic reconnection in the magnetotail takes place closer to Earth when substorm is observed during MC, and further in radial distance for substorms during solar wind recurrent streams.*

## Introduction

Recently the authors in [1] showed that the location of the reconnection site in the magnetotail depends on the phase of the solar activity cycle. They found out that during solar cycle maximum magnetic reconnection is observed nearer to Earth than during the minimum of solar activity. It is well known that solar wind is not a uniform flow; various large-scale structures and streams exist within it (e.g. [2];[3]). Besides during different solar activity phases different solar wind flows prevail ([4]; [5]; [6]). During the declining phase and at the minimum of solar activity high speed recurrent solar wind streams (RS) originating in coronal holes prevail while in solar activity maximum prevail flows from coronal mass ejecta which are observed as magnetic clouds (MC) near Earth. In this work we will investigate the reconnection site location in the magnetotail during substorms observed under different solar wind structures. When a reconnection site passes along a satellite in the night plasma sheet first a fast earthward plasma flow is registered and then – a fast tailward flow. In one of the main substorm models – NENL, the observation of a fast flow reversal is interpreted as a tailward motion of the reconnection site past the satellite ([7]; [8]; [9]; [10]). In another substorm model, the Current Disruption model, the observation of a fast floe reversal is interpreted as a passage along the satellite the current disruption region (e.g. ,[11]).

The goal of this work is to determine the reconnection site location in the magnetotail associated with substorms developed under different solar wind streams – recurrent streams (RS), magnetic clouds (MC), and the region of compressed plasma in front of these streams (Sheaths and CIRs). For this purpose we used Geotail position at the moment of observation of an X-line moving tailward (observation of a fast flow reversal) for cases related with different solar wind streams.

## Data used

The auroral disturbances are studied by Polar UVI data in the LBHL band (1600-1800Å); plasma parameters are taken from Geotail LEP measurements, and magnetic field from MGF measurements; the solar wind and interplanetary magnetic field parameters measured by Wind spacecraft were downloaded from OMNI database.

The events were selected using the following criteria:

1) The auroral disturbances should be observed by the UVI onboard Polar;

2) The auroral disturbances should be observed during Sheath, CIR, MC or RS solar wind structures;

3) The meridian of the Geotail footprint should cross the auroral bulge;

4) Geotail should be in the night plasma sheet. The criterion $\beta > 0.1$ ($\beta$ is the ratio of kinetic plasma pressure to magnetic pressure) and eye inspection of ion and electron spectra are applied for the plasma sheet identification.

All auroral disturbances observed by Polar during RS, MC, Sheaths and CIRs for the periods December 1996 and 1997-1998 were studied. 6 events were selected when Geotail was in the plasma sheet during the auroral bulge formation connected to Sheath, 3 events – to CIR, 3 events- to MC and 7 events – to RS.

Below we present one example connected to a solar wind magnetic cloud (MC).

## Results

### Auroral disturbances during the MC event on 13 November 1998

A magnetic cloud (MC) arrived at ~ 05:00 UT on 13 November and passed away at ~ 07 UT on 14 November 1998 (as deduced from Wind data). The Sheath was registered from ~01 UT to ~05 UT. A substorm onset was observed at 21:47 during the MC passage. In front of the magnetic cloud there is a region of interaction with slower streams (Sheath). This is a region with magnetic field and plasma compression. The blue line in Fig. (1a) delimits the intervals of Sheath and MC, the interval of MC is red-crosshatched. Vertical blue lines and blue crosshatched regions show the times of Sheath (Fig.1a) The black solid line shows the onset time of the substorm registered by the Polar satellite.

On the top panel of Fig. (1b), the auroral bulge development from 21:47 to 22:11 UT according to Polar UVI data is shown. The onset latitude $L_0$ of the bulge was 53.3º CGLAT; the maximum latitude $L_m$ – 72.6º CGLAT; the latitudinal size $L_{lat}$ ~16.7º CGLAT, the longitudinal size $L_{long}$ ~ 162º CGLAT, the ratio between the longitudinal and the latitudinal sizes $L_{lat}/Ll_{ong}$ was equal to ~ 9.7. Keograms on the bottom panel of Fig. (1b) demonstrate the clear poleward expansion of the bulge.

Geotail data for the period 20 – 24 UT on 13 November 1998 are presented in Fig. (1c). The satellite started registering fast tailward plasma flows at about 21:59 UT, a flow reversal took place at ~ 22:00 UT and a maximum of earthward flow is observed at 22:07 UT. The flow reversal is associated with a decrease of the total (magnetic plus plasma) pressure, which followed a period of a pressure increase.

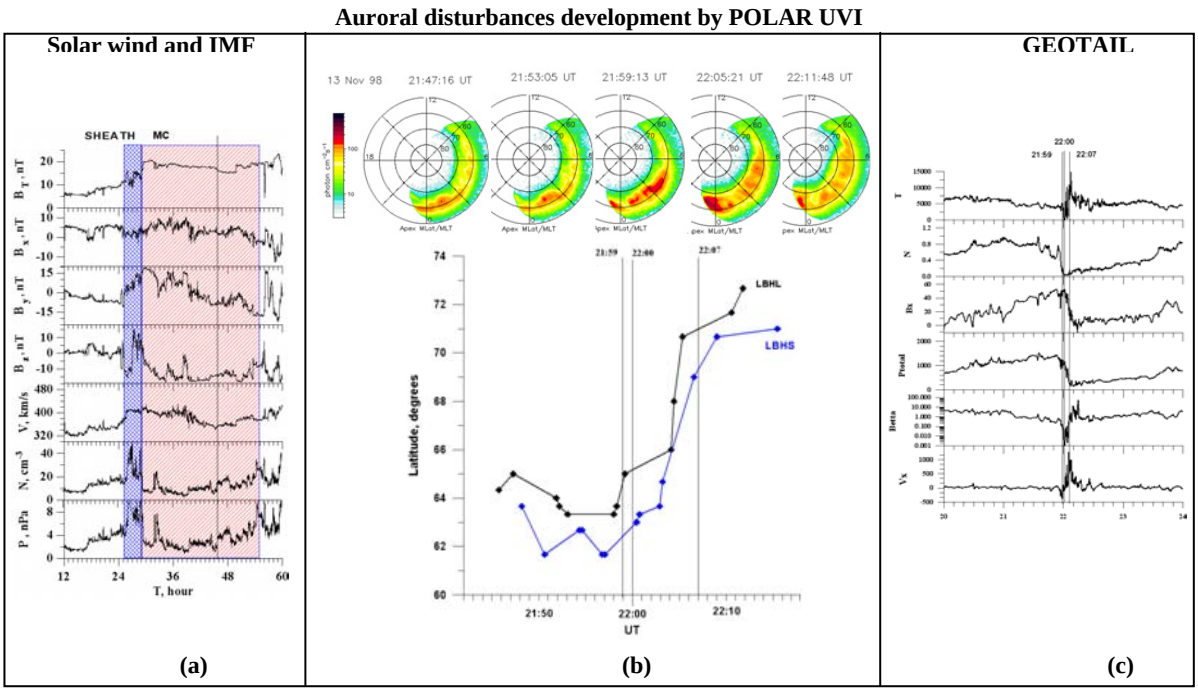



Figure 1. Auroral disturbances during the MC event on 13 November 1998.
**(a)** From top to bottom: total magnetic field B, three magnetic field components, SW flow velocity, density, dynamic pressure; **(b)** Top: auroral bulge development from onset to maximal phase. Bottom: keograms in the LBHL emission (black line) and LBHS emission (blue line) at the meridian of Geotail footprint. Vertical lines indicate the times of plasma flows in magnetotail by Geotail data; **(c)** From top to bottom: temperature, density, MF component Bx, total pressure, plasma β, GSM X component of the velocity

**Relationship between the latitude of the poleward edge of the auroral bulge and the distance from the Earth of the reconnection site**

For all 19 selected cases we determined the latitude of the poleward edge of the auroral bulge at Geotail footprints meridian at the moment when Geotail registered a fast flow reversal in the magnetotail. Then we related this latitude with Geotail position in the magnetotail. The results are shown in Fig. 2, where the distance between Geotail and the Earth is evaluated by Geotail X-coordinate in earth radii. On the right panel cases observed during MCs are depicted by diamonds, cases during RS – by crosses, those observed during Sheath – by circles, and cases during CIRs – by black squares. On the left panel cases are grouped according their origin: cases connected with MCs and Sheaths are depicted by black diamonds, cases of RS and CIRs – by crosses.

From Fig. 2 it is clearly seen that the reconnection site during substorms associated with recurrent solar wind streams is observed on the average at larger distances from earth

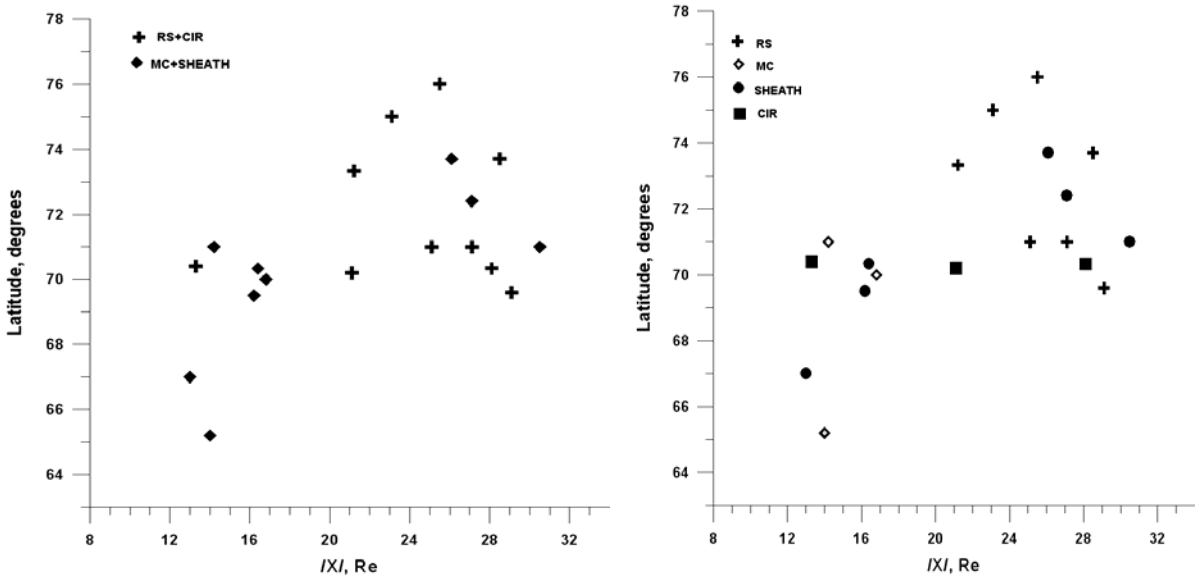



Figure 2. Latitude of the poleward edge of the aurora (seen by Polar UVI at the meridian of Geotail) as a function of the distance between Geotail and Earth at the moment of the flow reversal registration

|X|=25.7±2.8 $R_E$ than during substorms associated with magnetic clouds, the latter being at 15.±1.5 $R_E$.

**Discussion and conclusion**

In this work we discuss the problem of the magnetic reconnection site location in the magnetotail during substorms associated with different solar wind streams. It was shown recently that solar cycle variations of the solar wind control the location of magnetic reconnection in the tail [1]. Authors showed that magnetic reconnection takes place closer to Earth during solar maximum. A well-known fact is that solar wind high-speed streams have different nature during the different phases of the solar activity. During solar cycle maxima the flare streams connected with coronal mass ejections prevail. During the declining phase and minima of the solar cycle predominate the recurrent streams originating from coronal magnetic holes. In our work we found that magnetic reconnection in the magnetotail takes place closer to Earth when substorm is observed during MC, and further - in the tail (X coordinate in $R_E$) for substorms during solar wind recurrent streams (RS). In this way our results conform to the results in [1].

However by one-point data it is difficult to separate space and time variations. We plan to continue the investigations on reconnection site location for substorms driven by different solar wind structures using CLUSTER and THEMIS data.

**Acknowledgements**

The work was partially supported by Program No 22 of the Presidium of the Russian Academy of Sciences (RAS) “Fundamental problems of the Solar system exploration” and by the RFBR Grants 12-05-01030. The study is a part of the 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 IKIT-BAS under the Fundamental Space Research Program between RAS and BAS.

**References:**


1. Nagai, T., Fujumoto, M., Nakamura, R., Baumjohann. W., Ieda, A., Shinohara, I., Mashida, S., Saito Y., Mukai, T. Solar wind control of the radial distance of the magnetic reconnection site in the magnetotail. J. Geophys. Res., 110, A09208, doi: 10.1029/2005JA011207, 2005.
2. Pudovkin, M.I. Solar wind. Soros Educational Journal 12, 87-94, 1996.
3. Yermolaev, Yu.I., Nikolaeva, N.S., Lodkina, I.G., Yermolaev, M.Yu. Catalog of Large-Scale Solar Wind Phenomena during 1976– 2000. Kosmicheskie Issledovaniya, 47, 99–113, 2009.
4. Krieger, A.S., Timothy, A.F., Roelof, E.C. A coronal hole and its identification as the source of a high velocity solar wind stream. Sol. Phys. 23, 123-128, 1973.
5. Burlaga, L.F., Klein, L., Sheeley, Jr., Michels, D.J., Howard, R.A., Koomen, M.J., Schwenn, R., Rosenbauer, H. A magnetic cloud and a coronal mass ejection. Geophys. Res. Lett. 9, 1317-1320, 1982.
6. Richardson, I. G., Cane, H. V., Cliver, E. W. Sources of geo-magnetic storms for solar minimum and maximum conditions during 1972– 2000. Geophys. Res. Lett., 28, 2569, 2001.
7. Hones, Jr., E. W. Transient phenomena in the magnetotail and their relation to substorms. Space Science Reviews 16, 617–410, 1979.
8. Angelopoulos, V., Mitchell, D.G., McEntire, R.W., Williams, D.J., Lui, A.T.Y., Krimigis, S.M., Decker, R.B., Christon, S.P., Kokubun, S., Yamamoto, T., Saito, Y., Mukai, T., Mozer, F.S., Tsuruda, K., Reeves, G.D., Hughes, W.J., Friis-Christensen, E., Troshichev, O. Tailward progression of the magnetotail acceleration center: Relationship to substorm current wedge. J. Geophys. Res., 101, 24 599–24 619, 1996.
9. Petrukovich, A.A., Sergeev, V.A., Zelenyi, L.M., Mukai, T., Yamamoto, T., Kokubun, S., Shiokawa, K., Deehr, C.S., Budnick, E.Y., Büchner, J., Fedorov, A.O., Grigorieva, V.P., Hughes, T.J., Pissarenko, N.F., Romanov, S.A., Sandahl, I. Two spacecraft observations of a reconnection pulse during an auroral breakup. J. Geophys. Res., 103, 47–59, 1998.
10. Yahnin, A.G., Despirak I.V., Lubchich, A.A., Kozelov, B.V., Dmitrieva, N.P., Shukhtina, M.A., Biernat, H.K. Indirect mapping of the source of the oppositely directed fast plasma flows in the plasma sheet onto the auroral display. Ann. Geophys., 24, 679–687, 2006.
11. Lui, A. T. Y., Zheng, A., Reme, H., Dunlop, M.W., Gustafsson, G. Evaluation of substorm models with Cluster observations of plasma flow reversal in the magnetotail. Adv. Space Res. 41, 1611–1618, 2008.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И ПУЛЬСА ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ И АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

**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 и диастолическое артериальные давления (САД,, ДАД), частота сердечных сокращений (ЧСС), корреляция, частотный спектр*

# ESTIMATION OF STABILITY OF ARTERIAL PRESSURE AND PULSE AT CHANGES OF GEOMAGNETIC DATA AND ATMOSPHERIC PRESSURE

**Olesia 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, correlation, frequency spectrum*

***Abstract:*** *Offered work is based on the data long, daily (in the morning and in the evening) monitoring of arterial pressure and pulse. Descriptions and analysis are submitted in the publication [2]. These data are in detail analyzed together with magnetic data Bx, y, z (Troitsk, 2000) and the data of atmospheric pressure (Troitsk, 2000). Series are constructed reflecting dynamics of factors of correlation in the time and at simultaneous scanning researched characteristics. Continuance of scanning interval are varied from 5 to 13 days. Sizes of intervals of crossing of correlations of identical and contrary are taken for the analysis. Spectral estimations of "correlation" series are carried out. It is to note difference in reaction to change of geomagnetic data of morning and evening monitoring. The estimation of this influence is given.*

## Введение

Работа использует данные ежедневного (утром и вечером) мониторинга систолического артериального давления САД, диастолического артериального давления ДАД и частоты сердечных сокращений ЧСС. Ведение дневника пациентом с гипертоническим заболеванием и самоконтроль артериального давления позволяло эффективно подбирать гипотензивный препарат, который принимался утром. В публикациях [1,2] дано описание этих показаний более чем за 13 лет. Для данного исследования выбран 2000 год, как содержащий подробные комментарии социальной активности пациента (экспедиции, командировки, праздники и т. д.) и дана оценка ЧСС, САД и ДАД в эти выделенные моменты. Проводится сопоставление показаний мониторинга с данными атмосферного давления P и магнитных H, D, Z – вариаций (ИЗМИРАН, 2000 г.). Для сравнения и анализа используются ряды отражающие во времени динамику коэффициентов корреляции, которые получены при одновременном сканировании исследуемых характеристик. Длительность сканирующего интервала варьировался от 5 до 13 дней. Такие ряды коэффициентов корреляции медицинских параметров, аналог степени скоординированности организма, взяты за основу и сопоставлены с фоновой динамикой изменения геомагнитной активности и атмосферного давления. Видно различие в реакции

данных утреннего и вечернего мониторинга. Отмечается чувствительность утреннего состояния организма к влиянию фоновых параметров и стабилизирующее воздействие принимаемого препарата и ритмических нагрузок к вечеру. Приведены соответствующие гистограммы и статистические характеристики. Ряды мониторинга и атмосферного давления предварительно приведены к соизмеримому масштабу, т. е. после вычитания среднегодового значения (Mean) нормировались на квадратный корень из дисперсии ($\sigma^{1/2}$), соответствующие значения которых даны ниже. Изменение нормированной характеристики на единицу эквивалентно её изменению на соответствующее $\sigma^{1/2}$. Значения САД, ДАД и атмосферного давления P фиксировались в миллиметрах ртутного столба, пульс (ЧСС) – в количестве ударов в минуту.

| | ЧСС **утро / вечер** | САД **утро / вечер** | ДАД **утро / вечер** | P (**мм. рт. ст.**) **утро / вечер** |
|---|---|---|---|---|
| Mean | 58.2 / 61.3 | 122.3 / 119.6 | 82.2 / 79.1 | 743.47 / 743.32 |
| $\sigma^{1/2}$ | 4.2 / 5.7 | 6.9 / 9.5 | 3.8 / 5.4 | 7.35 / 7.30 |

**Исходные данные и выделенные события**

Обзор утренних и вечерних данных мониторинга ЧСС, САД и ДАД за 2000 год, взятых за основу работы, представлен на Рис.1. Для сопоставления с ними привлекаются шестичасовые данные атмосферного давления [3], соответствующие срезы которого в 0, 6, 12 и 18 часов за 2000 год отражает Рис. 2. На обоих рисунках ось OX соответствует суткам года.

К выделенным событиям отнесено несколько периодов повышенной социальной активности (экспедиции, командировки, праздники и т. д. – в сумме 25 дней активного периода), что отмечено красным маркером на Рис.1, а также моменты отклонения атмосферного давления от среднегодового более чем на 2 единицы (в размерных единицах $|dP| \geq 15$ мм. рт. ст.) – синий маркер. Из 24 дней для утреннего среза атмосферного давления 13 дней пришлись на пониженное давление, а из 20 дней для вечернего среза с пониженным давлением оказалось 10 дней. В Таблице 1 представлены средние характеристики медицинских параметров в выделенные периоды. Явно видны возмущения ЧСС, САД и ДАД в период социальной активности **:** утром пульс возрастает в среднем на $7 \approx 1.55 \times 4.2$ ударов в минуту, САД и ДАД на 8 ($\approx 1.1 \times 6.9$) и 4 ($\approx 1.06 \times 3.8$) мм. рт. ст. соответственно. Также, в среднем, возрастают и вечерние показания в этот период – ЧСС на $5 \approx 0.8 \times 5.7$ ударов в минуту, САД и ДАД соответственно на 10 ($\approx 1.02 \times 9.5$) и 5 ($0.98 \times 5.4$) мм. рт. ст.

Таблица 1. Средние значения ЧСС, САД и ДАД в выделенные периоды.

| Показатели | Число дней **утро / вечер** | ЧСС **утро / вечер** | САД **утро / вечер** | ДАД **утро / вечер** |
|---|---|---|---|---|
| mean (активный период) | 25 / 25 | 1.55 / 0.80 | 1.10 / 1.02 | 1.06 / 0.98 |
| mean ( $dP \geq +2$ ) | 11 / 10 | ***0.38*** / -0.14 | ***0.40*** / 0.47 | ***0.30*** / 0.91 |
| mean ( $dP \leq -2$ ) | 13 / 10 | -0.27 / -0.14 | -0.24 / 0.20 | -0.22 / 0.00 |

Из полученных оценок, с учетом различия утренних и вечерних среднегодовых значений медицинских параметров, следует выравнивание утренних и вечерних показаний ЧСС, САД и ДАД в периоды повышенной активности. Моменты с выделенным атмосферным давлением в числовых характеристиках проявляются менее явно. Только в вечерних данных выделяется возрастание САД и ДАД при повышенном атмосферном давлении. Но следует отметить совпадение знаков возмущения утренних значений ЧСС, САД и ДАД со знаком возмущения атмосферного давления (выделено курсивом для «**+**» и подчеркиванием для « **-** » в Таблице 1).

Кроме отмеченных событий можно выделить несколько периодов в атмосферном давлении, которые отражают характер его поведения. Период T1 с 20 дня по 90 день -- рост P от очень низкого до высокого с отдельными перепадами. Далее до 240 дня период T2 -- давление колеблется вокруг среднегодового значения. Период T3 с 240 дня по 290 день -- P возрастает до очень высокого. С 335 дня и до конца года давление от очень большого опускается до низкого — период T4. Известно, что на самочувствии сказывается не только величина атмосферного давления, но и скорость его изменения [4]. Дать оценку влияния последнего проблематично из-за суточного характера данных нашего мониторинга.

Также в работе привлекаются минутные данные H, D, Z вариаций магнитного поля за 2000 год [5]. Основные спектральные компоненты этих вариаций равны 24, 12, 8 и 6 часам, значения их спектральных амплитуд представлены на Рис. 3а. В длиннопериодном диапазоне выделяются лунный (27.3 дня) и тройной лунный периоды (Рис. 3б) со спектральными амплитудами в 30 раз

меньшими, чем у суточных гармоник. Ось частот на обоих рисунках соответствует обратным суткам. Для сопоставления динамики поведения магнитного поля с суточными данными мониторинга разумно опираться на суточные гармоники вариаций магнитного поля. После их выделения и применения преобразования Гильберта [6] мы получаем амплитуды (огибающие) суточных гармоник, как функции времени. Годовая динамика этих амплитуд для компонент H, D, Z отражена на Рис.3в., где по оси OX отложены сутки года, а значения амплитуд даны в нТл. Полученное представление удобно при дальнейшем анализе.

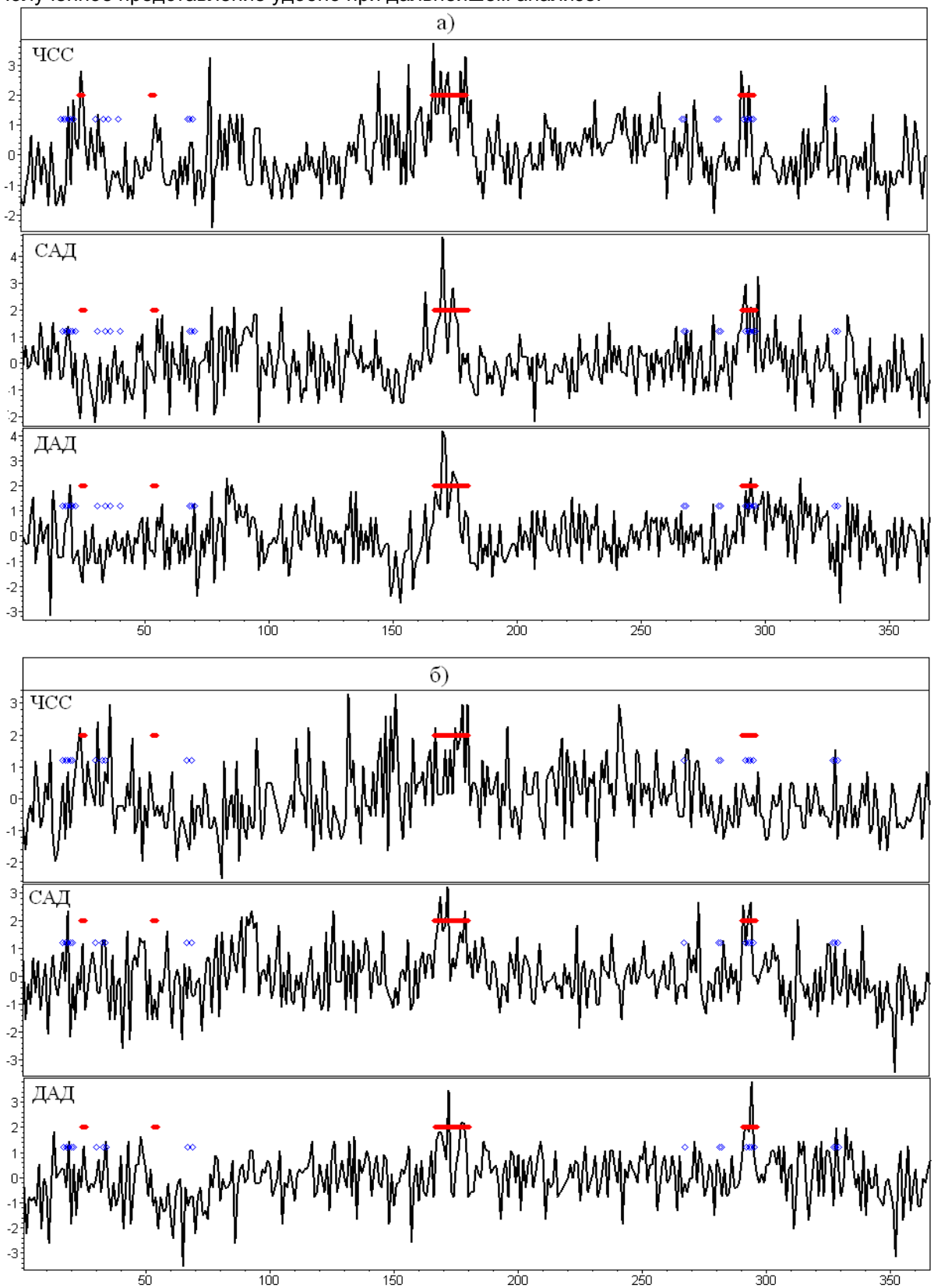



Рис. 1. Обзор рядов самоконтроля : а) утро , б) вечер. Ось OX – сутки года.

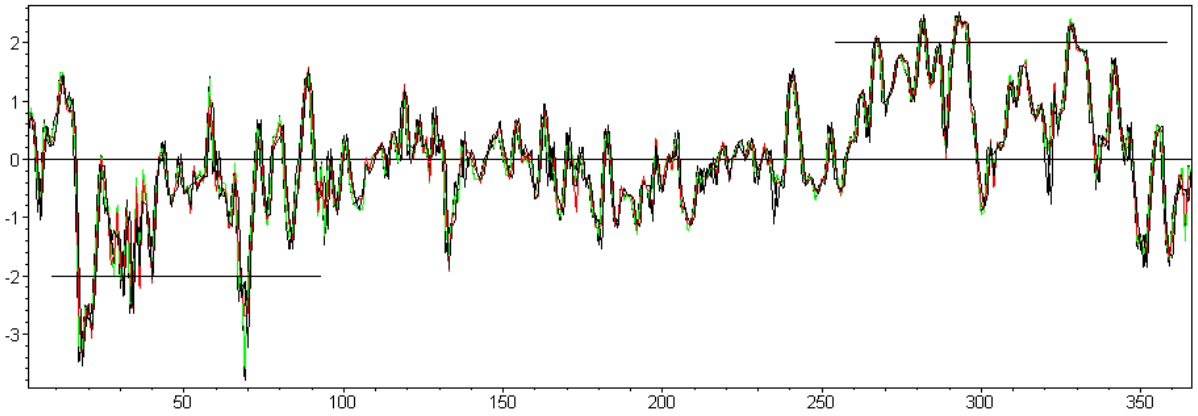


Рис. 2. Годовая динамика атмосферного давления ; г. Троицк, 2000 г. Ось OX – сутки года.

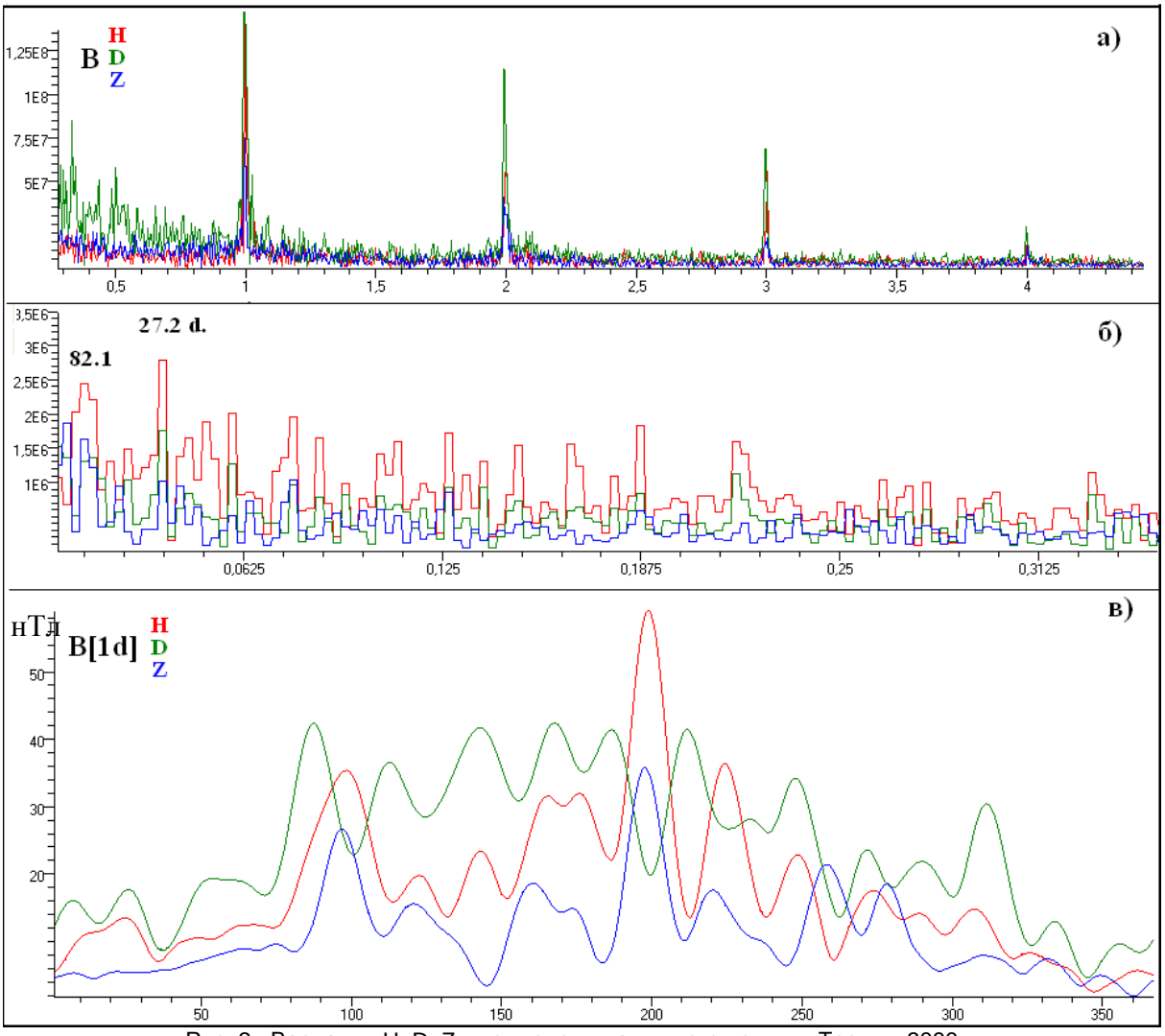



Рис. 3. Вариации H, D, Z – компонент магнитного поля ; г. Троицк, 2000 г.
а) , б) – фрагменты спектра, ось OX – обратные сутки ;
в) – динамика амплитуд суточных гармоник, ось OX – сутки года.

**Степень согласованности рядов самоконтроля и фоновые параметры**

Даже при визуальной оценке рядов самоконтроля видно отличие относительного поведения ЧСС, САД и ДАД в различные периоды. Для описания степени скоординированности организма и сопоставления с фоновыми характеристиками разумно использовать временную зависимость коэффициентов линейной корреляции медицинских параметров. На временном

интервале dT, для соответствующих фрагментов рядов A и B, вычисляется коэффициент линейной корреляции Corr(A&B/dT). Сканируя интервал dT по временной оси и находя коэффициент корреляции в каждый момент времени, мы получим временную динамику этого коэффициента — Corr(A&B/dT; t). При таком подходе всё разнообразие ситуаций отображается на интервал значений [-1 ; +1] и носит оценочный характер состояния организма, но временная динамика коэффициентов корреляции и степень их гладкости позволяют проводить сравнение с поведением фоновых значений атмосферного давления и вариаций магнитного поля. Результат вычислений при интервале сканирования dT в 9 дней представлен на Рис. 4 для утренних и вечерних данных, где :

К1(t) = Corr(ЧСС&САД/ 9дн.; t) – динамика коэффициента корреляции между ЧСС и САД ;

К2(t) = Corr(ЧСС&ДАД/ 9дн.; t) – корреляции между ЧСС и ДАД ; К3(t) – между САД и ДАД.

Видно, что характер связей у утренних и у вечерних параметров весьма отличны, хотя есть отдельные совпадения. В работах [1,2] отмечалось наличие в спектре вечерних рядов мониторинга семидневной (недельной) компоненты и отсутствие её в спектре утренних рядов, зато в спектрах утренних рядов мониторинга явно проявился лунный период в 27.35 дня, которого нет в вечерних спектрах. Это можно связать с быстрой релаксацией организма за ночь от ритмических нагрузок и повышенной чувствительностью его утром к фоновому воздействию.

Рассмотрим подробней утренние корреляционные ряды, представленные на Рис.4а, которые свободны от влияния принимаемого препарата и от влияния физических нагрузок. Наиболее интересна взаимосвязь пульса с артериальным давлением. Серой маркировкой внизу нанесены интервалы T1 ÷ T4, отражающие поведение атмосферного давления. Периоды T1, T3 и T4, характеризующие изменение атмосферного давления, хорошо легли на области К1(t) и К2(t) с явно выраженными трендами. На интервале T2, когда атмосферное давление меняется вокруг среднегодового значения, также нет монотонности в связях ЧСС с САД и ДАД. Далее привлекают внимание локальные отрицательные минимумы слева и справа от 100 дня и 200 дня, когда пульс меняется в противофазе с артериальным давлением. Сопоставляя с амплитудами суточных гармоник магнитного поля видим, что эти моменты выделяются также и там (Рис.3в). На Рис.4б представлена динамика вечерних корреляционных рядов, которая имеет совсем иной характер из-за воздействия ритмических нагрузок в течение дня.

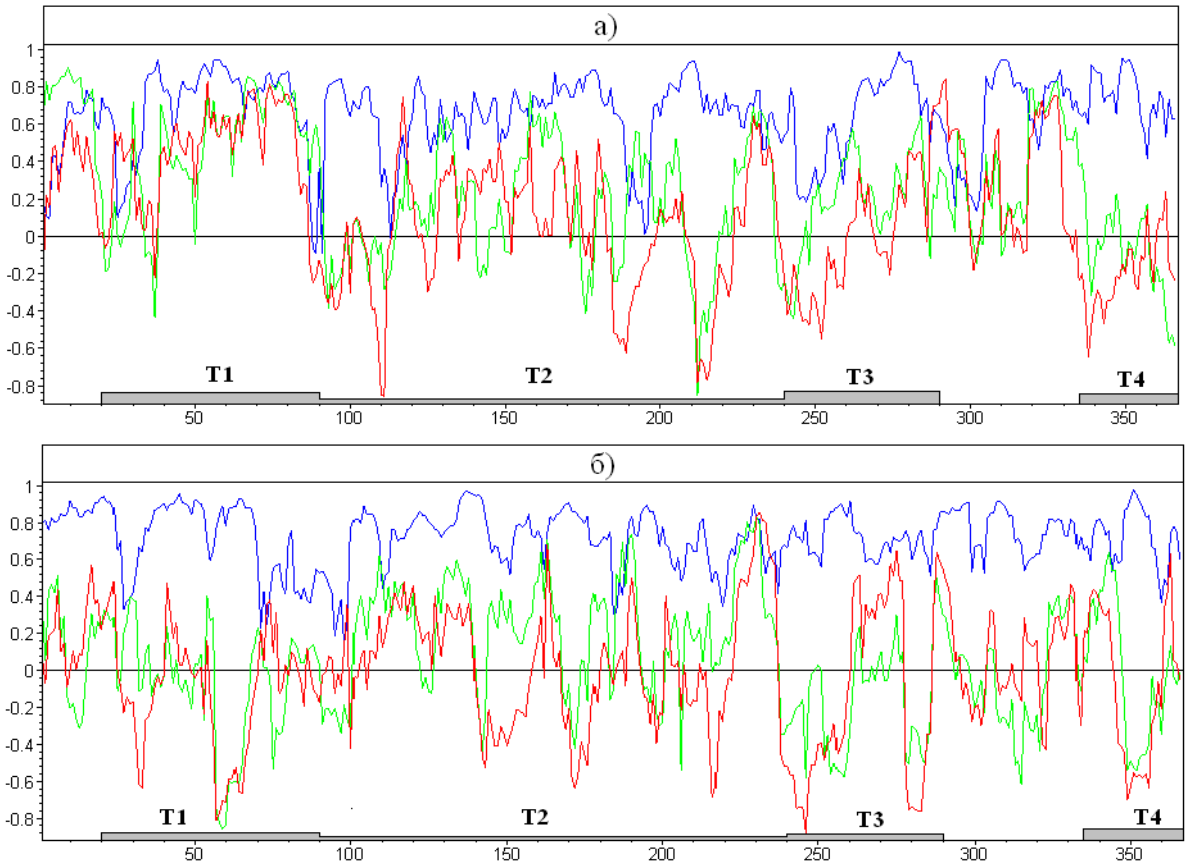



Рис. 4. Временная динамика коэффициентов корреляции данных мониторинга : а) утро , б) вечер.

----- К1(t) ; ----- К2(t) ; ----- К3(t) . Ось OX – сутки года.

Сравним статистические характеристики утренних и вечерних корреляционных рядов. Оценки этих рядов за 2000 год представлены в Таблице 2, где приведены **:** среднее (mean)**;** корень квадратный из дисперсии (σ½)**;** эксцесс (коэффициент Куртосиса **—** kurtosis)**;** асимметрия (skewness). Средние значения корреляционных рядов ЧСС с САД и ДАД для вечерних данных равны фактически нулю или меньше, чем у утренних данных, когда организм более чувствителен к внешнему воздействию, а физические нагрузки не «замыли» это влияние. Соответствующие значения дисперсий, характеризующие взаимосвязи пульса с артериальным давлением, сравнимы. Связи между САД и ДАД значительно более тесные и к вечеру они ещё усиливаются при уменьшении дисперсии.

Таблица 2. Статистические оценки корреляционных рядов мониторинга.

| Показатели | Mean **(утро / вечер)** | σ ½ **(утро / вечер)** | Kurtosis **(утро / вечер)** | Skewness **(утро / вечер)** |
|---|---|---|---|---|
| Corr(ЧСС&САД) | 0.135 / -0.014 | 0.367 / 0.357 | 2.38 / 2.46 | -0.187 / -0.164 |
| Corr(ЧСС&ДАД) | 0.245 / 0.057 | 0.349 / 0.335 | 2.33 / 2.55 | -0.140 / -0.183 |
| Corr(САД&ДАД) | 0.654 / 0.721 | 0.219 / 0.161 | 3.83 / 3.46 | -1.126 / -0.903 |

.

Наглядное сравнение характеристик корреляционных рядов мониторинга дают гистограммы, приведенные на Рис. 5. Проявление второго максимума на утренней гистограмме К1 отражает влияние внешних условий на организм, отмеченное выше. А большую степень симметрии вечером, чем утром для Corr(ЧСС&САД) и возросшую монотонность вечерней гистограммы К1 можно связать со стабилизирующим действием ритмических нагрузок.

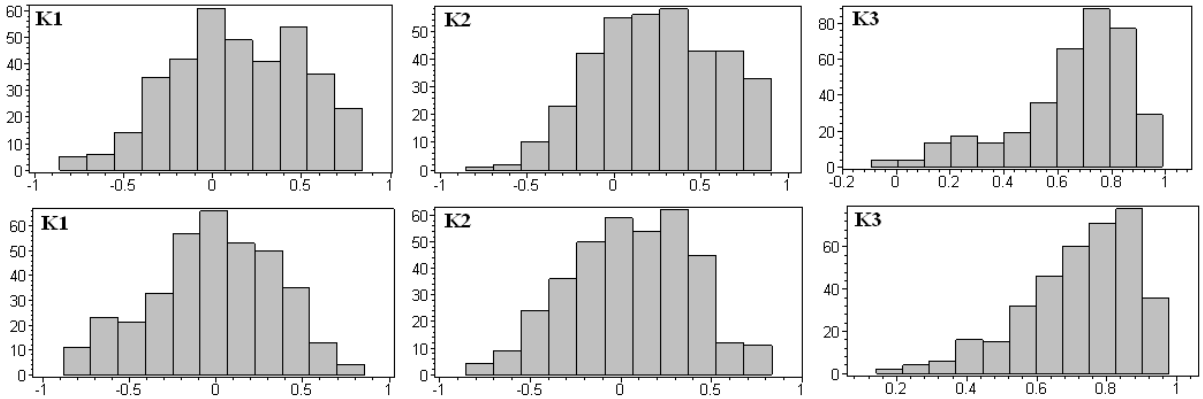



Рис. 5. Гистограммы корреляционных рядов мониторинга. Верхние рисунки -- утро ; нижние – вечер.

**Обсуждение и выводы**

Результаты проведенного анализа соответствуют общему представлению, что четкой функциональной связи между величиной АД и пульсом нет. Низкий пульс совсем не означает пониженный уровень артериального давления. Соответственно и наоборот, при высоком пульсе, давление может быть не только нормальными, но и в ряде случаев сниженным (например при инфаркте миокарда, сердечной недостаточности), так как высокая частота сокращений не оставляет сердцу времени для того чтобы успеть набрать достаточное количество крови и такая работа будет малоэффективна. Возможно повышение давления при редком пульсе, обусловленное различными формами блокад. Также существуют состояния, при которых может увеличиваться и АД и пульс. Например, в физиологичном состоянии это встречается при физической нагрузке, психоэмоциональном перевозбуждении; при различных заболеваниях–например, гиперкинетическом типе вегето-сосудистой дистонии, тиреотоксикозе. Снижение АД и замедление пульса наблюдается во время сна. Это также характерно для спортсменов у которых путем длительных тренировок эти два показателя четко связаны, что не свойственно обычным людям**.**

Результаты нашего анализа позволяют выделить ряд ситуаций, когда связь ЧСС с АД можно сопоставить с внешними условиями**:**

- в активный период возрастают пульс с АД и сближаются их утренние показания с вечерними **;**

- в дни с низким или высоким атмосферным давлением вариации АД и ЧСС проявляются менее явно, но знак вариаций утренних значений пульса и АД совпадает со знаком вариаций атмосферного давления ;
- временные периоды атмосферного давления, отражающие характер его поведения, и области с явно выраженными трендами у рядов, характеризующих взаимосвязь утренних показаний ЧСС с АД, хорошо согласуются ;
- максимумы (в 100 и 200 дни) суточных амплитуд H, D, Z компонент и их фронты наложились на периоды, когда утренние показания ЧСС и АД менялись в противофазе наиболее явно ;
- у рядов, характеризующих взаимосвязь вечерних показаний ЧСС с АД, гистограммы более сбалансированы и нет четкой связи этих рядов с периодами T1 ÷ T4 атмосферного давления и максимумами суточных амплитуд H, D, Z компонент.

Можно заключить, что утреннее состояние организма более подвержено внешнему влиянию и отметить стабилизирующую роль ритмических нагрузок и принимаемого препарата. Учет этого, в сочетании с регулярным самоконтролем, и обеспечивает нормальную жизнедеятельность пациента.

Добавим, что используемые подходы позволяют проводить анализ в терминах «усредненных характеристик» и не претендуют на сопоставление взаимосвязей масштаба трех и менее дней.

В заключении, на Рис. 6 приводится обзор утренних корреляционных рядов для интервалов сканирования dT в 5 и 13 дней. Несмотря на естественное отличие в степени гладкости этих представлений все отмеченные свойства сохраняются.

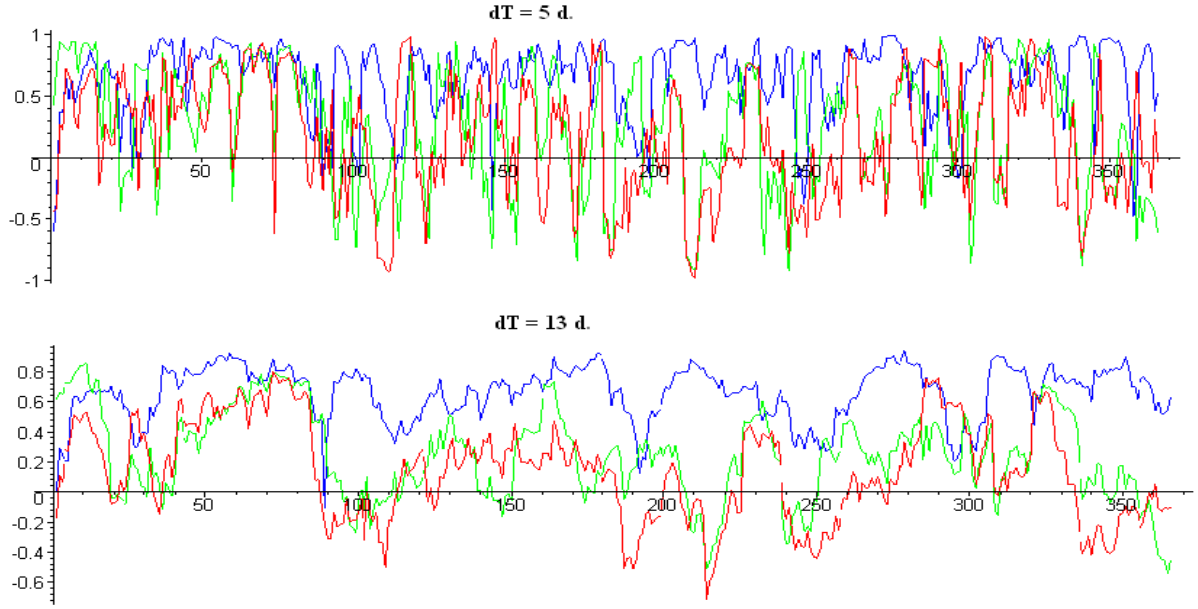



Рис. 6. Временная динамика коэффициентов корреляции данных утреннего мониторинга.
Ось OX – сутки года ; ----- K1(t) ; ----- K2(t) ; ----- K3(t) .

**Литература:**


1. Исайкина, О., Ю. Кукса, И. Шибаев. Длительный мониторинг артериального давления и пульса. Сопоставление данных мониторинга с метеорологическими и геофизическими параметрами. Proceedings of Seventh Scientific Conference with International Participation SES 2011, Sofia, Bulgaria, 29 November – 01 December 2011, p. 292--296, 2012.
2. Isaikina, O., Yu. Kuksa, I. Shibaev. Analyses of Characteristics of Long-Term Monitoring of Arterial Pressure and Pulse, Journal of Environmental Science and Engineering, V. 1, № 9 (B), p.1064 -- 1073, 2012.
3. http://cr0.izmiran.ru/mosc/main.htm
4. Ioannidou S. P., M. Papailiou, H. Mavromichalaki, Th. Apostolou, K. Paravolidakis, M. Kouremeti, L. Rentifis, E. Simantirakis, G. Xystouris. Impact of Cosmic Ray Intensity and Geomagnetic Activity on Human Heart Rate. Proceedings of the International Conference: SWH, Space Research Institute, Moscow, Russia, June 4–8, 2012, V. 2, p. 683 – 694, 2013.
5. ftp://ftp.iki.rssi.ru/magbase/database/
6. Bendant, J., A. Pirsol. Random Data. Analysis and Measurement Procedures, John Wiley & Sons, Inc., NY, 1986.

# RADIATION ENVIRONMENT ON THE INTERNATIONAL SPACE STATION IN 2012 – SEPTEMBER 2013 ACCORDING DATA FROM LIULIN-5 EXPERIMENT

**Jordanka Semkova[1], Tsvetan Dachev[1], Rositza Koleva[1], Stefan Maltchev[1], Nikolay Bankov[1], Krasimir Krastev[1], Victor Benghin[2], Vyacheslav Shurshakov[2], Vladislav Petrov[2]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]State Scientific Center of Russian Federation, Institute of Biomedical Problems, Russian Academy of Sciences*
*e-mail: jsemkova@stil.bas.bg, v_benghin@mail.ru*

***Key words**: space radiation, space radiation dosimetry, International Space Station*

***Abstract:** Since June 2007 the Liulin-5 dosemetric telescope has been observing the radiation characteristics in the spherical tissue-equivalent phantom of MATROSHKA-R project on the International Space Station (ISS). From 27 December 2011 to 8 September 2013 measurements were conducted in and outside the phantom located in the MIM1 module of ISS. In this paper attention is drawn to the obtained results for the radiation doses in and outside the phantom from galactic cosmic rays and trapped protons*.

# РАДИАЦИОННАТА ОБСТАНОВКА В МЕЖДУНАРОДНАТА КОСМИЧЕСКА СТАНЦИЯ ПРЕЗ 2012Г-СЕПТЕМВРИ 2013Г СЪГЛАСНО ДАННИТЕ ОТ ЕКСПЕРИМЕНТА ЛЮЛИН-5

**Йорданка Семкова[1], Цветан Дачев[1], Росица Колева[1], Стефан Малчев[1], Николай Банков[1], Красимир Кръстев[1], Виктор Бенгин[2], Вячеслав Шуршаков[2], Владислав Петров[2]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2]Институт по медико-биологични проблеми - РАН*
*e-mail: jsemkova@stil.bas.bg, v_benghin@mail.ru*

***Ключови думи**: космическа радиация, космическа радиационна дозиметрия, Международна Космическа Станция*

***Резюме:** От 2007г на борда на Международната Космическа Станция (МКС) с помощта на телескопа на заредени частици "Люлин-5" се изследват радиационните характеристики във сферичния тъканно-еквивалентен фантом в рамките на международния проект "Матрьошка-Р". От 27.12.2011г до 08.09.2013г бяха проведени измервания вътре и извън фантома в модула МИМ1 на МКС. В настоящата работа са представени резултатите за радиационните дози, получени в този период, и приноса в тях на галактическите космически лъчи и захванатите протони.*

## Introduction

Humans are exposed to the impact of natural ionizing radiation at any time anywhere in outer space. As the ionizing radiation can induce a variety of harmful biological effects, it is necessary to quantitatively assess the level of exposure to it as a basis for estimating the radiation hazard during various manned space activities. A current manned space vehicle is the International Space Station (ISS) and monitoring the radiation environment in it is a task directly related to crew's health.

The radiation field in the ISS is complex, composed of galactic cosmic rays (GCR), trapped radiation of the Earth radiation belts, solar energetic particles (SEP), albedo particles from Earth's atmosphere and the secondary radiation produced in the shielding materials of the spacecraft and in human body [1].

The GCR are charged particles that originate from sources beyond our solar system. 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). Up to 1 GeV the flux and spectra of GCR particles are strongly influenced by the solar activity and hence show modulation that is anti-correlated with solar activity [2].

The biological impact of space radiation to humans depends strongly on the particle's linear energy transfer (LET) and is dominated by the high LET radiation. Especially important is the effect of the high energy heavy ion component of GCR (typically referred to as high Z and energy - HZE particles), possessing high LET and highly penetrating in human body, which provides them with a large potential for radiobiological damage [3]. The deep and prolonged minimum of the descent phase of Cycle 23 produced a very high flux of GCR, including a flux of iron ions nearly 20% higher than observed in the previous solar minima [4].

Another component of the incident radiation field at the ISS orbit are the trapped protons and electrons of the radiation belts. The trapped protons of the inner radiation belt have energies up to several hundreds of MeV and contribute a large fraction of the dose rates outside and inside the ISS. The trapped protons are encountered by LEO spacecraft in the region of the South Atlantic Anomaly (SAA). Although only about 5% of the mission time of the ISS is spent in the SAA, the astronauts may collect more than 50% of their total absorbed dose during this short time period [5, 6].

The electrons of the inner and outer radiation belts have energies up to a several MeV. These electrons are easily stopped before penetrating the spacecraft interior by the self-shielding of the spacecraft and are mainly of concern to an astronaut in a spacesuit during an EVA (Extra – Vehicular Activity) [7].

A sporadic radiation component at ISS orbit are the SEP. They consist of protons, electrons, helium ions, and HZE ions with energy ranging from a few tens of keV to GeV and the intensity can reach $10^4$ $cm^{-2}$ $s^{-1}$ $sr^{-1}$. It is now widely agreed that SEPs come from two different sources with different acceleration mechanisms working: the flares themselves release impulsive events while the coronal mass ejection (CME) shocks produce gradual events [8]. Electrons with energies of ~0.5 to 1 MeV arrive at the Earth, 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 early as 20 minutes. SEP are relatively rare and occur most often during the solar maximum phase of the 11-year solar cycle.

Dose characteristics in LEO depend also on many other parameters such as the solar cycle phase, spacecraft orbit parameters, helio – and geophysical parameters.

For the estimation of the organ doses from the complex radiation field in the ISS, and thus the radiation risk, measurements in a model of the human body – the spherical tissue–equivalent phantom of the MATROSHKA-R international experiment have been conducted on the Russian segment of the ISS since 2004 [9]. The spherical tissue–equivalent phantom [10] is equipped with passive radiation detectors and active instruments for studies of the depth dose distribution at various sides of the organs of a human body exposed to cosmic radiation.

Liulin-5 [11] is an active instrument in the spherical phantom. The aim of this work is to present the results for dose rates and particle fluxes from the Liulin-5 experiment that concern measurements in and outside the phantom at the maximum of the 24$^{th}$ solar cycle.

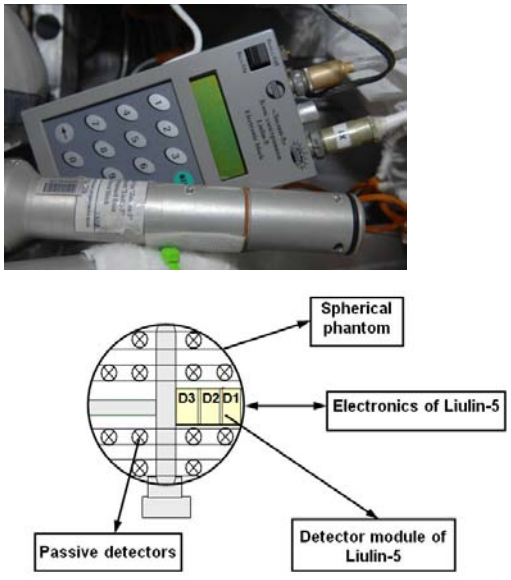



Fig. 1. Upper picture - the Liulin-5 detector module (front) and electronic module (back), located behind panel 205 in MIM1 module of ISS. Bottom-sketch of the detectors arrangement in the phantom.

### Liulin-5 method and instrument

The Liulin-5 particle telescope consists of detector module and an electronic block (Fig.1-upper panel). While in the phantom the detector module of Liulin-5 is mounted inside the largest phantom's diameter channel (Fig.1 –bottom panel). More detailed description of Liulin-5 method and instrument can be found in [11]. The detector module of Liulin-5 contains three silicon detectors D1, D2 and D3 arranged as a telescope. The detectors axis is along the phantom's radius. The D1 detector is at 40 mm, D2 is at 60 mm and D3 is at 165 mm distance from the phantom's surface.

The position of D1 and D2 in the phantom corresponds approximately to the depth of the blood forming organs in human body, while D3 is placed very close to the phantom's centre. This

arrangement allows measuring the dose-depth distribution along the sphere's radius.

The investigation of the local radiation environment in ISS by the Liulin–5 experiment envisages: i) measurement of the energy deposition spectrum, flux and dose rate, and absorbed dose D in each detector; ii) measurement of the LET spectrum in silicon, and then calculation of LET spectrum in water and Q, according to the Q(L) relationship given in ICRP60 [12], where L stays for LET. Q(L) is related functionally to the unrestricted LET of a given radiation, and is multiplied by the absorbed dose to derive the dose equivalent H.

**Results and discussions**

The results presented here concern the absorbed dose rates and dose equivalent values of GCR and trapped protons in SAA from measurements conducted inside and outside the phantom in the time period From 27 December 2011 to 8 September 2013. Data from measurements of SEP events in 2012- 2013 are subject of other publications [13]. From 27.12.2011 to 20.05.2012 the Liulin –5 detector module was mounted inside the phantom, located behind panel 206 in the MIM1 module of the RS of ISS. From 21.05.2012 to 30.08.2012 Liulin-5 was located outside the phantom again behind panel 206 and from 31.08.2012 to 11.09.2012 it was also outside the phantom, but behind panel 207 in MIM1. Since 12.09.2012 the Liulin-5 detector module is mounted again inside the phantom located in the MIM1 module behind panel 206.

***Mapping the dose rate along the ISS orbit***

The distribution of Liulin-5 absorbed dose rate measured near the centre of the phantom in the period 12.03.2012 - 08.09.2013 is presented in geographical and B-L coordinates in Fig.2. Maximum dose rates are obtained from trapped protons in SAA where they reached 405 μGy/h. Outside SAA doses from GCR are from about 10 μGy/h at high geographic latitudes and L>3 to values less than 1 μGy/h near the equator.

***Absorbed dose and dose equivalent in and outside the phantom***

The dose rate measured outside SAA near the centre of the phantom from January 2012 to March 2013 is presented in Fig. 3. These dose rates are from GCR, excluding the peak in March 2013 that is due to SEP event on 7-8 March 2012 (Semkova et al., 2013). The dose rates of GCR in the

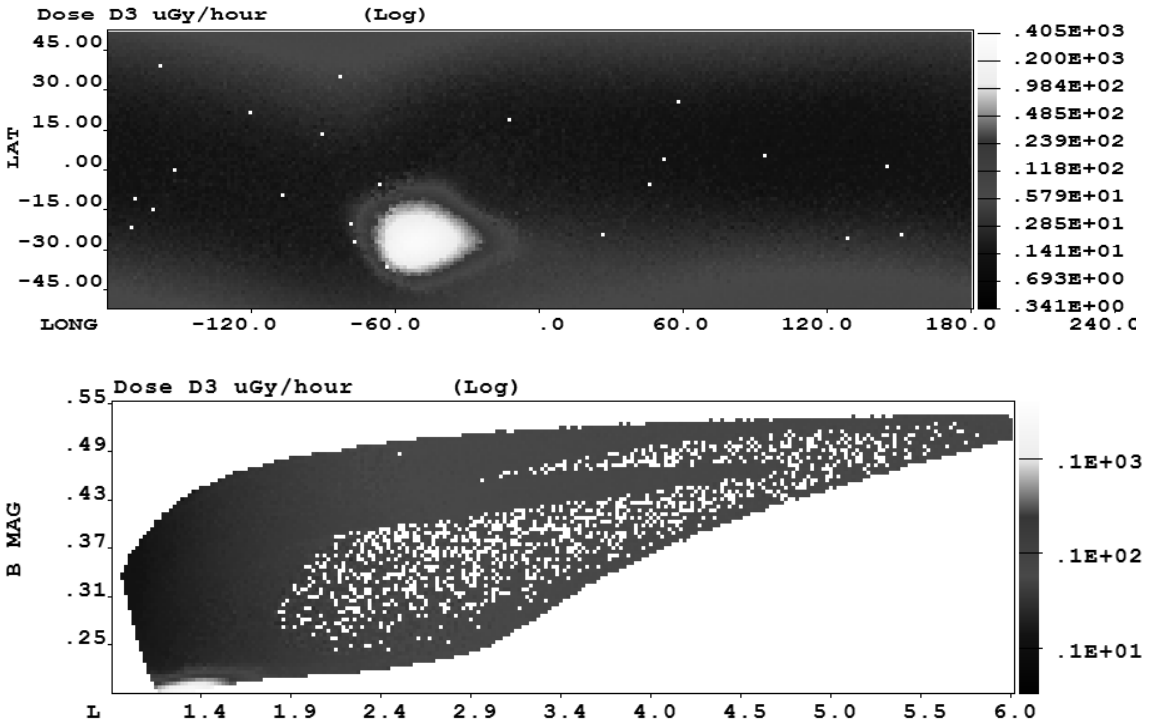



Fig. 2. Dose rate distribution at 165 mm depth in the phantom measured from 12.03.2012 to 8.09.2013. On the upper picture data is presented in geographical coordinates (longitude-latitude), on the bottom picture - in B-L coordinates. Dose rate is color-coded.

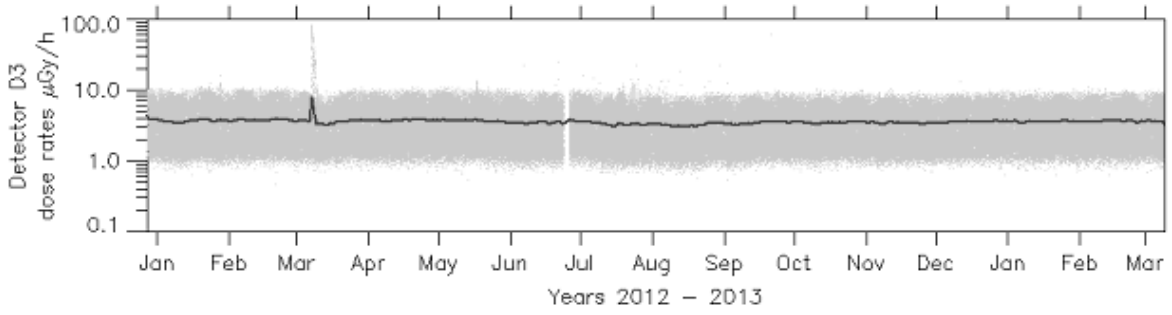



Fig. 3. Dose rate near the centre of the phantom measured from January 2012 to March 2013 outside SAA.

phantom are slightly higher than outside it (21.05-11.09.2012). That is probably due to contribution to the dose rates inside the phantom of secondary particles from interaction of primary GCR with the phantom's material. The average GCR dose rate is about 77 μGy·day$^{-1}$, that is about 12-15% less than the GCR dose rate, obtained by Liulin-5 experiment in PIRS1 module of ISS at the minimum of 23$^{rd}$ solar cycle [14].

In Fig.4. are presented the absorbed dose and dose equivalent rates measured inside the phantom at 40 mm depth (upper picture) and outside (lower picture). Data are averaged for periods of about 14 days. Due to the self-shielding of the phantom against trapped protons in SAA the doses outside phantom (200–230 μGy/day) are higher than in it (120–150 μGy/day). The average dose equivalent rates are 220-470 μSv/day at 40 mm depth in the phantom and 400-540 μSv/day outside it.

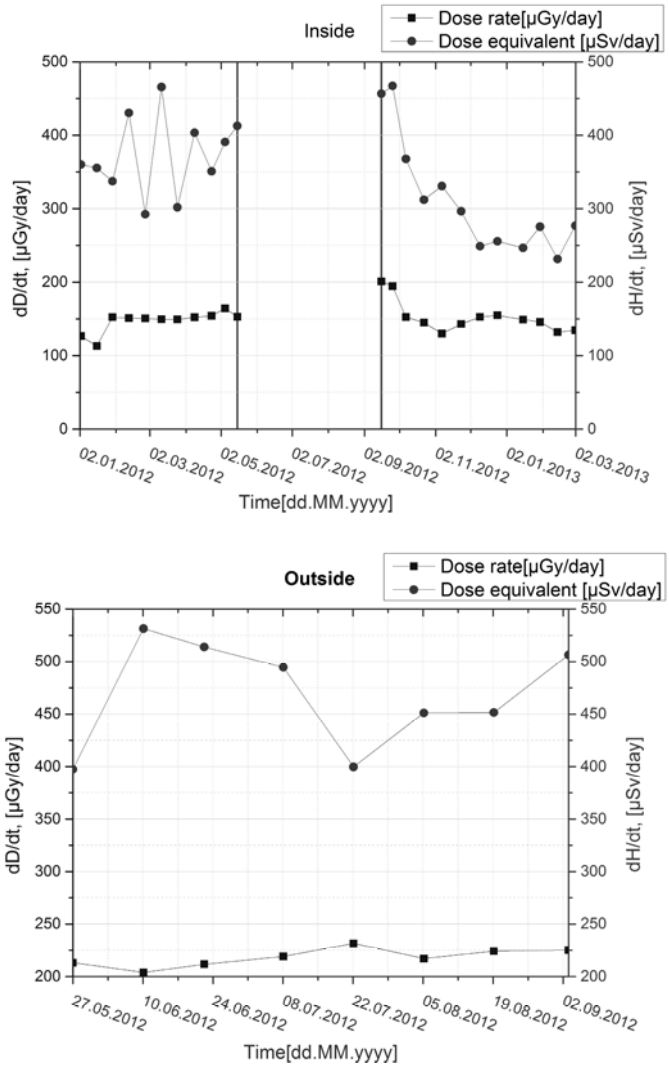



Fig. 4. Absorbed dose and dose equivalent rates measured inside the phantom at 40 mm depth (upper picture) and outside (lower picture).

## Conclusion

Presented are the results for the dose and dose equivalent rates of GCR and trapped protons in SAA from measurements with Liulin-5 particle telescope conducted inside and outside the spherical tissue – equivalent phantom on ISS from 27 December 2011 to 8 September 2013.

The maximum dose rates are obtained from trapped protons in SAA where they reached 405 μGy/h near the phantom's centre. Outside SAA doses from GCR are from about 10 μGy/h at high geographic latitudes and L>3 to values less than 1 μGy/h near the equator.

The dose rates of GCR near the phantom's centre are slightly higher than outside the phantom. That is probably due to contribution to the

dose rates inside the phantom of secondary particles from interaction of primary GCR with the phantom's material. The average GCR dose rate measured in MIM1 module of ISS at the maximum of 24$^{th}$ solar cycle is about 77 μGy·day$^{-1}$, that is about 12-15% less than the GCR dose rate, obtained by Liulin-5 experiment in PIRS1 module of ISS at the minimum of 23$^{rd}$ solar cycle.

Due to the self-shielding of the phantom against trapped protons in SAA the doses outside phantom (200–230 μGy/day) are higher than at 40 mm depth, corresponding to the shielding of blood forming organs in human body (120–150 μGy/day). The average dose equivalent rates are 220-470 μSv/day at 40 mm depth in the phantom and 400-540 μSv/day.

**Acknowledgements**

This work is partly supported by grant DID-02/8 from the National Science Fund and by the Agreement between BAS and RAS on fundamental space research. The authors are obliged to NIRS, Chiba-Japan for the organization of the calibrations of Liulin-5 instrument at HIMAC.

**References:**

1. Wilson, J. W., F. F. Badavi, M. Y. Kim, et al., Natural and Induced Environment in Low Earth Orbit, NASA TM-2002-211668, 2002.
2. Nymmik, R. A., Improved environment radiation models. *Adv. Space Res*., **40**, 313-320, 2007.
3. Cucinotta, F. A., W. Schimmerling, J. W. Wilson, et al, Uncertainties in estimates of the risks of late effects from space radiation. Adv. Space Res,. **34**, 1383–1389, 2004.
4. Mewaldt, R. A., A. J. Davis, K. A. Lave, et al., Record-setting cosmic-ray intensities in 2009 and 2010, The Astrophysical Journal Letters, 723:L1–L6, 2010 November 1, doi:10.1088/2041-8205/723/1/L1.
5. Apathy I., Yu. Akatov, V. Arkhangelsky, et al. TL measurements on board the Russian segment of the ISS by the "Pille" system during Expedition -8, -9 and -10. Acta Astronaut. 60, 322-328, 2007.
6. Semkova J., R. Koleva, St. Maltchev, et al. Radiation characteristics in the spherical tissue-equivalent phantom on the ISS during solar activity minimum according the data from Liulin-5 experiment, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, **99**, 2013, 157–163, 2013, http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2012.07.006.
7. De Angelis, G., B. M. Anderson, W. Atwell, et al., Astronaut EVA exposure estimates from CAD model spacesuit geometry. J. Radiat. Res., **45**, 1-9, 2004.
8. Cliver, E.W. and Cane, H.V., Gradual and Impulsive Solar Energetic Particle Events, Eos Trans. AGU, **83**, 61–68. http://dx.doi.org/10.1029/2002EO000084, 2002.
9. Shurshakov, V. A., Yu. A. Akatov, I. S. Kartsev, et al., Study of dose distribution in a human body in Space Station compartments with the spherical tissue-equivalent phantom. Proceedings of International Conference "Fundamental Space Research", Sunny Beach, Bulgaria, September 21-28, 234-238, http://www.stil.bas.bg/FSR/, 2008.
10. Kartsev, I., S., Akatov, Yu. A., Eremenko, V.G., et al., Spherical phantom for studying radiation conditions in outer space. Design-structural special features. Nuclear Measurement & Information Technologies, 16, 36-45, 2005.
11. Semkova, J., Koleva, R., Maltchev St., et al. Radiation measurements inside a human phantom aboard the International Space Station using Liulin-5 charged particle telescope. Adv. Space Res., 45, (7), 858-865, 2010.
12. ICRP, Report No. 60, Pergamon Press, Oxford, 1991.
13. Semkova, J., T. Dachev, R. Koleva, et al., Radiation Environment on the International Space Station during the Solar Particle Events in March 2012, Astrol. Outreach, **1:** 102, doi:10.4172/jao.1000102, 2013.
14. Semkova, J., Koleva, R., Maltchev St., et al. Depth dose measurements with the Liulin-5 experiment inside the spherical phantom of the Matroshka-R project onboard the International Space Station, Adv. Space Res., 49, 471–478, 2012.

# ПРОИЗВОДСТВО НА ОЗОН ОТ СЛЪНЧЕВО ПРОТОННОТО СЪБИТИЕ (SPE) НА 20.01.2005

**Йордан Тасев[1], Димитринка Томова[2]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии - Българска академия на науките*
*[2]Софийски университет «Св. Климент Охридски», Департамент по езиково убочение, Катедра природни науки*
*e-mail: yktassev@bas.bg*

***Ключови думи:*** *стратосферен озон, слънчево протонни събития*

***Резюме:*** *В настоящата работа, въз основа на изчислени профили на йонизация от потока протони генерирани от Слънчево Протонното Събитие от 17, 20 January 2005 (GLE 68 и 69), са изчислени профилите за продукцията на озон за 15 часа. Направено е сравнение, между продукцията на озон на 40, 60 и 80$^0$ северна географска ширина от слънчевите протони и измерените профили на стратосферния озон. Получените профили на продукцията на озона имат максимуми на различни височини. Най-високо е разположен максимума на полярни ширини, а най-ниско на средни ширини. Съответно, продукцията на озон е най-голяма на полярни ширини, на 60$^0$ N е 1,5% от продукцията на 80$^0$ N и на 40$^0$ е едва 0,19% от продукцията в полярни ширини.*

# PRODUCTION OF OZONE FROM THE SPE OF 20.01.2005

**Yordan Tassev[1], Dimitrinka Tomova[2]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Sofia University "St. Kliment Ohridski", Department for Language Teaching and International Students, Chair of Natural Sciences*
*e-mail: yktassev@bas.bg*

***Keywords:*** *stratospheric ozone, Solar Proton Events*

***Abstract:*** *The ozone production profiles for 15 hours are calculated in the present paper on the base of computed ionization rate profiles from the proton flux generated by the Solar Proton Events from 17 to 20 January 2005 (GLE 68 and 69). A comparison between the ozone production at 40, 60 and 80$^0$ degree of Northern latitude is made. The obtained ozone production profiles show maxima at different altitudes. The highest maximum is situated at polar latitudes, the lowest maximum – at middle latitudes. The ozone production is highest at polar latitudes – the production at 60$^0$ N is 1.5% from the production at 80$^0$ N. At 40$^0$ N it is 0.19% from the production at polar latitudes.*

## Въведение

При настъпване на Слънчево Протонно Събитие (Solar Proton Event), то е съпроводено от различни процеси и явления в земната атмосфера. Едно от основните такива е допълнителната йонизацията, която то предизвиква. Основно тя се генерира от значителния поток от протони, представляващ около 90 - 95% от състава на частиците, достигащи до Земята. В зависимост от мощността на събитието, когато има изхвърляне на поток от слънчеви космически лъчи с енергия над 100 MeV, се наблюдава явлението Ground Level Enhancements. При него има наличие на поток от високо енергетични частици, създаващи каскадни процеси в атмосферата, продуктите от които достигат и земната повърхност, регистрирайки ги в неутронните монитори. Такъв е случаят и със събитията от 17-20 January 2005 (GLE 68 and 69). Оценката на профилите на скоростта на йонизация в резултат на горепосочените процеси, обикновено е трудоемка и проблемна задача, поради сложността на корпускулярно-електромагнитните каскади в атмосферата. Обикновено се изчислява скоростта на йонизация в

началния момент на събитието, или близки до него [1,2,3]. Това, като характеризиране на моментното състояние на йонизацията и процесите и ефектите свързани с нея, е необходимо, но недостатъчно. За да може да се проследи във времето развитието на процеса на йонизация и ефектитите от тях, представлява интерес изчислението на йонната продукция в различни моменти. В най-елементарния случай, е определяне профилите на йонизация в началния и крайния момент на изследвания период. В работа [4] е дадена йонната продукция, определена конкретно за събитието от 20 януари 2005 год. При това в работата са дадени профилите на скоростта на йонизация в два различни момента. Първият профил е един час след началото на СПС – 08 часа, а вторият в 23 часа. Изчисленията са за трите ширини 40, 60 и $80^0$ N. Използвайки вече изчислени профили от [4] на скоростта на йонизация от СКЛ по време на СПС от 20.01.2005 за 40, 60 и $80^0$ N се изчисляват профилите на продукцията на озон. Данните за измерените профили на озона са взети от [10].

**Изложение**

Тъй като йонизацията в атмосферата, реализирана в резултат на потока от СКЛ, основно се генерира от протоните, които са основна част от състава им, то ние първо ще оценим тяхния принос за образуването на озон. Връзката между потока енергия от протоните на СКЛ и скоростта с която се образуват йони получени в резултат на този поток, може да се даде с уравнението, описващо скоростта на образуване и разрушаване на йоните:

$$(1) \qquad \frac{dE_P}{dt}\frac{1}{Q} = \frac{dn}{dt} = q(h,\lambda) - \alpha n^2 - \beta N n$$

Където, Q=35 eV е енергията, необходима за образуването на една йонна двойка. q(h,λ) е скоростта на продукцията от йонни двойки получени чрез модела CORSIKA от формула за йонизацията на космическите лъчи q(h,λ) в работа [4]. $\alpha$ и $\beta$ са съответно коефициенти на рекомбинация и прилепване. При анализа от литературни данни за коефициента на рекомбинация на йонни двойки, съгласно [5, 6, 7] стойността на $\alpha = 4.10^{-7}$ ion.cm$^3$.s$^{-1}$ до $1{,}8.10^{-8}$ ion.cm$^3$.s$^{-1}$. Съпоставяйки тези стойности с максимумите на скоростта на йонизация на профили за 40, 60 и $80^0$ , които са 1,74E+03, 2,92E+04, и 1,74E+06 се показва: че $\alpha n^2$ за $80^0$ е $4{,}10^{-7}(1{,}74.10^6)^2 = 6{,}8.10^5$ ion.cm$^3$.s$^{-1}$ дори за най- високите стойности на скорост на йонизация (каквато е на $80^0$) балансното уравнение в квазистационарния случай $dn/dt = q(h,\lambda) - \alpha n^2 = 0$ е съответно $1{,}74.10^6 - 6{,}8.10^5 = 1{,}06.10^6$ ion.cm$^3$.s$^{-1}$.

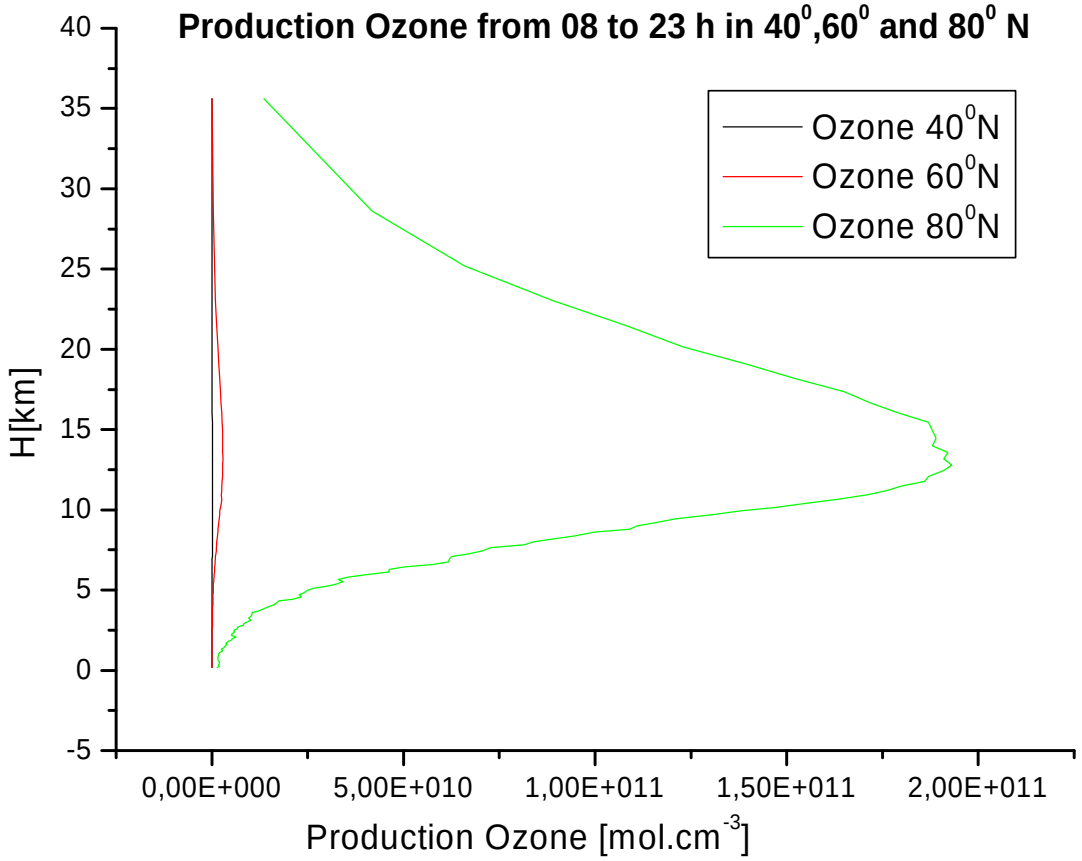
Както се вижда от получената стойност на горната разлика, порядъкът не се променя на броят йони за $80^0$ N, дори ако ги намалим с $\alpha n^2$. За другите ширини стойностите на $\alpha n^2$ са още по-малки. За коефициента на прилепване $\beta$ съгласно [5] реалният принос за унищожаване на йоните е 0,2 %. Това означава, че в първо приближение ние може да приемем

$$(2) \qquad \frac{dE_P}{dt}\frac{1}{Q} = \frac{dn}{dt} = q(h,\lambda)$$

Използвайки експерименталните данни за оценка радиолизата на кислородно - азотна газова смес, може да се изчисли скоростта на производство на озон. При смес от кислород и азот, която се облъчва с радиация, се генерира озон и азотни окиси. С добро приближение може да се приеме сместа от кислород и азот за описание на въздуха. При облъчване на влажен въздух също се образува озон, азотни окиси и азотна киселина. Когато има относително висока мощност на дозата I= $3{,}2.10^{10}$ Gr/s основният продукт се явява озона. Азотния окис е пренебрежимо малък, тъй като G – продукцията на брой молекули азот от 100 eV е под единица. Затова за въздуха при налягане 530 HPa се взима $G(O_3)$=10,3 mol/100 eV [8]. Отчитаме факта, че за образуването на една йонна двойка са необходими 35 eV. От тук, за нашите цели в първо приближение, за изчисляване вертикалното разпределение на скоростта на образуване на озон в атмосферата в резултат на СКЛ, като основен източник на йонизация се взима потока протони и се определя чрез уравнението от [9]:

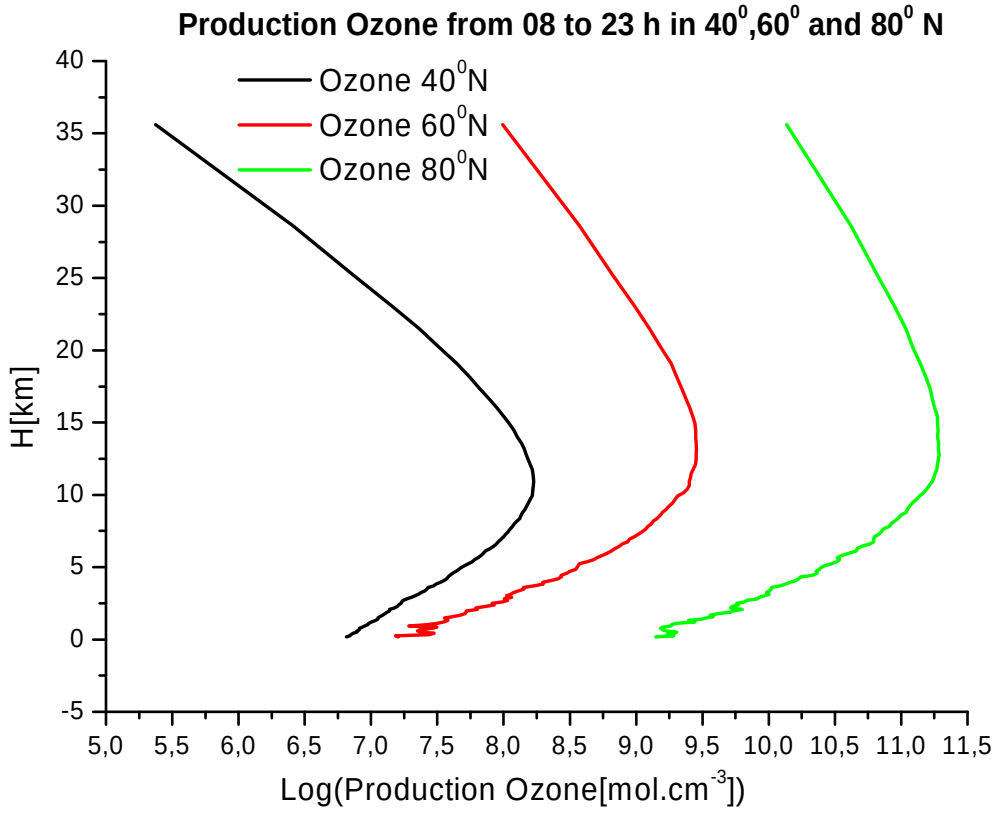
(3) $$\frac{dN_{O_3}}{dt} = G(O_3)\frac{dEp}{dt}\frac{1}{Q}$$

Изчислявайки скороста на продукцията от йонни двоики от (2) в първия случай за UT 08:00 часа, получаваме от (3) скоростта на образуване на озон в този час. След това изчисляваме скороста на продукцията от йонни двоики за UT 23:00 часа и изчисляваме от нея скоростта на образуване на озон в 23:00 часа. Определяме средната скорост на образуване на озон между тези два момента. Умножавайки я по целият часови интервал, получаваме продукцията на озона $N_{O_3}$ за тези 15 часа. Тази процедура се използва и за трите ширини 40, 60 и $80^0$ N. Получените профили за продукцията на озон само от протоните в резултат на йонизацията и верижните процеси протичащи във стратосферата и високата атмосфера са дадени на фигура 1 и фигура 2.




Фиг. 1

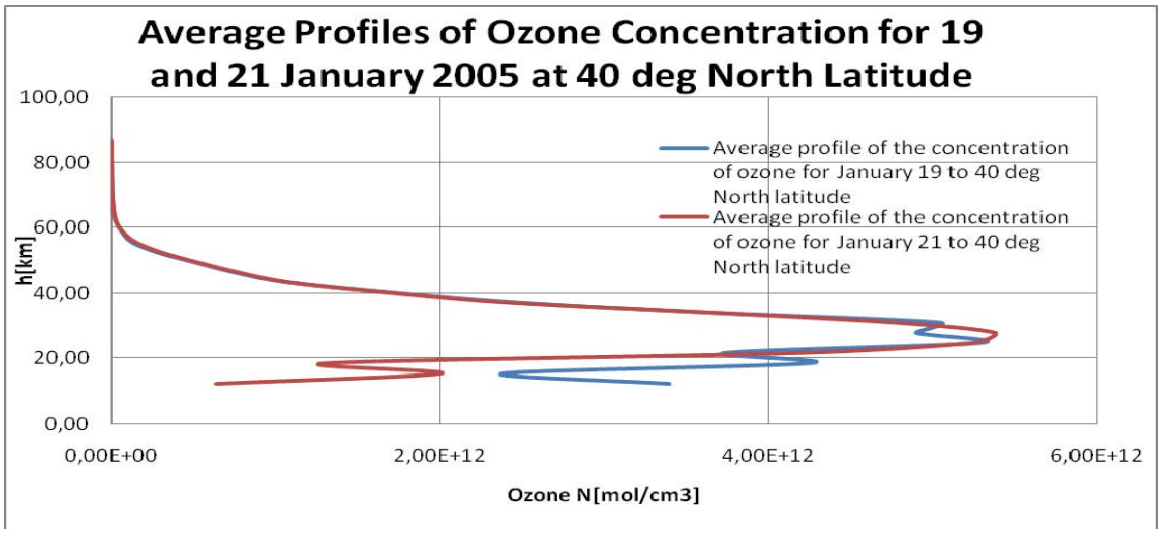
На първата фигура е използвана линейна скала на изобразяване на продукцията на озона за тези петнадесет часа, след протонното събитие. На втората фигура същите профили но дадени в десетичен логаритъм по оста за концентрацията.

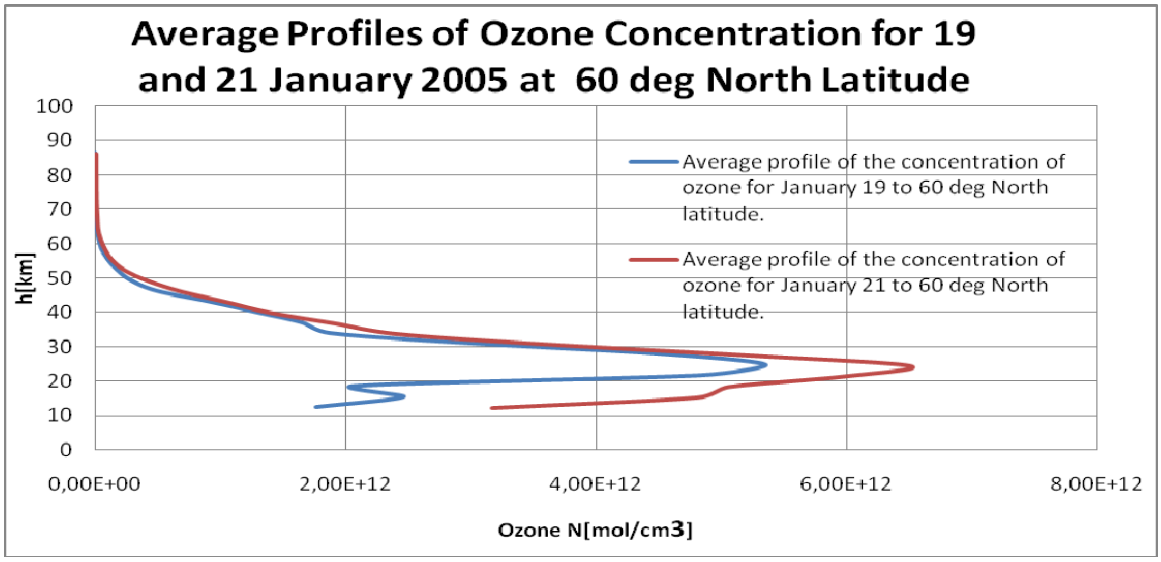


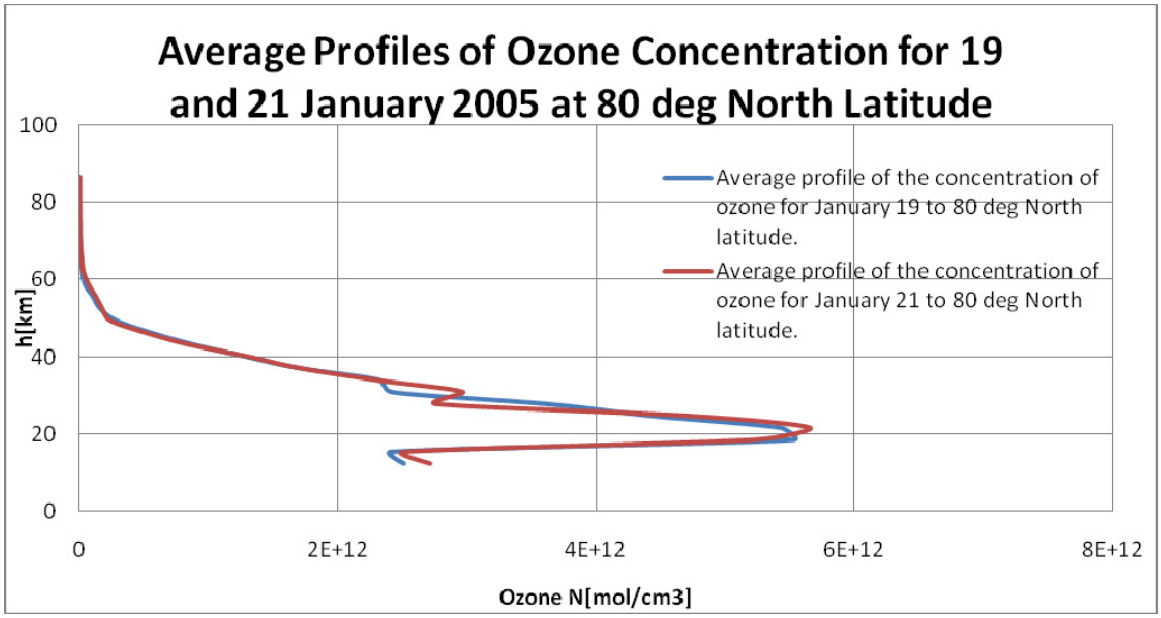

Фиг. 2

Полученият профил за продукцията на озон на $40^0$ северна ширина има максимум на височина H[km] = 10,9 и $N_{O_3}$ [mol.cm-3]= 1,69E+08. Съответно на $60^0$ северна ширина има максимум на височина H[km] = 13,7 и $N_{O_3}$ [mol.cm$^{-3}$]= 2,85E+09. И на $80^0$ северна ширина максимума е на височина H[km] = 12,78 и $N_{O_3}$ [mol.cm$^{-3}$]= 1,93E+11. Както се вижда на по-ниски ширини максимума на концентрацията на озона е по–ниско в атмосферата (в случая с 40 северна ширина) от тези на високи ширини (60 и $80^0$ северни ширини). Това може да се обясни с различните профилите на скоростта на йонната продукция. Получената продукзия на озон само от потока протони по целия профил за първи път дава приноса на СКЛ към съдържанието на озона в стратосферата за конкретно събитие. Освен това тази оценка по трите ширини (40, 60, $80^0$)в северното полукълбо могат процентно да определят и концентрацията на озона. Ако приемем, че продукцията на озон е 100% на $80^0$ N то за $60^0$ N продукцията на озона е 1,5 % . Съответно продукцията на озона на $40^0$ N спрямо тази от $80^0$ N е едва 0,19%. Тези процентни разпределения на концентрацията на озона най-добре се показват на фигура 1, където е използвана линейна скала на изобразяване на продукцията на озона.

Като проверка за образуването на озон, може да послужи разглеждането на състоянието на профилите на концентрацията на стратосферния озон. Използваме реално измерени данни от мисията AURA и инструмента Microwave Limb Sounder (MLS) [10] измерващ профилите на озона. За целта се изчертават среднодневните профили на озона от 19 януари 2005, за трите северни географски ширини 40, 60 и $80^0$, центрирани към Гринуичкия меридиан. Същата процедура извършваме и за профилите на озона, но за 21 януари. Така се приближаваме максимално до зададените по-горе условия на теоретичната оценка. Сега сравнявайки средните профили на концентрацията на озон от 19 и 21 януари, на различни ширини, може да се забележи евентуалната тенденция в концентрацията му. На фигура 3 са показани и трите комбинации от профили. Независимо от това, че в разпределението на озона по височина може да имат влияние и динамичните фактори, то ясно се вижда, че тенденцията е на увеличение на озона.


Average Profiles of Ozone Concentration for 19 and 21 January 2005 at 40 deg North Latitude
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
h[km]
0,00E+00
2,00E+12
4,00E+12
6,00E+12
Ozone N[mol/cm3]
Average profile of the concentration of ozone for January 19 to 40 deg North latitude
Average profile of the concentration of ozone for January 21 to 40 deg North latitude

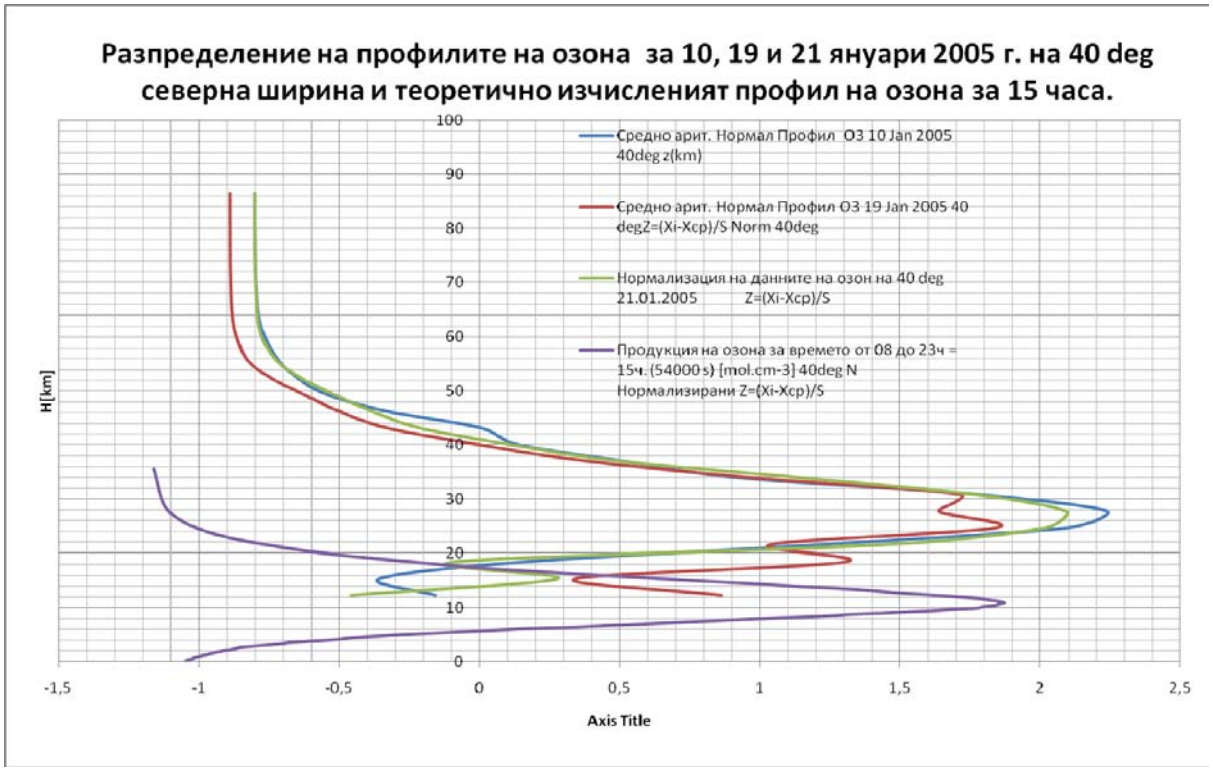

Average Profiles of Ozone Concentration for 19 and 21 January 2005 at 60 deg North Latitude
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
h[km]
0,00E+00
2,00E+12
4,00E+12
6,00E+12
8,00E+12
Ozone N[mol/cm3]
Average profile of the concentration of ozone for January 19 to 60 deg North latitude.
Average profile of the concentration of ozone for January 21 to 60 deg North latitude.


Average Profiles of Ozone Concentration for 19 and 21 January 2005 at 80 deg North Latitude
100
80
60
40
20
0
h[km]
0
2E+12
4E+12
6E+12
8E+12
Ozone N[mol/cm3]
Average profile of the concentration of ozone for January 19 to 80 deg North latitude.
Average profile of the concentration of ozone for January 21 to 80 deg North latitude.

Фиг. 3

Нещо повече, при сравнението на профилите, от непосредствените измервания, в трите ширини (фигура 3) се забелязва следното: На високи ширини $80^0$ N, почти не се различават профилите от 19 и от 21 януари. Това може да бъде обяснено с факта, че на високи ширини проникват значително по лесно и по-ниско енергетичните частици, поради по-малкия геомагнитен праг и там се поддържа една постоянна продукция на озон от тях. На $60^0$ N, виждаме една чувствителна разлика в профилите. Това може да се обясни с това, че в този период геомагнитният праг се е понижил и значително се е увеличила йонизацията, от там и продукцията на озон. Що се отнася до $40^0$ N, профилите малко се различават с леко увеличение от 21 януари. Това може да се обясни с това, че на тези ширини промяната на геомагнитният праг, а от там и йонизацията водещи до продукция на озон са незначителни. Това може да се види ясно на фигури 1 и 2.

И накрая са сравнени за една ширина $40^0$ северно, профилите от измерените стойности на озона и профилите, изчислени в резултат на потока слънчеви протони (фигура 4). Дадени са среднодневните и нормирани профили на измерения озон на 10, 19 и 21 януари 2005 год. и теоретично изчисления профил на озона за 15 часа. Ясно се вижда, че изчисленият профил, дори само за тези 15 часа, е съизмерим с профилите от 19 и 21 януари. При положение, че тази теоретична количествена оценка в никакъв случай не може да претендира за пълнота, може със сигурност да се отбележи наличието на принос на потока протони в профилите на озона.




Фиг. 4

**Заключение**

Получените резултати показват, че продукцията на озон от потока слънчеви протони има своя принос в общото състояние и разпределение на озона по неговия профил. Въпреки, че на високи ширини $80^0$ продукцията на озон е най–голяма, то максимума му се намира най-високо в атмосферата. Това се дължи на значително по-ниския геомагнитен праг на отрязване на енергетичните частици. Поради този факт, голямо значение имат частиците с ниски енергии. Те са, освен това, със значително по-голяма интензивност, но поради относително по-ниските си енергии проникват до по-големи височини. Така се оформя максимума на йонизация на по-голяма височина. От тук и максимума на продукцията на озона се получава на по-голяма височина.

При по-ниски ширини, като при $40^0$N, геомагнитния праг е по-висок, около 5,5GV и заложената начална енергия в спектъра е по-висока. Тези по-високо енергетични частици имат по-висока проникваща способност и съответно оформят по-ниско в атмосферата максимума на йонизация. Съответно, и продукцията на озон ще има максимум по-дълбоко в атмосферата.

Тези количествени оценки за изчисление на профилите на продукцията на озон дават възможност още веднъж да се интерпретира и появата на втори масксимум на средни ширини. Той съвсем естественно се оформя от йонизацията, предизвикана от галактически космически лъчи при спокойни условия и от слънчеви космически лъчи при слънчеви протонни събития.

**Литература:**


1. M i s h e v, A., P. I - Y.V e l i n o v, Atmosphere Ionization Due to Cosmic Ray Protons Estimated with Corsika Code Simulations.Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences 60(3), 2007, 225-230.
2. V e l i n o v, P.I - Y., A. M i s h e v. Solar Cosmic ray induced ionization in the Earth's atmosphere obtained with Corsika code simulations.Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences 61(7), 2008, 247-932.
3. U s o s k i n, I. G.,, G. A. K o v a l t s o v, Cosmic ray induced ionization in the atmosphere: Full modeling and practical applications, J. Geophys. Res., 111, D21206, 2006.
4. M i s h e v, A., P. V e l i n o v, L. M a t e e v. Atmospheric ionization due to solar cosmic rays from 20 January 2005 calculated with Monte Carlo simulations. Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences 63(11), 2010, 1635-1642.
5. С м и р н о в, Б. М. Экологические проблемы атмосферы Земли. Успехи физ.наук,1975, т.117, вып. 2, 313-332.
6. W e b e r, W. J. Geoph. Res., 67, №13, 1962,5091.
7. S w i f t, D. W., J. Atm. Terr. Phys. 23, 1961, 29.
8. W i l l i s, C., B o y d A. W., Excitation in the radiation chemistry of inorganic gases. Inter. J. Radiat. Phys. and Chem., 8, 1-2, 71-111, 1976.
9. O s e c h k i n, B. B., G n i l o v s k o i E. V., K o n d r a t o v i c h K. V. О воздействии галактических космических лучей на формирования весеннего максимума общего одержания озона в полярных и субполярных районах. Доклады АН СССР, т305, №4, 1989.
10. http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni

# POSSIBLE SPACE ORIGINE OF 6-YEAR EARTH OSCILLATIONS

**Yavor Chapanov[1], Victor Gorshkov[2]**

*[1]National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Pulkovo Observatory - RAS*
*e-mail: yavor.chapanov@gmail.com*

***Keywords:*** *6-year Earth cycles, solar activity, Moon tides, Earth core*

***Abstract:*** *Six-year cycles of the pseudo-periodical oscillations are discovered in the series of astrometrical observations of the latitude and universal time, gravity measurements and Earth rotation series. The six-year cycles consist of several oscillations with close periods from band 5 to 7 years. The separation of the oscillations with close frequencies need long observational series, so some solutions for the Universal Time UT1 and Length of Day LOD with centennial duration are convenient for the analyses of the 6-year Earth cycles. The main problem of 6-year Earth cycles analyses is to determine the origin of their excitation sources. A model of 6-year Earth cycles based on Moon and Solar excitation is proposed. This model includes the 3-rd harmonics of 18.6-year cycle of the Moon node and 3-rd and 4-th harmonics of 22-year solar magnetic cycle. The model is applied to LOD and Mean Sea Level Variations (MSL). The effect of the liquid Earth core on the 6-year cycles of the Earth rotation is determine by excluding the Moon and solar harmonics from the LOD oscillations with periods from band 5-7 years.*

## Introduction

Six-year cycles of the pseudo-periodical oscillations are discovered in the series of astrometrical observations of the latitude and universal time, tidal observations and Earth rotation series(Chapanov et al., 2005). The variations of the latitude with period about 6 years are due to oscillations of the local vertical. At observatory Washington 6-year oscillations of the vertical for the period 1919-1953 are with amplitude 20÷30 mas (Fig.1). The observations of the universal time UT at observatory Washington consist of several oscillations with variable amplitudes about 0.1ms and periods between 5 and 7 years (Fig.12). The 5.5-year oscillations of the vertical at observatory Plana are with amplitude about 10 mas for the period 1987.5-2005 (fig.3). The last oscillations are highly correlated with the 5.5-year cycles of nontidal changes of the gravity at observatory Brussels with amplitude 50 nm/s**2, determined from superconducting gravimeter measurements (Chapanov, 2005). In the case of even distribution of the gravity effects, due to the six-year oscillations of the Earth, the corresponding depth of the resulting central force of the disturbances (pendulum model) will be about 600 km.

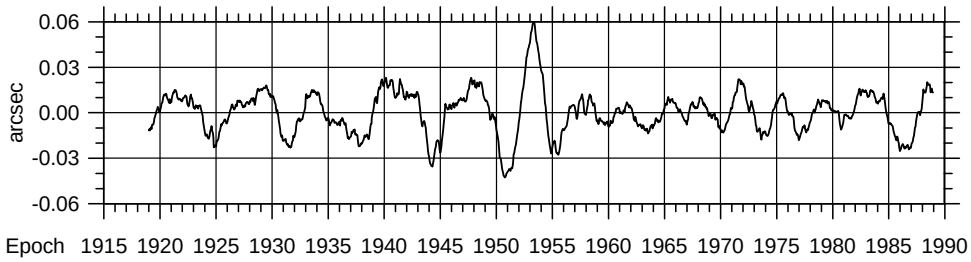



Figure 1. 3-year and 6-year cycles of the vertical at Washington

An explanation of the 6-year cycles of the Earth gravity and rotation is given by a theoretical model (Mound and Buffett, 2003) of the core-mantle system that includes a combination of gravitational and electromagnetic couplings, transferring of the angular momentum between the solid

inner core, fluid outer core, and mantle of the Earth This model is involving to explain namely the 6-year variation in the length of day (LOD).

Gorshkov (2010) discovers a partial correlation between 6-year LOD and MSL oscillations.

A new model of 6-year Earth cycles based on Moon and Solar excitation is proposed in this paper in order to improve the consistency between the MSL and Earth rotation variations. This model includes the 3-rd harmonics of 18.6-year cycle of the Moon node and 3-rd and 4-th harmonics of 22-year solar magnetic cycle.

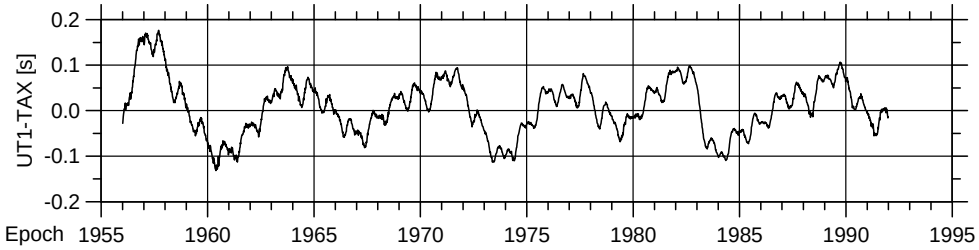



Figure 2. 3-year and 6-year cycles of the Universal Time UT1-TAX

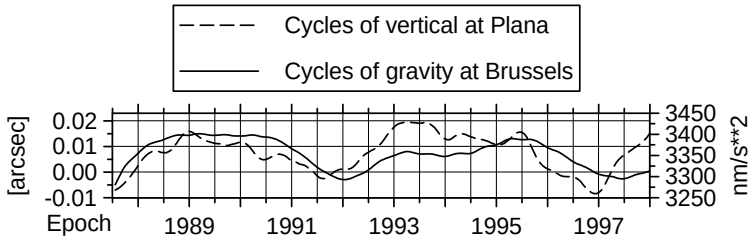



Figure 3. Common 5.5-year cycles of gravity at Brussels and Plana Observatories

**A model of 6-year oscillations**

The 6-year Earth oscillation may contain several frequencies, whose periods are rather close and proper determination of their parameters need observational interval greater than the beat period between the two closest frequencies. It is possible to use time series of UT1 and LOD solution for the period 1623-2006, determined by star occultation (Stephenson and Morrison, 1984) plus modern determinations (Fig.1). The quality of LOD time series allows determination of 6-year oscillations after 1850. The variations of Earth rotation are close connected with global MSL changes, so time series of MSL variations determined at Stockholm tide gauge station are used, too (Fig.6, top graph).

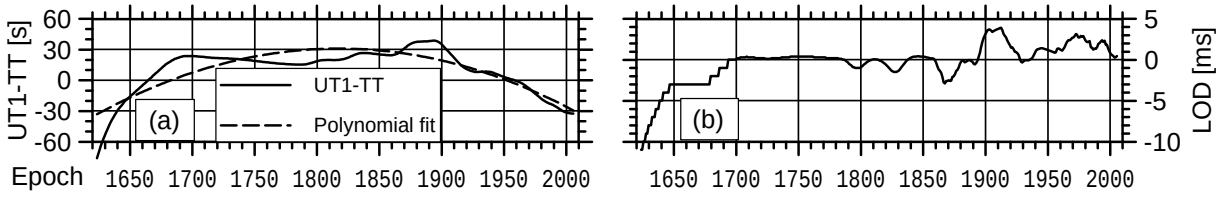



Figure 4. UT1 and LOD variations for the period 1623-2006

The six-year oscillations of MSL and LOD from period bands 5a-7.5a and 5a-8a are determined by partial Fourier approximations of their time series and superposition of 10 (12) harmonics (Fig.5). The comparison of the resulting time series in Fig. 5 shows a significant phase and frequency discrepancy between LOD and MSL cycles, where the case of 6-year oscillations with periods from band 5a-7.5a seems more realistic. Thus, some of the oscillations from this band are not common in MSL and LOD variations. To create adequate models of common 6-year oscillations of MSL and Earth rotation will be used a model with 3 oscillations with fixed phases and amplitudes.

The new model of 6-year Earth oscillations is based on solar and lunar effects on Earth systems. It includes 3 main oscillations the 3-rd harmonics of 18.6-year cycle of the Moon node with period 6.2a and 3-rd and 4-th harmonics of 22-year solar magnetic cycle with periods 7.5a, 5.6a. The last two periods are determined from the mean value of about 22.5 years of solar magnetic cycle for the period 1850-2006, according 22-year solar index $W_{n/22a}$ in Fig.6.

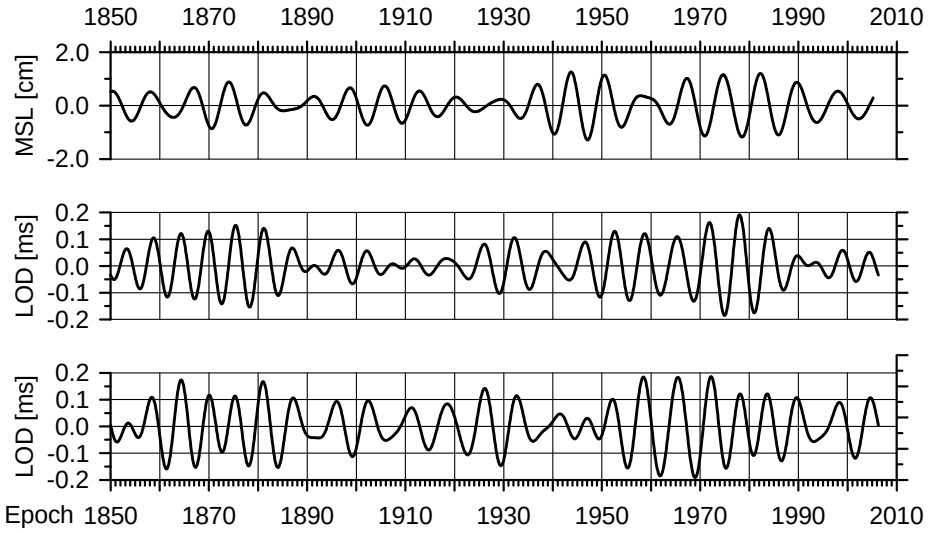



Figure 5. Six-year cycles of MSL and LOD from period band 5a-7.5a (MSL - top graph) (LOD - middle graph) and from period band (5a-8a) (LOD - bottom graph) for the period 1850-2005. Significant phase discrepancy between LOD and MSL is visible

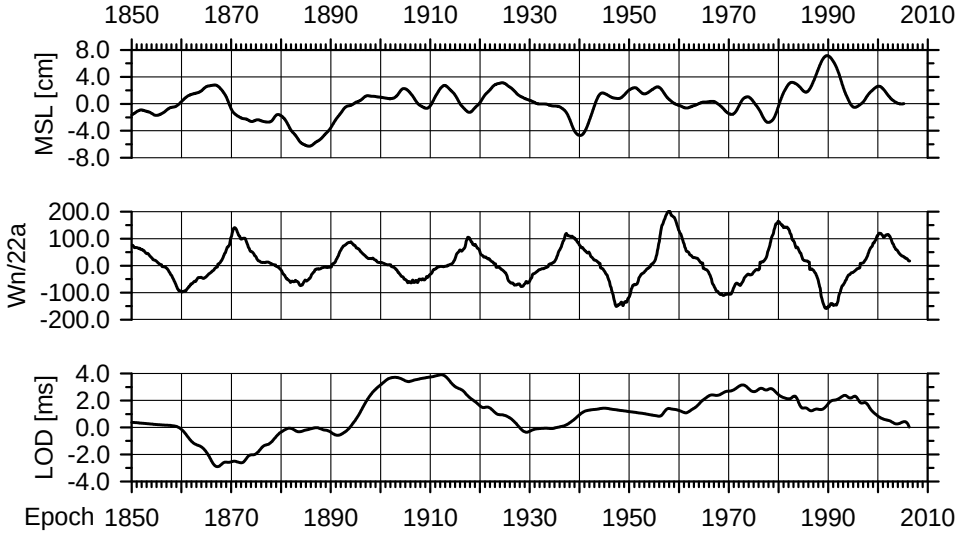



Figure 6. Variations of MSL (top graph) solar magnetic cycles (middle graph) and LOD (bottom graph) for the period 1850-2005

The model $F(t)$ of 6-year Earth oscillations with 3 fixed frequencies is given by

$$F(t) = f_0 + f_1(t-t_0) + \sum_{k=1}^{3} a_k \sin\frac{2\pi}{P_k}(t-t_0) + b_k \cos\frac{2\pi}{P_k}(t-t_0),$$

(1) $$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2},$$

$$\psi_k = \arctan\frac{b_k}{a_k},$$

where $t_0$, *is* the first epoch of observations, $f_0$, $f_1$, $a_k$ and $b_k$ are coefficients, determined by the Least-Squares Method, $A_k$ is the amplitude, $\Psi$ - the phase, and the periods $P_k$ , k=1, 2, 3 take values equal to 5.6a, 6.2a, 7.5a.

The estimated Amplitudes and phases of the modeled 6-year oscillations of MSL and LOD are given in Tables 1 and 2. The time series of 6-year models of LOD and MSL variations are compared in Fig.7, where four piece wise parts have good agreement by no phase differences

Table 1. MSL model of 6-year oscillations

| Period [a] | Amplitude [cm] | Phase [deg] |
|---|---|---|
| 7.5 | 0.340 ±0.02 | 36.3 |
| 6.2 | 0.206 ±0.02 | -82.8 |
| 5.6 | 0.055 ±0.02 | 110.4 |

Table 2. LOD model of 6-year oscillations

| Period [a] | Amplitude [ms] | Phase [deg] |
|---|---|---|
| 7.5 | 0.065 ±0.01 | -171.4 |
| 6.2 | 0.050 ±0.01 | 146.5 |
| 5.6 | 0.026 ±0.01 | -60.8 |

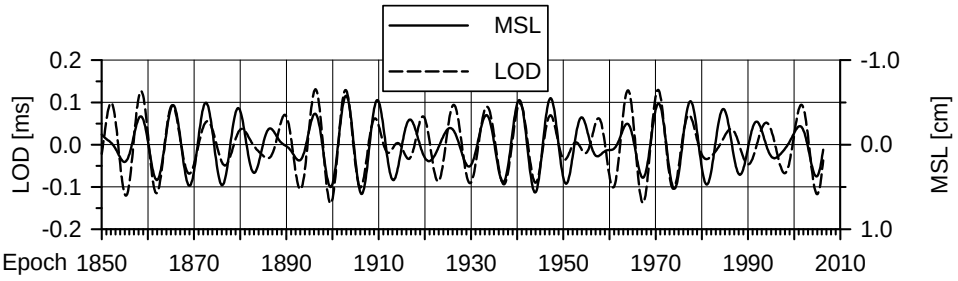



Figure 7. Comparison between the time series of 6-year models of LOD and MSL variations

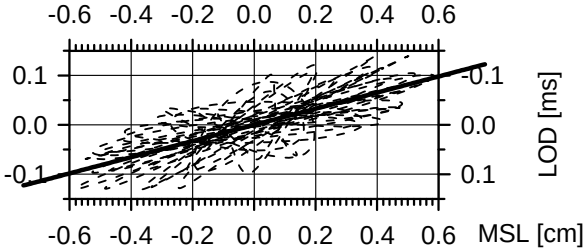



Figure 8. Linear regression between LOD and MSL variations according their 6-year models

The linear regression between LOD and MSL variations according their 6-year models is expressed by the formula

(2) LOD [ms] = –0.1637 * MSL [cm]

The difference between the time series of 6-year models of LOD and MSL variations (Fig.9) is calculated in LOD dimension by means of the linear regression (2). This difference is mostly due to the local variations with the model frequencies of the sea level at Stockholm, whose source are local weather changes, winds and atmosphere pressure. The Fig.10 presents the difference between the

time series of total LOD variations from band 5a-7.5a and 6-year model of MSL. These residual variations are combination of the local MSL variations and the liquid Earth core influence on the 6-year LOD cycles. The proper determination of 6-year core oscillation needs preliminary to determine all local sea level changes.

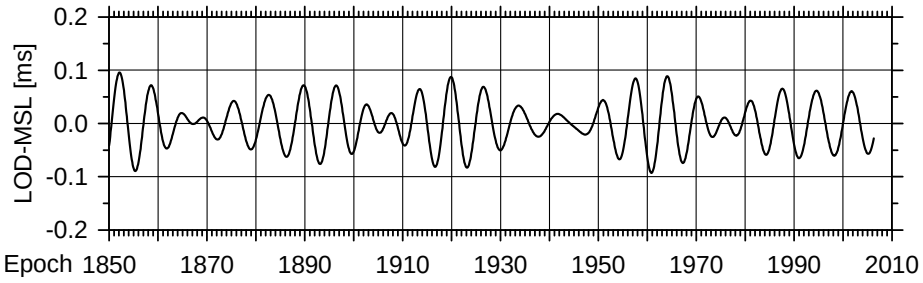



Figure 9. Difference between the time series of 6-year models of LOD and MSL variations, due to the local MSL variations

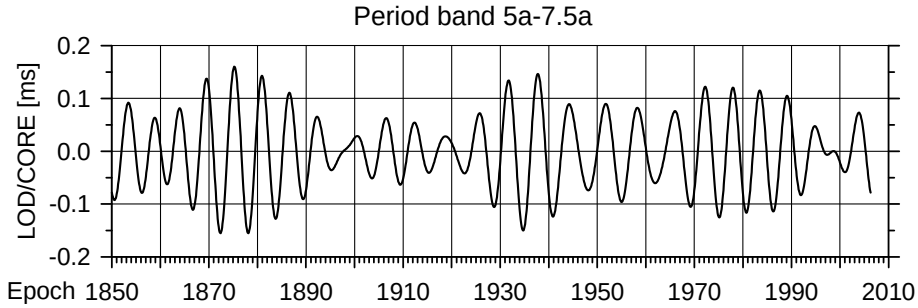



Figure 10. Difference between the time series of total LOD variations from band 5a-7.5a and 6-year model of MSL, due to combined local MSL changes and core effects

**Conclusions**

The model of 6-year Earth oscillations, based on the 3-rd and 4-th harmonics of the Hale cycle with periods 7.5a, 5.6a and 3-rd harmonic of Lunar node with period 6.2a, applied to MSL and LOD variations, yields time series with synchronous 6-year oscillations during beat maxima and phase discrepancy during the beat minima. The phase discrepancy is most probably due to the local variations of sea level.

The proper model of core influence on 6-year cycles of the Earth rotation needs a remove of all local sea level changes due to local weather, winds and atmosphere pressure, because the residual LOD oscillations from the band 5a-7.5a are combination of the local MSL variations and the liquid Earth core influence on the 6-year LOD cycles. The core effects on the 6-year LOD variations are expected to be with maximal amplitude below 0.1ms and decadal modulation. The models of 6-year Earth oscillation may play important role in complex analyses of number geodynamical, climate, weather and seismological events.

**References:**

1. Chapanov, Ya., 2005, A global gravity oscillation determined by superconducting gravimetry measurements and astronomical latitude observations, Kinematics and Physics of Celestial Bodies, Suppl. Ser. No5, ISSN 0884-5913, 347-350.
2. Chapanov Ya., J. Vondrak, V. Gorshkov, C. Ron, 2005, Six-year cycles of the Earth rotation and gravity, on Geodesy, Warsaw University of Technology, No2 (73), ISSN 0867-3179, 2005, 221-230.
3. Gorshkov, V. L., 2010, Study of the Interannual Variations of the Earth's Rotation, Solar System Research, Vol. 44, No. 6, ISSN 0038_0946, 487–497.
4. Mound and Buffett, 2003, Interannual oscillations in length of day: Implications for the structure of the mantle and core, JGR, 108, No. B7, 2334.
5. Stephenson, F. R., Morrison, L. V., 1984, Long-Term Changes in the Rotation of the Earth: 700 BC to AD 1980, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Ser. A, pp. 47--70.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# SOLAR EXCITATION OF DECADAL CLIMATE, MEAN SEA LEVEL AND EARTH ROTATION CYCLES

**Yavor Chapanov**

*National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: yavor.chapanov@gmail.com*

***Keywords:*** *decadal oscillations, solar activity, climate, mean sea level, ice thickness, Earth rotation*

***Abstract:*** *The global hydrologic cycles are widely affected by climatic variations, which are mostly driven by solar-terrestrial influences. The decadal climatic signals are associated with the solar activity cycles with periods of 11, 22, 45 and more years. The solar effects on climate and environment are synchronous oscillations of the water content, mean sea level and polar ice thickness and volume, due to global water redistribution between ocean and continental polar ice. The polar ice thickness increases and the mean sea level decreases during the solar maxima, followed by the decrease of the mean Earth radius and the principle momentum of inertia relative to the rotational axes. Any change of the principle momentum of inertia leads to significant variations of the Earth rotation, due to the conservation of the Earth angular momentum. The synchronous decadal cycles of solar and climate indices, mean sea level and Universal Time UT1 are analysed.*

## Introduction

The long-term variations of many Earth systems are mainly caused by the displacements of matter in different parts of the planet whose excitation mechanism is the influence of the Sun and solar activity cycles. The solar cycles can drive great number of geodynamical processes connected with the convections of the Earth fluids on the surface and inside the Earth. Many of climate and weather parameters are affected directly by the variations of the solar activity. The climate response to the solar activity consists of cycles whose periods are decadal, centennial, millennial and their harmonics. The climate variations are mostly due to the total solar irradiance variations. The TSI variations significantly affect water evaporation and global water cycles. The global water redistribution between the oceans and continental polar ice leads to periodical changes of the principal moment of inertia $C$, followed by earth rotation variations, according to the low of the angular momentum conservation. The solar excitation affects cycles of climate, mean sea level, river flow, ice thickness and Earth rotation. All of these cycles are highly correlated and it is possible to predict or reconstructed some of them by the models, based on the existing observational data. Linear regression models between the long term variations of the mean sea level, the Universal Time or solar indices are created, also a model of global water redistribution between the ocean and continental polar ice during the decadal solar cycles.

## Time series data

The observational data consist of UT1 variations for the period 1623.5-2005.5 (Fig.1 a), the Wolf's numbers $W_n$ combined by annual values for the period 1700-1748 and monthly values since 1748 (Fig.2, a), The numbers of solar spots over the South $S_s$ and North $S_n$ hemisphere, the detrended mean sea level at Stockholm for the period 1800-2002 (Fig.4, a), the Greenland ice thickness accumulation data from the Agassiz Ice Cap (Fig.5), the Palmer Drought Severity Index PDSI for South-East Europe (Fig.7) and streamflows of river Rio Grande near Del Norte in New Mexico (Fig.6, a).

The long-periodical part of UT1 variations (Fig.1, b), determined by parabolic trend remove, are used to extract the decadal cycles of the Earth rotation. The solar magnetic cycles are represented by the extended time series of 22-year Wolf's numbers (Fig.2, b), determined by sign alternation of the even 11-year Schwabe cycles. The index $S_a$ of equatorial solar asymmetry (Fig.3, b) is determined from the numbers of solar spots over the South $S_s$ and North $S_n$ hemisphere by the formula

(1) $$S_a=(S_n-S_s)/(S_n+S_s).$$

The long-term $S_a$ variations (Fig.3, a) are determined by Vondrák -Whitaker (Vondrák , 1969, 1977) filtration. The long-term variations of the mean sea level at Stockholm are determined by 5-year averaging (Fig.4, b). The long-term streamflows variations of river Rio Grande (Fig.6, b) are determined by Vondrák –Whitaker filtration.

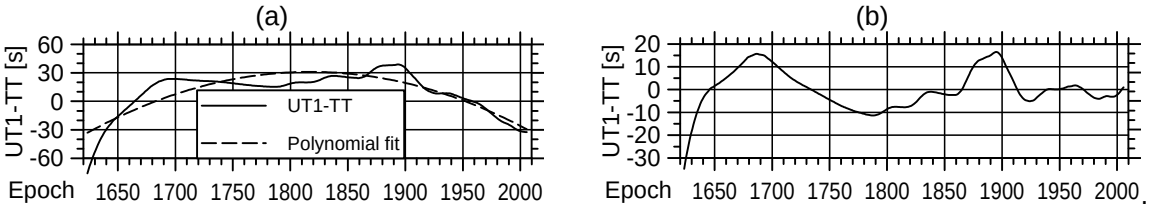



Figure 1. UT1 data for the period 1623.5-2005.5 (a) and periodical part of UT1 variations (b)

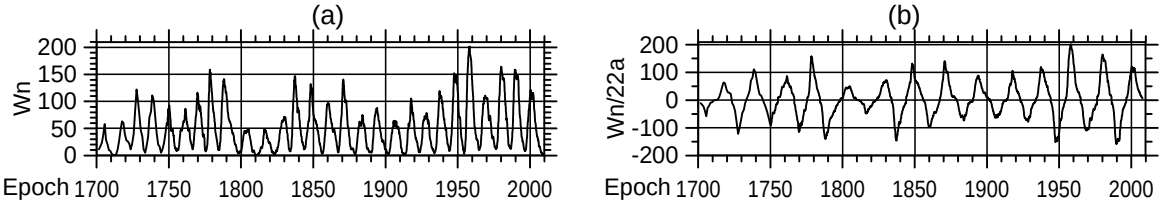



Figure 2. Wolf's numbers $W_n$ represented by annual (1700-1748) and monthly values (a). Extended time series of 22-year cycles of the wolf numbers $W_{n/22a}$ (b)

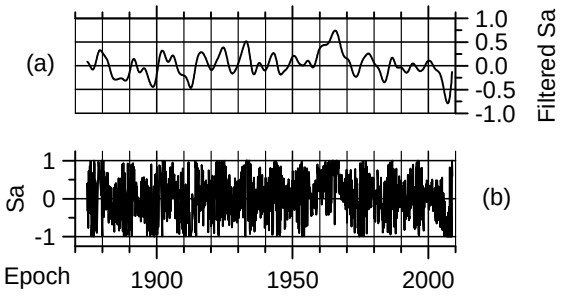



Figure 3. Index $S_a$ of equatorial solar asymmetry (b) and long-term $S_a$ variations (a)

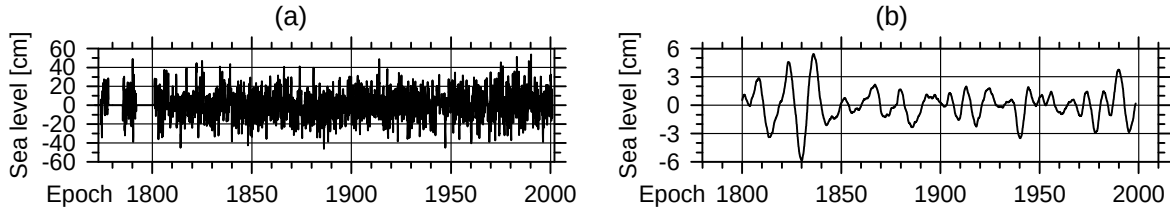



Figure 4. Sea level data from Stockholm mareograph station, after the linear trend remove (a). Long-term variations of the mean sea level at Stockholm for the period 1800-2002, 5-year averaging (b)

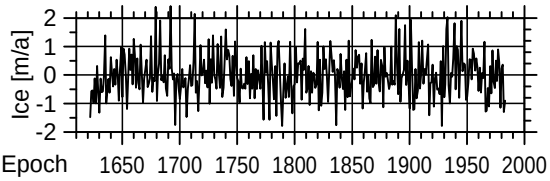



Figure 5. Greenland annual ice thickness accumulation data from the Agassiz Ice Cap

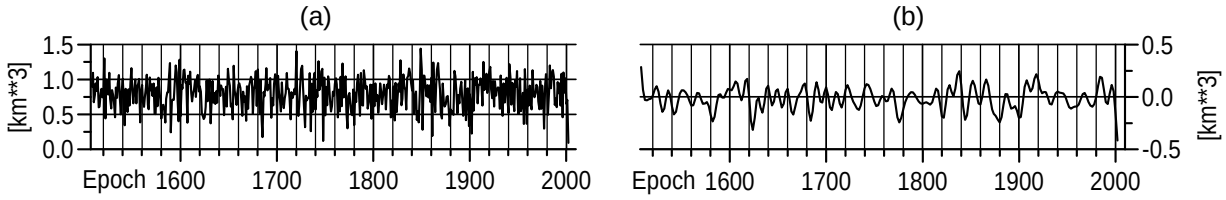



Figure 6. Annual streamflow of river Rio Grande near Del Norte in New Mexico (a) and it long-term variations (b)

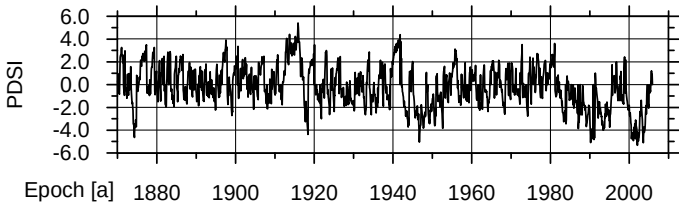



Figure 7. Variations of the PDSI for South-East Europe

The Palmer Drought Severity Index (PDSI) is involved by Palmer (1965) to represent the severity of dry and wet spells over the U.S. based on monthly temperature and precipitation data as well as the soil-water holding capacity at that location. The global PDSI data (Dai et al., 1998; 2004) consist of the monthly surface air temperature (Jones and Moberg 2003) and precipitation (Dai et al., 1998; Chen et al., 2002) over global land areas from 1870 to 2006. These data is represented as PDSI values in global grids 2°.5×2°.5. The time series of the PDSI variations are determined by the mean values from all grid data from the selected area. The PDSI variations over the South-East Europe are determined for area between longitude 10°-30° E and latitude 32°.5-50° N (Fig.7). The mean values are computed by means of the robust Danish method (Kubik, 1982; Juhl, 1984; Kegel, 1987). This method allows to detect and isolate outliers and to obtain accurate and reliable solution for the mean values.

**Decadal solar cycles and Earth rotation**

The decadal cycles of Earth rotation for the period 1623.5-2005.5 are extracted by means of Fourier approximation of the UT1-TT variations with use of 100 harmonics, which includes oscillations with periods above 3.8a and estimation accuracy of the amplitudes about 11ms. The harmonic coefficients are estimated by means of the Least Squares Method. Parts of the peaks of UT1 amplitude spectrum are connected with the cycles of some natural phenomena: 45-year solar equatorial asymmetry, 22-year solar magnetic cycle, 18.6-year tides due to motion of lunar node, 11-year sunspot variations and many signals coming from the liquid core of the Earth. The periodical oscillations of UT1 are separated into different bands (Figs.8-10). The oscillations with periods below 15 years consist of significant noise before 1700, so the decadal UT1 cycles are determined from data after 1700.

The mean value of the sunspot cycles after 1750 is rather close to 11.2a, so the 34-th harmonics of the Fourier approximation of UT1 data is used as initial Earth rotation response to the solar activity (Fig.8). The 11.2-year UT1 oscillations are delayed by 3 years with respect to the Wolf's numbers variations (Fig.8).

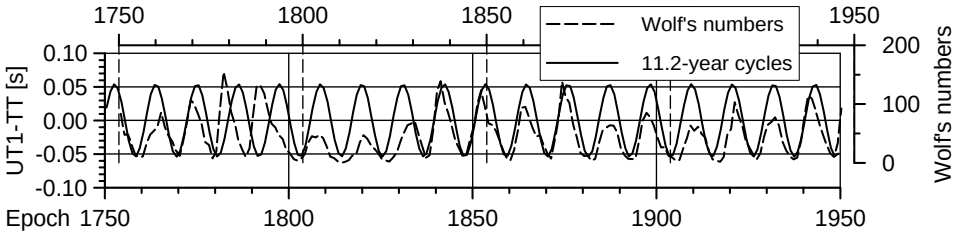



Figure 8. Comparison of 11-year UT1 cycles and Wolf's numbers $W_n$

The 11-year UT1 cycles are positively correlated with the Wolf's numbers, so the time angle (or Earth angular velocity) increases during the solar maxima and decreases during the solar minima. The 22-year and 45-year solar and UT1 cycles are positively correlated, too. The 45-year solar cycles

are determined by 3 harmonics of partial Fourier approximation of the long-term variations of equatorial solar asymmetry with periods from band 34a-51a.

The 22-year UT1 cycles are composed by Fourier harmonics with periods between 21a and 24a and they are significantly correlated with the extended time series of 22-year solar cycles (Fig.9). The 45-year UT1 cycles are determined by Fourier harmonics with periods from band 33a-45a. They have excellent agreement with the 45-year oscillations of equatorial solar asymmetry, whose periods are from the same band (Fig.10). The time delay between 22-year solar cycles and Earth rotation response is 3 years and between 45-year cycles – 8 years.

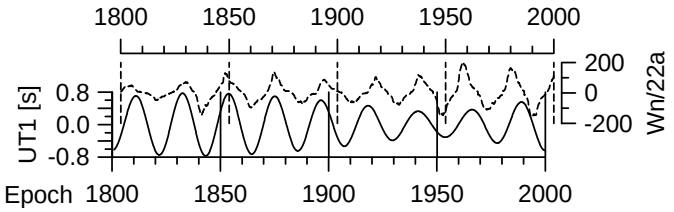



Figure 9. Comparison of 22-year UT1 cycles and Wolf's numbers $W_{n/22a}$..

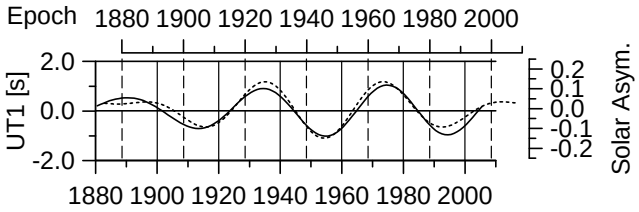



Figure 10. Comparison of 45-year UT1 oscillations (bold line) and solar asymmetry index (dashed line)

**Decadal solar cycles and mean sea level**

The global oscillations of the mean sea level with periods 11a, 22a and 45a are due to the Total Solar Irradiance (TSI) changes during the solar cycles. The TSI is arising during the solar maxima by up to 0.5W/m$^2$ and this leads to additional water evaporation. The evaporated water is redistributed over the ocean, continents and continental polar ice. The arising of the continental polar ice during the solar maxima and TSI increase is the primary reason of the observed MSL oscillations with the solar frequencies.

The 11-year MSL cycles are negatively correlated with the Wolf's numbers (Fig. 11), so the time MSL increases during the solar minima and decreases during the solar maxima. The 22-year and 45-year solar and MSL cycles are negatively correlated (Figs. 12, 13), so the correlation coefficients between the MSL and UT1 decadal oscillations are negative.

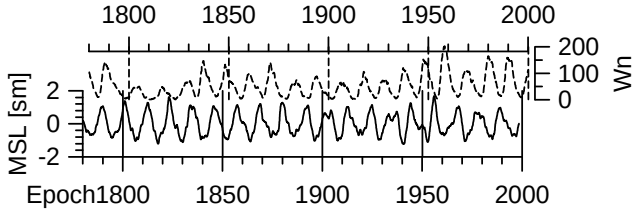



Figure 11. Comparison of 11-year MSL cycles at Stockholm and Wolf's numbers $W_n$

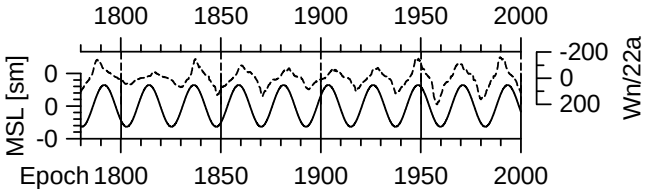



Figure 12. Comparison of 22-year MSL cycles at Stockholm (bold line) and extended Wolf's numbers $W_{n/22a}$ (dashed line)

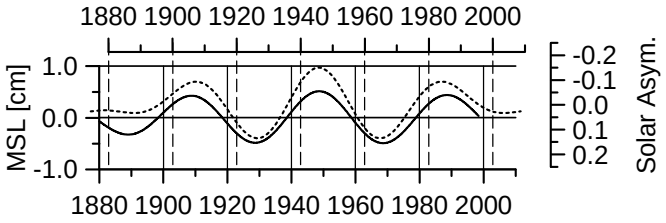



Figure 13. Comparison of 45-year oscillations of MSL (bold line) and the solar asymmetry index (dashed line)

**Decadal solar cycles and polar ice accumulation**

The 11-year and 22-year Ice accumulation rates at Greenland are highly correlated with the solar indices with positive coefficients (Figs. 14, 15). Thus, these cycles of polar ice thickness are positively correlated with the decadal UT1 cycles, as it is visible in Fig.16, where the 45-year cycles of UT1 and ice thickness rate are compared.

The variations of the rate of the polar ice accumulation with periods 11a, 22a and 45a are due to the total solar irradiance changes during the solar cycles and corresponding additional water evaporation. When the evaporated water is redistributed over the continental polar ice it leads to arising of the continental polar ice during the solar maxima, so the TSI variations are the reasons of the observed polar ice thickness oscillations with the decadal solar frequencies.

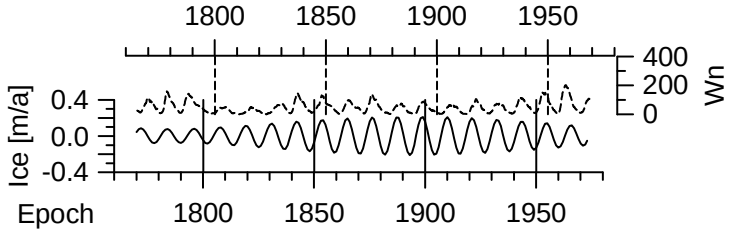



Figure 14. Comparison of 11-year Ice accumulation cycles and Wolf's numbers $W_n$.

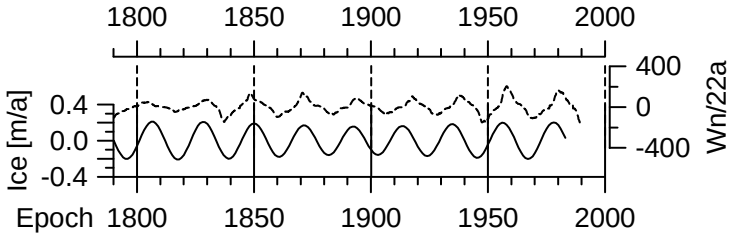



Figure 15. Comparison of 22-year ice accumulation cycles and extended Wolf's numbers $W_{n/22a}$.

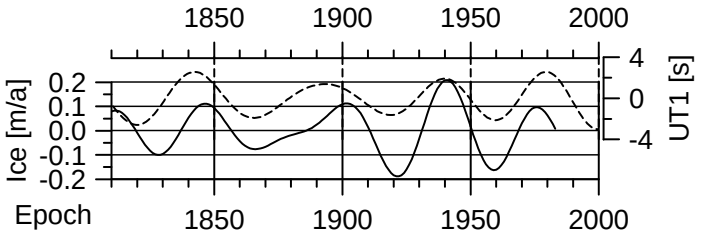



Figure 16. Comparison between 45-year cycles of UT1 and ice thickness rate

**Decadal solar influences on climate and hydrological variations**

The TSI variations affect ground water lost during the solar cycles. This is revealing by the 11-year oscillations of PDSI index (Fig.17), where the PDSI is negatively correlated with the Wolf's numbers, while the 22-year and 45-year solar indices and PDSI are positively correlated (Figs. 18, 19). The Palmer classification of drought conditions is in terms of minus numbers: between 0.49 and -0.49 - near normal conditions; -0.5 to -0.99 - incipient dry spell; -1.0 to -1.99 - mild drought; -2.0 to -2.99 - moderate drought; -3.0 to -3.99 - severe drought; and -4.0 or less - extreme drought. The positive values are similar about the wet conditions. Thus, the maxima of decadal solar cycles cause

water lost from the ocean, similar to the dry condition over the continents during the maxima of 11-year solar cycle. The wet conditions over the continents occur during the maxima of 22-year and 45-year solar cycles, due to additional amount of rainfall.

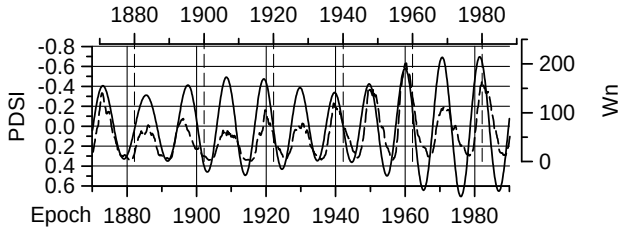



Figure 17. Comparison of 11-year oscillations of the PDSI over South-East Europe (bold line) and monthly mean variations of the Wolf's numbers (dashed line)

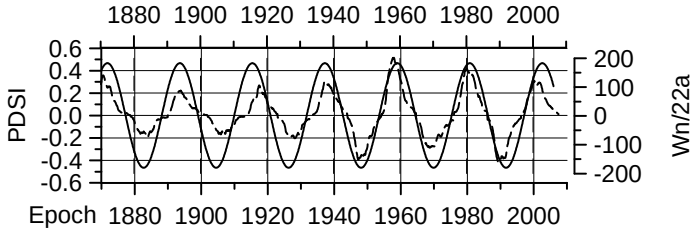



Figure 18. Comparison of 22-year oscillations of the PDSI over South-East Europe (bold line) and the extended time series of the 22-year Wolf's numbers oscillations (dashed line)

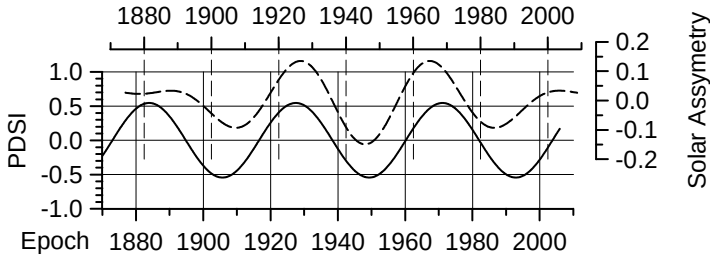



Figure 19. Comparison of 45-year oscillations of the PDSI over South-East Europe (bold line) and the solar asymmetry index (dashed line)

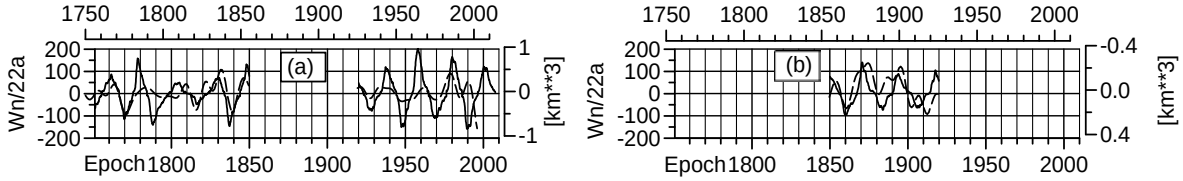



Figure 20. Comparison between 22-year sunspot cycles $W_{n/22a}$ (bold line) and Rio Grande streamflow (dashed line). Positive correlation (a) and negative correlation (phase reverse) - (b)

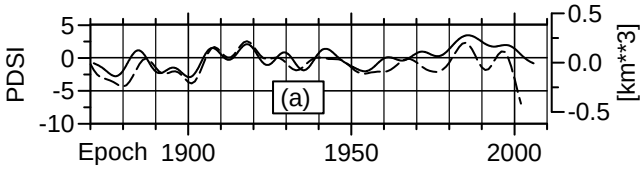



Figure 21. Comparison between PDSI (bold line) and river Rio Grande streamflow (dashed line)

The 22-year cycles of the solar activity have strong influence on climate variations. The extended index of 22-year Wolf's number variations is highly correlated with the long-term oscillations of Rio Grande streamflow (Fig.20). This correlation is positive for the periods 1750-1850 and 1920-2000 (Fig. 20, a) and negative for the time interval 1850-1920 (Fig.20, b), so this points out to sudden

reverse of the phases in 1850 and 1920. The long term variations of river streamflow are highly correlated with the PDSI variations over New Mexico (Fig.21).

**A model of solar excitation of decadal Earth cycles**

The following model explains the observed common decadal cycles of solar activity, climate, mean sea level, continental polar ice thickness accumulation and Earth rotation.

Let consider a homogeneous sphere with radius $R$=6371km, density 5.519g/cm$^3$ (Neff and Zitewitz, 1995), inertial moment $C$, angular velocity $\omega$ and constant mass $M$. From the conservation of angular momentum, any change of inertial moment $\Delta C$ is connected with a corresponding change of angular velocity $\Delta\omega$ by the expression

(2) $$\Delta C\omega + C\Delta\omega = 0$$

The variation $\Delta C$ depends on variation of radius $\Delta R$ by the formula

(3) $$C + \Delta C = \frac{2}{5}M\left(R^2 + 2R\Delta R + \Delta R^2\right),$$

and from (2) and (3), after neglecting the second order term $\Delta R^2$, we obtain

(4) $$2\Delta R\omega + R\Delta\omega = 0\,.$$

The formula (4) expresses the relationship between the variations of the radius and angular velocity of an ideal flexible homogeneous sphere without external moments, hence the necessary change of radius $\Delta R$, which corresponds to observed variation of time angle $\Delta UT$ for time interval $P$ is

(5) $$\Delta R = -\frac{1}{2}R\frac{\Delta UT}{P}.$$

In case of periodical variation of time angle $\Delta UT$ with observed amplitude $A_{UT}$ and period $P$, the necessary amplitude $A_R$ of the periodical oscillations of the radius with opposite phase is

(6) $$A_R = \frac{1}{2}R\frac{A_{UT}}{P},$$

and the amplitude $A_{UT}$ of the Universal Time UT1 oscillations depends on the amplitude $A_R$ of the Earth radius oscillations by the expression

(7) $$A_{UT} = 2P\frac{A_R}{R}.$$

The Earth area with intensive water lost, due to the additional water evaporation during the solar cycles, depends on the level of water change. In the case of significant MSL variations (similar to those during the glacial cycles), only the ocean provides necessary water amount. The case of small MSL variations (similar to the recent MSL changes) includes water evaporation from all Earth surface, more intensive from the free water surfaces and less intensive from the ground. Let consider the second case of small MSL variations with equal water level lost from the ocean and ground. The mean density of sea water at the ocean surface is 1.025g/cm$^3$, or 5.38 times less than the mean Earth density, while the fresh ground water is 5.52 times less. Then the mean density of the redistributed total water before the evaporation is 5.4 less than the mean Earth density.

The necessary change of the Earth axial moment of inertia during a sunspot cycle is provided by mean sea level oscillations with 5.42 times higher mean amplitude $A_{MSL}$ than $A_R$ or

$$A_{MSL} = \frac{1}{2} kR \frac{A_{UT}}{P} = kA_R,$$

$$A_{UT} = 2P \frac{A_{MSL}}{kR}, \quad (8)$$

$$k \approx 5.4,$$

where the coefficient $k$ is transfer coefficient between the homogeneous elastic sphere and the real Earth. The value of the coefficient $k$ plays a key role for proper determination of $A_{MSL}$. It is possible to determine the proper value of $k$ by means of all data of temporal changes of the continental water storage.

Let consider 11-year solar cycle. In this case $A_{UT}$ is 65ms; $P$ = 11a = $3.47\times10^8$s, and we obtain from (6) $A_R$ = 0.6mm and from (8) - $A_{MSL}$=3.24mm. The change of inertial moment of continental polar ice, due to the variations during a single sunspot cycle is approximately 3% of $\Delta C$, which need to increase $A_{MSL}$ by 1.5% to the value of 3.3mm. The necessary energy to evaporate a 6.6mm (doubled amplitude $A_{MSL}$) thin layer of sea water with surface of $1m^2$, salinity 3.5% and mean temperature 16°C is 6.6l×0.989kg×2440kJ/kg=15.9MJ, collected for time interval of 1/2×11a (one half for daylight time only), or $1.73\times10^8$s. The corresponding deviation of the total solar irradiance is $0.1W/m^2$ only, which is 10 times less than the total solar irradiance variations due to the solar activity. The observed 11-year amplitude of MSL oscillations is higher than the necessary value, arising from Earth rotation observations.

**Conclusions**

The decadal variations of the PDSI over South-East Europe are highly-correlated with the 11-, 22- and 45-year cycles of the solar activity. The amplitudes of the PDSI responses to the solar cycles are between 0.4-0.7 and the cumulative effect of the solar activity on the PDSI variations is less than ±2 and this effect have not enough power to present full explanation of the observed severe dry and wet events over the South-East Europe for the period 1870-2006.

The dominant factors of the long term variations of the river streamflows are the local and regional climatic influences represented by the local PDSI variations, calculated for the area over the river basins. The local PDSI variations have strong positive correlation with the long-term river streamflow variations with small deviation for some frequencies and time intervals. Strong correlation exists between the river streamflow variations and 22-year solar cycles. The local PDSI index itself is not enough to create reliable models of streamflow variations. It is necessary to involve all available solar and geomagnetic indices.

The main source of excitation of the 11-, 22- and 45-year variations of Earth rotation are climatic variations due to the solar activity and connected with them oscillations of the mean sea level and continental polar ice. The solar activity cycles affect climate by variations of the total solar irradiance with maximal amplitudes between 0.2–$0.5W/m^2$. These variations provide additional amount of energy (~$10^{17}$MJ for the whole Earth and 130–260MJ per square meter on the equator) during these cycles. This energy is capable to evaporate 50–100 liters of water from 1 square meter equatorial ocean surface and 20–40 liters of water from 1 square meter ocean surface from the north latitudes.The changes of MSL, due to total solar irradiance variations and additional evaporation, followed by global water redistribution and ice thickness variations over the polar caps, lead to corresponding oscillations of the axial Earth moment of inertia, and according to the low of angular momentum conservation – to changes of Earth rotation velocity.

The proposed model of global water redistribution determine the relationships between the observed periodical oscillations at the solar activity frequencies of the Earth rotation, mean sea level and ice thickness accumulation rate over the polar continental ice sheets. It is possible to reconstruct the periodical behavior of the global hydrological cycles by means of available astronomical data, or to reconstruct Earth rotation data by means of available mean sea level changes.

The local and global hydrological cycles are more sensitive to the total solar irradiance variations due to solar activity than the surface temperature and atmosphere parameters changes, because the additional water evaporation during solar maxima produces significant cooling effect. It is important to study the influence of solar cycles on all hydrological events, including soil water content, ice thickness variations and the thickness of the warmed surface ocean water during the solar maxima.

**References:**


1. Chen, M., P. Xie, J.E. Janowiak, and P.A. Arkin, 2002: Global land precipitation: a 50-yr monthly analysis based on gauge observations. J. Hydrometeorol., 3, 249-266.
2. Dai, A., I. Fung, and A. D. Del Genio, 1997: Surface observed global land precipitation variations during 1900-1988. J. Climate, 10, 2943-2962.
3. Dai, A., K. E. Trenberth, and T. Karl, 1998: Global variations in droughts and wet spells: 1900-1995. Geophys. Res. Lett., 25, 3367-3370.
4. Dai, A., K. E. Trenberth, and T. Qian, 2004: A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. J. Hydrometeorology, 5, 1117-1130.
5. Jones, P.D., and A. Moberg, 2003: Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. J. Climate, 16, 206-223.
6. Juhl, J., 1984: The “Danish Method” of weight reduction for gross error detection, XV ISP Congress proc., Comm. III, Rio de Janeiro.
7. Kegel, J., 1987: Zur Lokalizierung grober Datenfehler mit Hilfe robuster Ausgleichungsfervahren, Vermessungstechnik, 35, №10, Berlin.
8. Kubik, K., 1982: An error theory for the Danish method, ISP Symposium, Comm. III, Helsinki.
9. Neff, R. F. & P. W. Zitewitz, 1995: Physics, Principles and Problems. New York: Glencoe, 159 pp.
10. Palmer, W. C, 1965: Meteorological Drought. Res. Paper No.45, U.S. Weather Bureau, Washington, 58 pp.
11. Stephenson, F. R., Morrison, L. V., 1984, Long-Term Changes in the Rotation of the Earth: 700 BC to AD 1980, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Ser. A, pp. 47--70.
12. Vondrák, J .: 1969, Bull. Astron. Inst. Czechosl., 20, 349−355.
13. Vondrák, J . : 1977, Bull. Astron. Inst. Czechosl., 28, 84−89.

# MHD EFFECTS IN DEVELOPMENT OF THE ACCRETION FLOW

**Krasimira Yankova**

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

***Keywords:*** *accretion, advection, MHD model*

***Abstract:****: Accretion is quantitatively and qualitatively more efficient in the presence of a magnetic field, since appeared more quickly and develop more diverse type instabilities.*

*In series of papers we have developed MHD model of non-stationary accretion disc. Studying the structure of the accretion flow in magnetic flux by constructing phenomenological models to interpret the observations, allows to obtain information about the physical processes in the object.*

*Numerical modeling of the disks in the CBS and AGNs for investigation the influence of the magnetic field of accretion process will allow the construction of an adequate addition to the developing model for magnetized advective disk and so we will have a instrument for complete analysis of the development of the system disk – corona.*

# МХД ЕФЕКТИ В РАЗВИТИЕТО НА АКРЕЦИОННИЯТ ПОТОК

**Красимира Янкова**

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

***Ключови думи :*** *акреция , адвекция , МХД модел*

***Резюме:*** *Акрецията е количествено и качествено по- ефективна в присъствието на магнитно поле , появяват се по-бързо и се развиват по-разнообразни типове нестабилност.*

*В поредица от статии ние сме разработили МХД модел на нестационарен акреционен диск. Проучването на структурирането на акреционното течение в магнитен поток , чрез изграждане на феноменологични модели за интерпретация на наблюденията , позволява да се получи информация за физическите процеси в обекта.*

*Числено моделиране на дисковете в CBS и AGNs за изследване на влиянието на магнитното поле на процеса на акреция ще позволи изграждането на адекватно допълнение към разработвания модел за магнетизирания адвективен диск и така ще имаме инструмент за пълен анализ на развитието на системата диск - корона .*

## Introduction

In a series of articles we built a model of non-stationary accretion disk, which evolving in the terms of the magnetic field. In the accretion disk in the process of evolution to create the conditions for the emergence of other major components - corona and jets [6], which are genetically related to him. Each of these mega- structures has its own energetics, which is part of the total, but in some objects can be autonomous for the subsystem. This is important because the equation of balance of energy in research object, whose expression in this case is the heat balance (HB), looks different in both cases.

When modelling the system disk - corona with total energetics, the corona is directly affected by disk's balance and the HB is represented by an equation or a system of two closely related equations, which cannot be seen individually.

When modelling the system disk - corona with individual energetics, this means that HB in the corona is influenced indirectly by the distributions of leading parameters on limit of the disk from disk's balance and then each component has its own heat balance, which can be considered individually.

**Magnetic field effects over flow**

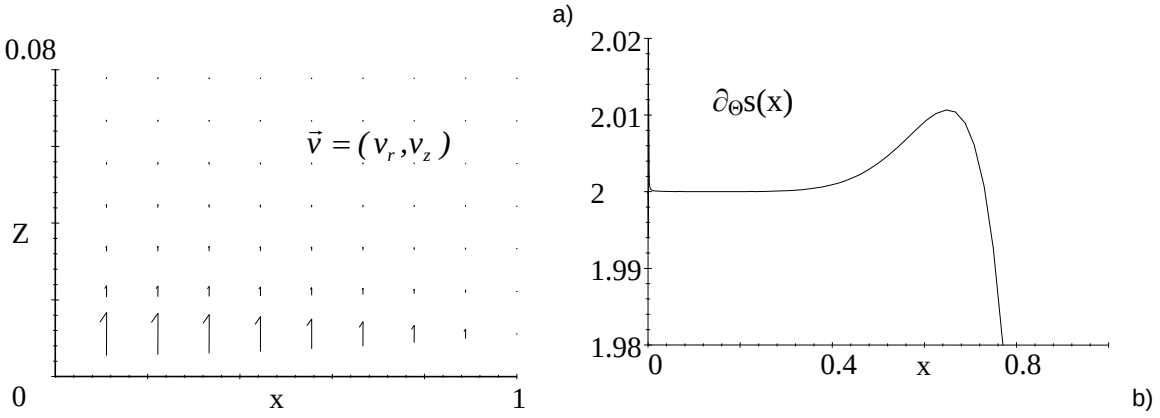
- For rotating stars with magnetic field electrodynamics force plays the role of the flow collimator [9], concentrated the flow in the equatorial plane.
- The case of spherical accretion is realized only if the magnetic star is not rotating.
- Efficiency of the accretion varies from 10% for spherical to 30% for the disc accretion, by mass at rest of the material. The interaction of the disc with the magnetic field increases the efficiency to 50%.
- The interaction of the field with the plasma creates conditions for the occurrence of corona.

**Advective hypothesis – advective term**

- We developed new model for MHD of accretion disk based on our specific advective hypothesis.
- Most authors of advection [1-3, 6, 8] in its proceedings suggest some deformation of the flow - in the form of rotation of the velocity vector or orbital advection [5].
- In contrast to these models we provide advection in the form of full advective term, naturally produced in the equations describing the dynamics of the flow.

(1)
$$\frac{\partial(\rho v_i)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho v_i v_j)=\rho\left(\frac{\partial v_i}{\partial t}+v_j\frac{\partial v_i}{\partial x_j}\right)=\rho\frac{Dv_i}{Dt}$$

- In this type of advective term shows that no individual variation of some components of the velocity, but total shift of middle stream, with speed $v_i$ in some direction.
- In our considerations advection is not the dominant mechanism and therefore has no atypical deformations of the stream. The general interpretation is that the decision as a whole is transferred to smaller radii.
- For the dipole field normal to the disc plane, the term $B_r B_\varphi$ in equation of motion leads to radial advection [4] - that determines the direction of shift of middle stream uniquely.
- Based on feedback of the instabilities with physical characteristics of the stream we introduced modification in major perimeters, which retains the non-linearity of the investigated processes.
- Obtained as a result in the local model, math expression of the direct relationship of the instabilities with energetics disc, gives fullness to development of our concept.
- Based on the results of self-structuring in the hot advective disk [7] and their interpretation (fig.1, 2), we conclude that he developed a magnetic corona.



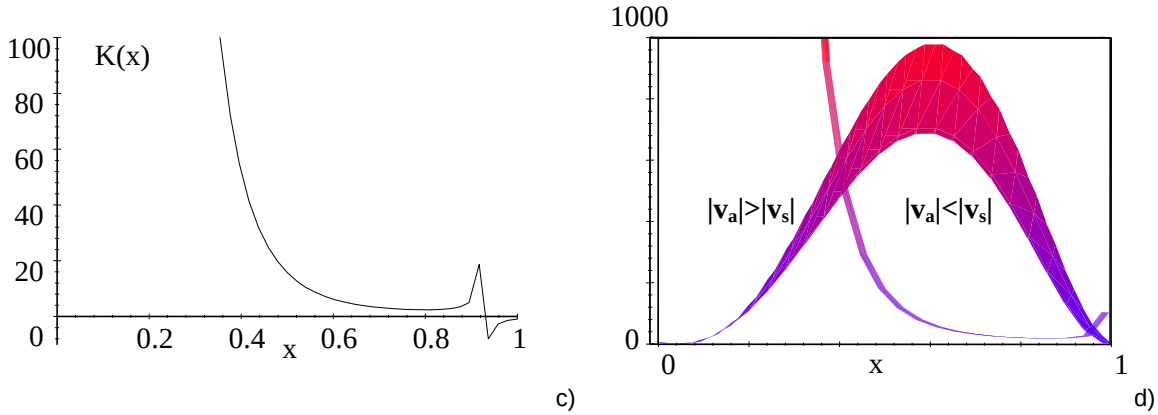



Figure 1: a) The velocity vector field is unidirectional; b) gradient of the entropy in the inner disk's regions is negative; c) the local warming there, surpasses the equilibrium value 1; d) and the condition of stratification is impaired in the same areas.

- The model allows us to: observe the evolution of the disc; investigate the emergence of instability in it; study the generation of its corona.
- The model is complete but open to future numerical modeling.

**Observations**

The presence of corona in observations registers from periodic replacement of hard and soft x-rays in the spectrum of the source.

The source Cyg X-1 is a close binary system, there thermal radiation from the standard disk with a maximum temperature of $10^5$-$10^7$K, but therein are registered $T_e$~ $10^9$K in the inner regions – corona.

Microlenses are suitable for the study of the compact region in the nuclei of galaxies. Passage of the microlens helps detailed investigated of the rotation of the disks and mapping those areas with high effective temperatures and non-thermal radiation. Quasars there are hot virial discs with $T>10^{7\sim9}$K and corona with $T>5.10^{11\sim12}$K.

**Questions**

How the corona was born in the absence of vertical convection?

Is it possible vertical convection can be substituted only by the Parker and Rayleigh-Taylor instabilities or there is something else?

How much Compton scattering in the innermost regions of the disk supports the process of formation of the corona?

**Future**

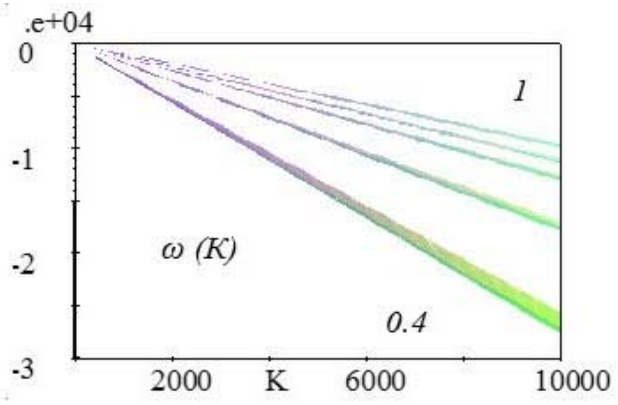
- To answer these questions in the future we can be applied developed model to a large number of sources, divided into groups with similar physical parameters and characteristics.
- Furthermore, the model opens up opportunities for the construction of naturally addition in the vertical direction, model which is suitable for describing the disk corona.
- By suitably selected initial condition of the surface of the disc we can be sewed decision even in the case when with the corona they not sharing energetics.

**Conclusion**

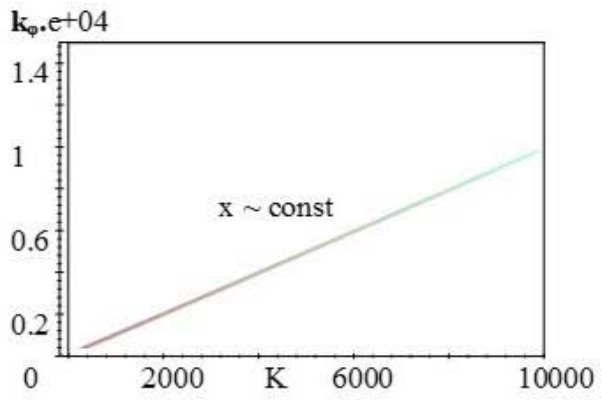
In conclusion we should note that the discussed method has the following important advantage: equations remain nonlinear; but has not yet been fully studied whether it is applicable in the new conditions:

Do we have significant changes in the approach; because restriction $v^2/c^2 \sim 4.10^{-2} << 1$ shall not act Newtonian approximation in the conditions of corona is not applicable.

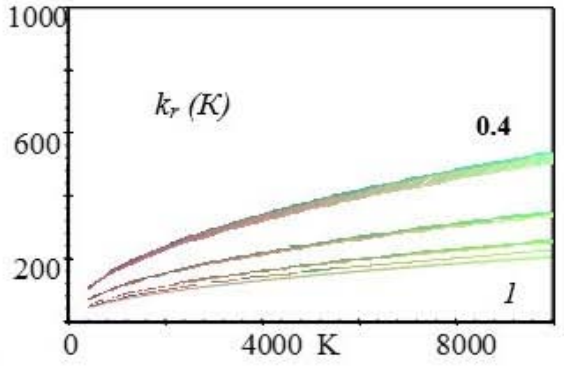
At the same time the density falling sharply and we can no more ignored quantum effects in radiative process.



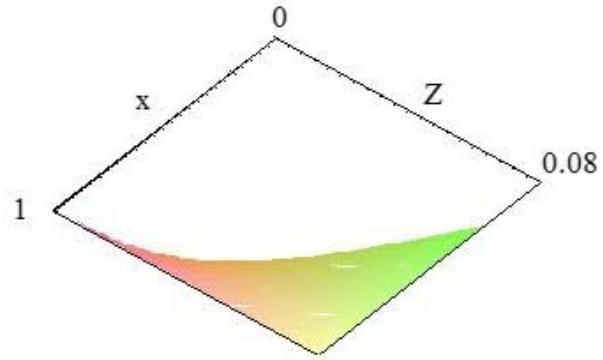

Profiles $\omega(K)$ for $x=1;0.9;\ 0.8;\ 0.6;\ 0.4$.



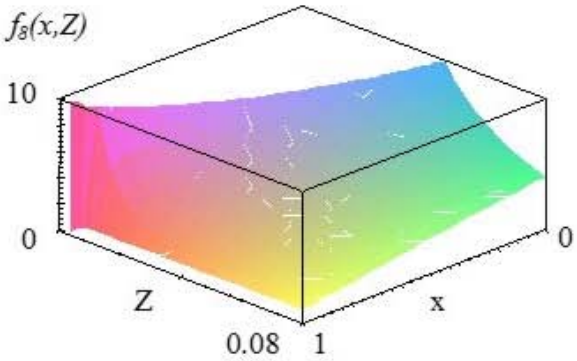

Profiles $k_\varphi(K)$ for x=const.



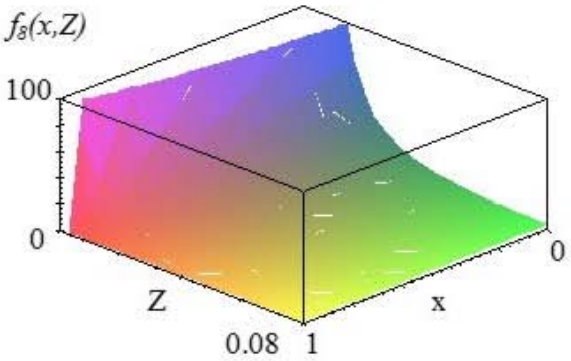

Profiles $k_r(K)$ for x=1;0.9; 0.8; 0.6; 0.4.




Distribution $\boldsymbol{\omega}(x,Z)$ for the moment $t \sim 1P$.




Distribution $k_\varphi(x,Z)$ for the moment t ~ 1P.




Distribution $k_\varphi(x,Z)$ for the moment t ~ 1P.

fig.2

Figure 2: The independent confirmation – profiles of wave numbers shows an increase in the number of MRI, but the distributions of the coefficients shows decreases their presence in the disk.

**Литература:**


1. B i s n o v a t y I – K o g a n, G. S., arXiv: astro-ph/9810112, 1998.
2. B i s n o v a t y I – K o g a n, G. S., arXiv: astro-ph/9911212, 1999.
3. B i s n o v a t y I – K o g a n, G. S., R.V.E. L o v e l a c e, arXiv:astro-ph/0207625v1, 2002.
4. C a m p b e l l C. G., J. C. B. P a p a l o i z o u, V. A g a p i t i u, MNRAS 300, 315-320, 1998.
5. F a b I a n, A. C., D. R. W I l k I n s, J. M. M i l l e r, R. C. R e I s, C. S. R e y n o l d s, E. M. C a c k e t t, M. A. N o w a k , G. G. P o o l e y, K. P o t t s c h m I d t, J. S. S a n d e r s, R. R. R o s s, J. W I l m s: 2012, http://www.astro.umd.edu/~chris/publications/papers/fabian12a.pdf.
6. H a w l e y, J. F., S. A. B a l b u s, AJ 573, 749-777, 2002.
7. I a n k o v a, Kr. D.,"Accretion disk with advection and magnetic field ", Conf. Ser. Black Sea School on Plasma Physics 2007, http://sp.phys.uni-sofia.bg/Kiten06/Pres/Iankova.pdf.
8. I g u m e n s h c h e v, I. V., M. A. A b r a m o v I c h, Astrophysical Journal 130, 463-484, 2000.
9. K a b u r a k i Os, arXiv: astro-ph/9910252, 1999.

# ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА "АНТИГРАВИТАЦИЯ" ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ НА ЗЕМЛЮ С ЛУНЫ

**Кирил Кабадийски, Снежан Божков, Александр Даскалов**

*Институт почвоведения, агротехнологий и защиты растений им.Н.Пушкарова - София*
*E-mail: kikabadiyski@abv.bg, bozhkov@mail.bg*

***Ключевые слова:*** *вращение, потеря веса, антигравитация, ускорение, тороид, углеродное волокно,космическое транспортное средство.*

***Резюме:*** *„Антигравитация" представляет собой отталкивающее воздействие, которое вращающееся тело и массивный гравитационный объект оказывают друг на друга. Является следствием возникшей в результате вращательного движения силы отталкивания, величина которой зависит от параметров материальных тел и условий взаимодействия между ними.*

*В докладе представлены результаты теоретического исследования влияния, которое оказывают условия взаимодействия между телами на антигравитационное ускорение вблизи Луны, на трассе Луна-Земля и в близкой окрестности Земли.*

*На основе принципа "антигравитация" разработаны требования к форме и материалу для создания космического транспортного средства, которое позволило бы экономически выгодное и экологически чистое возвращение космонавтов и грузов на Землю с Луны.*

# APPLICATION OF THE PRINCIPLE "ANTI-GRAVITY" TO TRANSPORT CARGO TO EARTH FROM THE MOON

**Kiril Kabadiyski, Snezhan Bozhkov, Alexander Daskalov**

*Institute of soil science, agrotechnologies and plant protection "Nikola Poushkarov" - Sofia*
*E-mail: kikabadiyski@abv.bg, bozhkov@mail.bg*

***Keywords****: rotation, weight loss, anti-gravity, acceleration, toroid, carbon fiber, spacecraft.*

***Abstract:*** *„Anti-gravity" is a repulsive impact that rotating body and massive gravitational object exert on each other. It's a consequence of the arisen as a result the rotational movement repulsive force, the value of which depends on the parameters of the material bodies and the conditions of interaction between them.*

*The report presents the theoretical study results of the influence of the interaction conditions between the bodies on the anti-gravity acceleration near the Moon, on the track Earth-Moon and near the Earth.*

*On the basis of the principle "anti-gravity" has developed requirements for the form and material to create a spacecraft that would allow cost-effective and environmentally-friendly return of astronauts and cargo to Earth from the Moon.*

## Введение

Термин "антигравитация" был использован авторами в их докладе "Одно решение задачи о потери веса ротирующих тел в гравитационном поле Земли" представлен на конференции SES-2012 [1]. Феномен "антигравитация" был разтолкован как отталкивающий эффект, который вращающееся тело и массивный гравитационный объект оказывают друг на друга. Была подчеркнута причина его появления, а именно возникшая в результате вращательного движения сила отталкивания, величина которой зависит от параметров материальных тел и условий взаимодействия между ними. Доклад заканчивается предложениями для применения потенциалов антигравитации, как основной принцип ньютоновской механики, в практических целях. Два из этих предложений могут быть реализованы, используя достижения современной науки и техники, а именно:

- количественная оценка всех случаев, в которых замечена потеря веса при вращении материальных объектов в условиях действия гравитационного поля (для этой цели достаточно знать параметры вращающихся материальных объектов, у которых измерена потеря веса);
- разработка космического транспортного средства для передвижения по поверхности Луны, где гравитация намного меньше, чем на Земле, нет никакой атмосферы, чтобы препятствовать движению (в том числе вращающему), и доступ к солнечной энергии, которую можно использовать для разгона космического транспортного средства до требуемой окружной скорости, неограничен.

**Условия и особенности взаимодействия космического транспортного средства, разработанного на принципе "антигравитация", с источниками измеримой гравитации вдоль трассы "Луна - Земля"**

Характерной особенностью движения космического транспортного средства на трассе "Луна-Земля" (рис. 1) является то, что оно находится под действием гравитационных полей, создаваемых двумя массивными космическими телами.

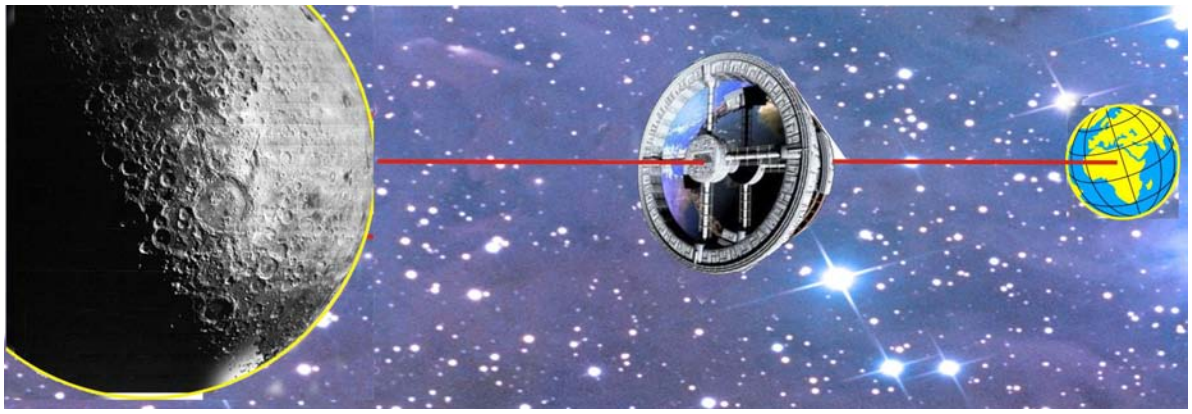


Рис.1 Космическое транспортное средство при движении вдоль трассы "Луна-Земля"

Сила взаимодействия между тремя космическими объектами будет формироваться силами притяжения, созданными гравитационными полями Земли и Луны, и силами отталкивания, возникшими в результате вращательного движения, которое совершает транспортное средство. Ее размер определяется по формуле, выведенной на основе "Закона всемирного тяготения или отталкивания двух материальных систем" [1] , который дополняет закон Ньютона всемирного тяготения, учитывая влияния «вращательного движения" космического транспортного средства:

(1) $$P = -f.(m_w + m_c)\frac{M_{luna}}{R^2} + f.(m_w + m_c)\frac{M_{terra}}{(L-R)^2} + \frac{m_w . V^2}{R} - \frac{m_w . V^2}{(L-R)}$$

где:

P - сила взаимодействия между космическими объектами;
f - универсальная гравитационная постоянная;
$m_w$ - масса вращающейся части космического транспортного средства;
$m_c$ - масса груза;
$M_{terra}$ - масса Земли;
$M_{luna}$ - масса Луны;
V - окружная скорость вращающейся части космического транспортного средства;
R - расстояние от Луны;
L - среднее расстояние "Земля - Луна".
В теоретическом исследовании приняты следующие начальные условия:
- точка отсчета расстояний находится в центре Луны;
- в качестве "положительного" выбрано направление от Луны к Земле;
- ось вращения космического транспортного средства совпадает с осью "Луна - Земля";
- на борту космического транспортного средства нет полезного груза, т.е. $m_c = 0$;

- масса вращающейся части транспортного средства равна единице ($m_w = 1$).

**Форма и материал для изготовления космического транспортного средства**

Известно, что при одинаковой массе тела с тороидальной формой имеют самый высокий момент инерции по сравнению с телами других форм, используемых при создании транспортных средств (цилиндрические, сферические и т.д.). Учитывая значение, которое имеет момент инерции в формировании антигравитационной силы, в этом исследовании принято, что космическое транспортное средство имеет форму тороида.

Из имеющихся данных о прочности материалов, используемых для изготовления различных видов конструкций можно увидеть, что в настоящее время есть материалы (например, углеродные нанотрубки), которые обеспечивают прочность в диапазоне от 11 до 63 GPa и плотность 1,34 g/cm$^3$ [2]. Для цели настоящего теоретического исследования выбран хорошо известный и используемый материал - углеродное волокно с прочностью 3,7 GPa [3]. Допустимая окружная скорость сделанного из этого материала тела с тороидальной формой, рассчитывается при помощи формулы, которую не трудно вывести:

$$\frac{V_{\text{lim}}^2}{2} = \frac{\sigma}{\rho} \quad , \tag{2}$$

где:

$V_{lim}$ допустимая окружная скорость вращения Тороида, m/s;

σ - удельная прочность материала, из которого выполнен Тороид, Pa;

ρ - плотность материала, из которого изготовлен Тороид, kg/m$^3$.

Подставляя в формулу (2) данные для выбранного нами материала, вычисляем допустимую окружную скорость вращения космического транспортного средства с тороидальной формой $V_{lim}$ = 2350 m/s. Полученное значение больше, чем I-я космическая скорость на поверхности Луны, которая есть V = 1678 m/s. Это позволяет нам утверждать, что при использовании современных передовых технологий и материалов вполне возможо обеспечить достаточное по величине ускорение для вылета космических транспортных средств с Луны.

**Исследование движения космического транспортного средства, разработанного на принципе «антигравитация», по трассе „Луна - Земя“**

Используя принятые начальные условия, изучение взаимодействия упомянутых объектов (космическое транспортное средство и массивные космические тела - Луна и Земля) можно сделать на основе ускорений, испытываемых транспортным средством при его движения вдоль трассы "Луна - Земля". Рассматривались два варианта движения космического транспортного средства: без и с наличием вращательного движения или другими словами без и с использованием потенциалов антигравитации.

На рис. 2 представлен график ускорений космического транспортного средства на трассе "Луна - Земля", без приложения принципа "антигравитация", т.е. в соответствии с законом Ньютона всемирного тяготения и развитым в начале XX века К.Э.Циолковским методом для реализации полетов в космос при помощи ракет.




Рис. 2. Ускорения невращающегося транспортного средства в зависимости от его расположения на трассе "Луна-Земля"

График и сопровождающие его расчеты показывают, что в близкой окрестности Луны действующая лунная гравитация будет притягивать транспортное средство к массивному космическому телу. На расстоянии около 40 000 km от Луны ускорение равно нулю или очень близко к "0" . Дальше начнет доминировать гравитационная сила Земли и транспортное средство начнет ускоряться. На дистанции около 365 000 km от Луны, что значит меньше чем 20 000 km от Земли, это ускорение превысит 1 $m/s^2$, после чего продолжит расти экспоненциально, пока не достигнет известного всем g = 9,81 $m/s^2$ на поверхности Земли.

На рис. 3 представлен график ускорений, которые испытывало бы транспортное средство, разработанное на принципе "антигравитация", в близкой окрестности Луны.

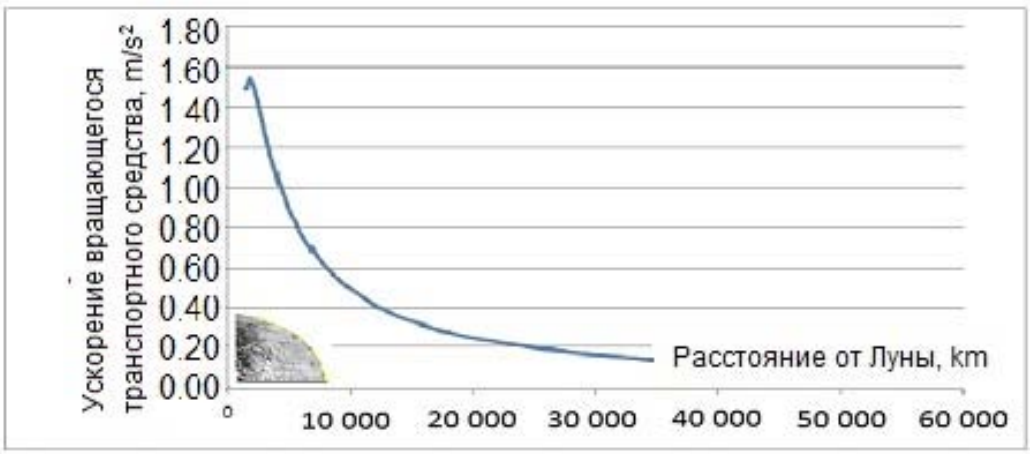



Рис. 3. Ускорения космического транспортного средства, разработанного на принципе "антигравитация", в близкой окрестности Луны

Из данных, при помощи которых построен график на фиг. 3, видно, что в результате своего вращательного движения на дистанции около 1750 km от центра Луны (то есть почти на лунной поверхности) транспортное средство может получить ускорение около 1,54 $m/s^2$. Поэтому, чтобы не вылетело с Луны во время разгона, оно должно быть привязано к лунной поверхности. После освобождения транспортное средство будет разгоняться до указанного значения, а потом ускорение начнет снижаться. На расстоянии около 10 000 km от центра Луны, его значение будет приблизительно 0,5 $m/s^2$. Экспоненциальное уменьшение ускорения космического транспортного средства будет идти к минимуму (в нашем случае 0,00215 $m/s^2$), после которого доминирование гравитации Земли начнет увеличиваться и ускорение начнет расти.

Для сравнительного анализа силового взаимодействия между двумя массивными космическими телами (Земля и Луна) и движущимся между ними транспортным средством в обоих случаях (без и с учетом потенциалов антигравитации) построен рис. 4.

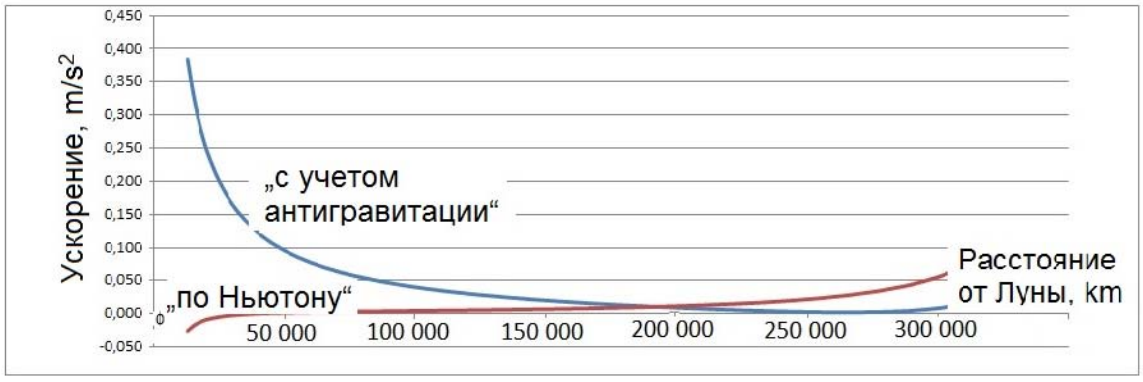



Рис. 4. Изменение ускорений космического транспортного средства при его движении вдоль трассы „Луна - Земля" с и без применения „антигравитации“

Характер изменения ускорений космического транспортного средства, в зависимости от его расположения на трассе "Луна - Земля" показывает, что применение принципа „антигравитация“ предоставляет ряд преимуществ по сравнению с "ракетным" методом К.Э.Циолковского. Вот некоторые из них:

- запуск с Луны становится возможен, так как транспортному средству можно обеспечить стартовое ускорение, которое превышает гравитационное ускорение на поверхности Луны;
- управление транспортного средства во время полета будет осуществляться с минимальными затратами, поскольку будет реализовываться в основном за счет наклона оси вращения по отношению к направлению движения;
- посадка космического транспортного средства будет значительно мягче, так как при приближении к Земле поступательное движение транспортного средства будет замедляться антигравитационной силой, генерируемой его собственным вращением.

Идея для практической реализации космического транспортного средства, которое может быть использовано для перевозки грузов между Луной и Землей, показана на рисунке 5.



Рис. 5. Космическое транспортное средство, разработанное на принципе „антигравитация“, в близкой окрестности Луны

**Выводы и рекомендации**

1. При нынешнем состоянии науки и техники есть возможность на принципе „антигравитация“:
   - добиться состояния невесомости, что позволит легкое передвижение технических средств по лунной поверхности;
   - обеспечить вращающемуся транспортному средству окружную скорость, превышающую 1678 m/s, что позволит транспортировку грузов с Луны на Землю.
2. Рекомендуется создать технические средства, которые позволили бы использовать солнечную энергию на поверхности Луны для разгона космического транспортного средства.

**Литература:**


1. K a b a d i y s k i, K., S n. B o z h k o v, D. M i t e v, One solution of the task of lighten the rotating balanced material objects in Earth's gravitational field, Proceedings of International Conference SES-2012, Sofia, 2012, pg. 82-88.
2. Dowload via:http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanotube#Strength.
3. Download via: http://www.netcomposites.com/education.asp?sequence=35.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# DISTRIBUTIONS OF THE SOLAR SYSTEM BODIES BY MASSES, DENSITIES AND ORBITS

**Tsvetan Georgiev**

*New Bulgarian University 1618 Sofia,*
*Institute of Astronomy and NAO, 1784 Sofia*

***Key words:*** *Solar system - planets, satellites, asteroids, dwarf planets*

***Abstract:*** *Data about heavy 72 bodies in the Solar System are used for building mass-diameter and mass-density log-log plots as well as a separate mass-density diagram using 28 massive solid bodies. The first diagram shows well-defined parabolic dependence within the dataset with a standard mean square deviation of 16%. It includes a range of 12 magnitudes by mass and 4 magnitudes by diameter, including the Sun and bodies with diameters of above 100 km. The second diagram shows a wide parabolic main sequence built on giant planet cores, planets, dwarf planets and planet satellites. On this diagram the majority of the asteroids have a high density. The third diagram presents detailed distribution of planets, dwarf planets and massive planet satellites, 28 objects in total. The mass-density diagrams reveal a few groups of bodies. For example, the satellites Jo, Europa and Moon show relatively high density and the satellites Ganymede, Calisto and Titan show relatively low density. For the purposes of completeness the rule of Titius-Bode-Dermott is shown at the end. It is presented in its contemporary notation as a linear dependence of the logarithm of the orbital period on the number of the objects with a standard mean square deviation of 23-25%. 13 objects including the Sun, the planets and the dwarf planets Ceres, Pluto, Eris and Sedna are used.*

# РАЗПРЕДЕЛЕНИЯ НА ТЕЛАТА ОТ СЛЪНЧЕВАТА СИСТЕМА ПО МАСИ, ПЛЪТНОСТИ И ОРБИТИ

**Цветан Георгиев**

***Резюме:*** *Данни за 72 тела от Слънчевата система са използвани за построяване на диаграми маса-диаметър и маса плътност в логаритмични координати, както и на детайлна диаграма маса-плътност за 28 масивни обекти.*

*Първата диаграма показва добре очертана параболична зависимост със средно-квадратично отклонение 16%. Тя обхваща 12 порядъка по маса и 4 порядъка по диаметър – от Слънцето до планетни спътници и астероиди с диаметър около 100 км.*

*Втората диаграма показва широка параболична „главна последователност“ от ядра на планети-гиганти, планети, планети-джуджета и планетни спътници.*

*Третата диаграма представя детайлно разпределение на масивните тела, общо 28 обекта.*

*Диаграмите маса – плътност (втората и третата диаграми), изявяват няколко групи тела. Първите две са очевидно 4 гигантски планети и 3 големи планети (от земната група, с много висока средна плътност, без Марс). Обектите Йо, Луна и Европа, заедно с Марс, показват относително висока плътност и могат да бъдат наречени тежки малки планети. Спътниците Ганимед, Калисто, Титан и Тритон, заедно с Плутон, и показват относително ниска плътност и могат да бъдат наречени леки малки планети. Множество други обекти (Седна, Оркус, Макемаке, Япет, Тетис, Варуна и др.) следва да бъдат наречени планети -джуджета. Чак след това идват наистина малки твърди тела от Слънчевата система.*

*В последните две диаграми, за пълнота, е илюстрирано и правилото на Тициус-Боде-Дърмот в съвременна форма, като линейна зависимост на логаритъма на орбиталния период от номера на обекта, със средно-квадратично отклонение 23-25 %. Включени са 13 обекта, сред които Слънцето, планетите и планетите-джуджета Церера, Плутон, Ерис и Седна,*

## Introduction

The development of the astronomical science and the space research and technologies have lead to the specification of the primary physical parameters of a number of small bodies of the Solar system that are classified as planetary satellites, dwarf planets or asteroids. Together with these results one can see the big variety in objects with respect to their mean densities, and also the necessity to have

an up-to-date comparison of the basic astronomical parameters of these bodies. The results from this comparison presented below provide a generalized picture about the bodies in the Solar system and lead to their division into groups according to their mean density. With this respect important are not only the Sun, the planets giants and the planets from the group of the Earth, but also some heavy small planets, light small planets, planets dwarfs and other small bodies. A contemporary diagram of the rule of Titius-Bode-Dermott is included in half-log coordinates, including even the dwarf Sedna.

In this paper data from 72 objects within the Solar system has been used, including the Sun, 8 planets, 33 planet satellites, 18 asteroids from the main belt, 8 dwarf planets and 4 cores from the giant planets, taken also as separate bodies. The data that has been used comes from literature that is available to the general public as well as from specialized websites that are listed in the sources section of the paper. Some data about small bodies has not high accuracy, but this is not important foe the conclusions.

**Diagram mass-diameter in a log-log coordinate system**

With stars and galaxies the mass-luminosity and mass-size dependencies are fundamental. Bodies from the Solar system do not illuminate and therefore, their masses and their diameters should be explored at first hand. This is illustrated by Fig. 1 in log coordinate diagram. A few facts come along as follows.

(1) The bodies from the Sun till satellites of planets with a diameter over 100 km lie within the common parabolic dependence with a standard square mean deviation of 16%. With mass and diameter there are 12 and 4 magnitudes respectively. The well-defined link within the log-log plot that could be also represented with two straight lines actually corresponds to a fractal made of two components.

(2) The Sun and the giant planets lie on a line with a slope of approx. 0.33 and standard deviation of 13%. This slope of the straight line is the same, $\Delta \log D / \Delta \log M = 1/3$, which corresponds to the link between the diameter and the mass of a homogeneous massive globe in log-log coordinates. he respective line is drown via the punctual representation through the point of the Earth. It is to be seen below the common parabolic dependency. The fractal size of the straight line characterizing the giant planets and the Sun is f=3 x 0.33 = 1.0. This value corresponds to the pure geometric dependency and can serve as evidence that the Sun and the giant planets are similar in the radial distribution of the density in their cores.

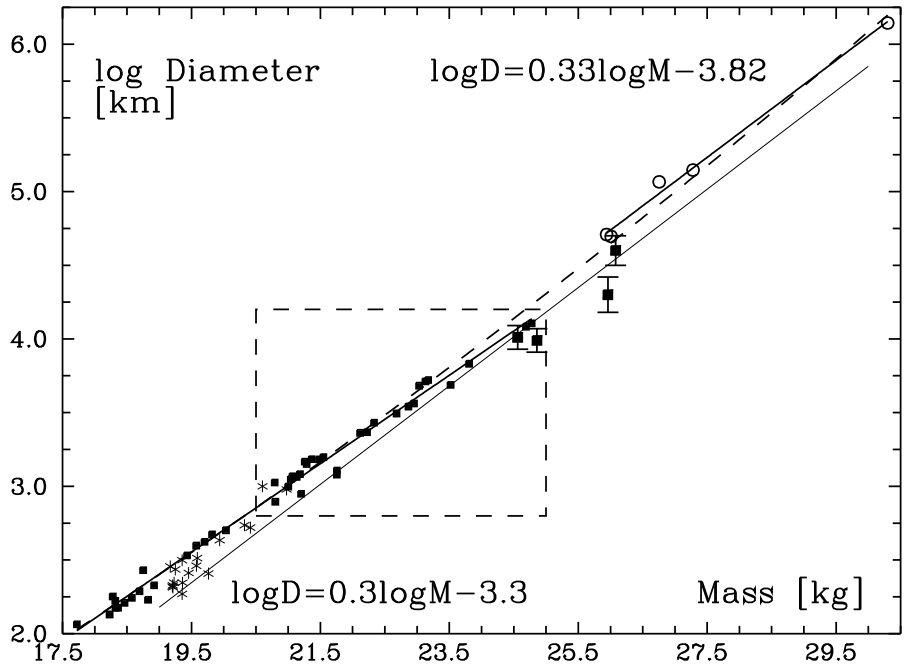



Fig. 1. Mass-diameter diagram in a log-log scale. Circles: the Sun and the four giant planets. Dots: 4 planets, 8 small planets and 33 satellites. Stars: 18 asteroids. Squares: cores of 4 giant planets. Dashed line: regression parabola without the asteroids and the cores of the giant planets. Segments: regression lines for the giant planets and the Sun (right top corner) and for the other objects, excluding the asteroids and the cores of the giant planets (left bottom corner). Straight line represents the diameter growth of a homogeneous massive globe depending on the mass, drawn via the point, representing the Earth. The rectangular includes the objects that are taken into detailed account in Fig. 3.

(3) The solid bodies - planets, dwarf planets and planet moons, excluding the asteroids, lie along a different straight line with a slope of 0.3 and standard deviation of 15%. The lower steepness of the slope (< 1/3) shows that the density increases within the group of the bodies that have higher masses, e. g. that they have heavier cores. The respective fractal value is f = 3 x 0.3 = 0.9 <> 1.0. Numerous asteroids as well as the cores of the giant planets don't follow this trend. They diverge and have lower values, which can be explained by their higher mean density. However, the data about these objects is quite inaccurate.

**Mass-mean density diagram in a log-log scale**

The mass-mean density diagram can be considered as analogous to the luminosity-color diagram of the stars. Fig. 2 depicts this diagram for 71 objects (excluding the Sun) and allows some conclusions to be made,.

(4) Mean densities of the solid bodies in the Solar system take over a range of one magnitude, and together with the cores of the giant planets - over a range of three magnitudes. Additionally, apart from the giant planets and the asteroids they form something like a parabolic main sequence that converges in the area of the small bodies with the density of the ice. The standard of the parabola, shown in Fig.2, accounting the planets, the dwarf planets, the satellites and the cores of Uranus and Neptune (without the cores of Jupiter and Saturn and the asteroids) is 44%.

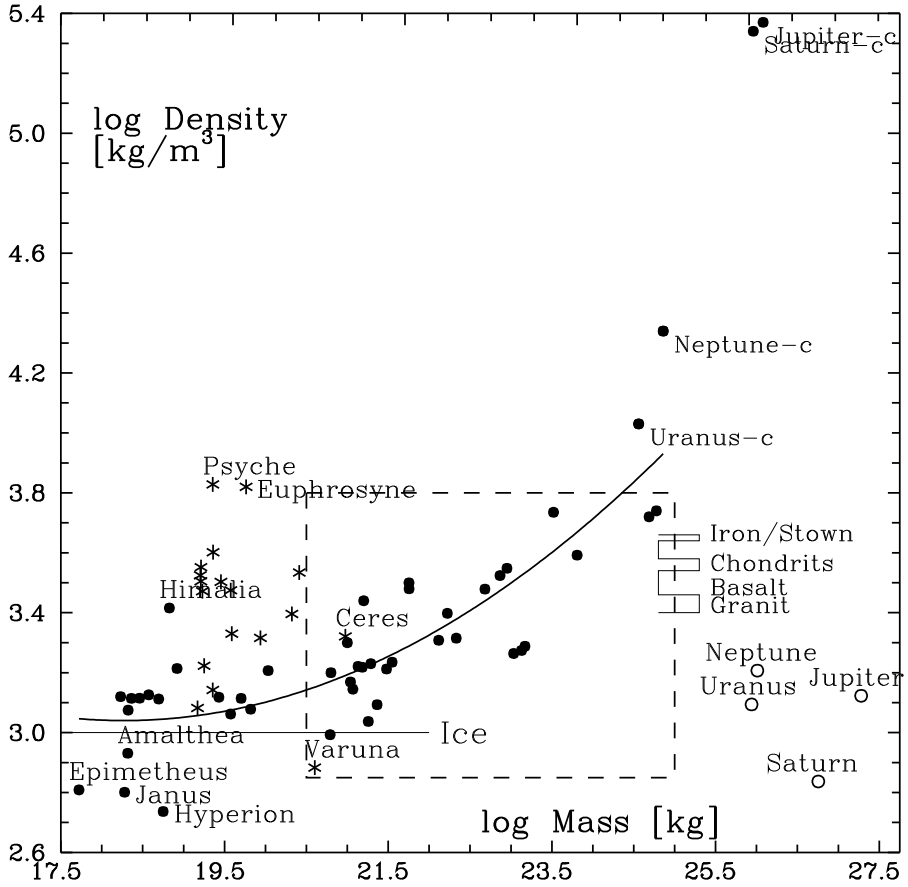



Fig. 2. Mass-mean density diagram in log-log coordinates. Circles: planets-giants. Dots: planets, dwarf planets, satellites and cores of giant planets. Curved line: regression parabola for objects represented by dots, without the cores of Jupiter and Saturn. Stars: asteroids. Horizontal segments represent the densities of ice, granite, basalt, chondrites and iron-stone meteorite. The objects in the rectangle are shown on Fig. 3.

(5) Numerous asteroids in the main sequence have considerably higher mean densities compared to the planets' satellites that are similar to them in mass. Such mean densities are characteristic for the meteorites chondrides and the satellites Jo, the Moon and Europe. However, these 3 satellites are

about 100 times more massive than the asteroids that have been considered in this paper.

(6) At least two asteroids (Psiche, Euphrosyne) have a much higher mean density, 6-7 g/cm, near to the density of iron. This is evidence that they contain more heavy metals. Among the not so big planets' satellites there is a satellite that stands out with its high density. It is the Jupiter's satellite Himalia.

The relatively high densities of some asteroids can be explained if they are to be considered as being a part of the core of a planet that broke into pieces due to a collision. It is known as Phaeton, located after the formation of the Solar system between the orbits of Mars and Jupiter.

(7) At least three not so big planets' satellites (Hyperion, Janus, Epimethius) have extremely low mean densities, lower than that of ice. It looks like these objects are kind of "dirty snow balls", similar to a comet's core.

**Masses and densities of the big solid bodies**

More attention needs to be paid to the more massive and the bigger bodies. These are the objects that are within the rectangles on Fig.1 and Fig.2. and they are shown in detail on Fig. 3. The objects on Fig. 3, 28 in number, are located in 4 magnitudes by mass and 1 magnitude by density. The most massive 10 of them are located in the upper half of the diagram along the diagonal, like part of the main sequence on Fig. 2.

A characteristic of the solar planetary system is the availability of two main groups of massive planets: 4 planets near to the Sun, the Earth group, with high density and 4 planets located away from the Sun, giant planets, with low mean density. It is widely considered that during the process of formation of the Solar system in the parts that are near to the Sun from the proto-planetary cloud the heavy elements have settled down. As a result, the planets within the Earth group have higher mean densities, higher than the densities of the chondrites. The two groups of planets are different also because of other astronomical parameters.

However, other groups of solid bodies may be elucidated. Figure 3 shows at least five other particularities in the density distribution of the solid bodies .

(8) Actually the mean densities of the Earth, Mercury and Venus are very high and higher than the densities of the iron-stone meteorites. However, Mars has a much lower mean density and it is much more natural that it be considered as part of the relatively smaller objects that have similar mean densities - Jo, the Moon and Europe.

(9) The massive objects that have relatively high mean density - Mars, Jo, the Moon, Europe, Eris – form approximately main sequence along the diagonal of the diagram on Fig. 3. Three trans-neptune dwarf planets can be taken into this group (Haumea, Quauar, 2007-OR10), situated to the left. This way there is a group of bodies with a mean density characteristic of granites, basalt and chondrites. These ones that are different from the others due to their relatively high mean density can be called, such as, ”heavy small planets”.

(10) The massive objects with low mean density - Ganymede, Titan and Calisto - do not follow the main sequence. They are placed in the middle bottom part of the diagram on Fig. 3. Also Triton and Pluto can be considered part of this group. This way a group of massive objects with mean density of about two times lower than the mean density of Jo, the Moon and Europe and considerably lower than the density of the rock on Earth. These objects should contain certain fractions of Hydrogen, Helium, and can be called for instance “light small planets”.

The well-expressed stratification of the big satellites of the planets according to their density can be explained with the difference in the composition of the proto-planetary medium. The objects Jo and Europe are near satellites to Jupiter that seem to have come to existence due to a much richer in heavy metals medium just like the planets that are near to the Sun. Ganymede, Calisto, Titan and Triton are far away satellites of their planets, formed like it looks from medium that is poorer on rich metals.

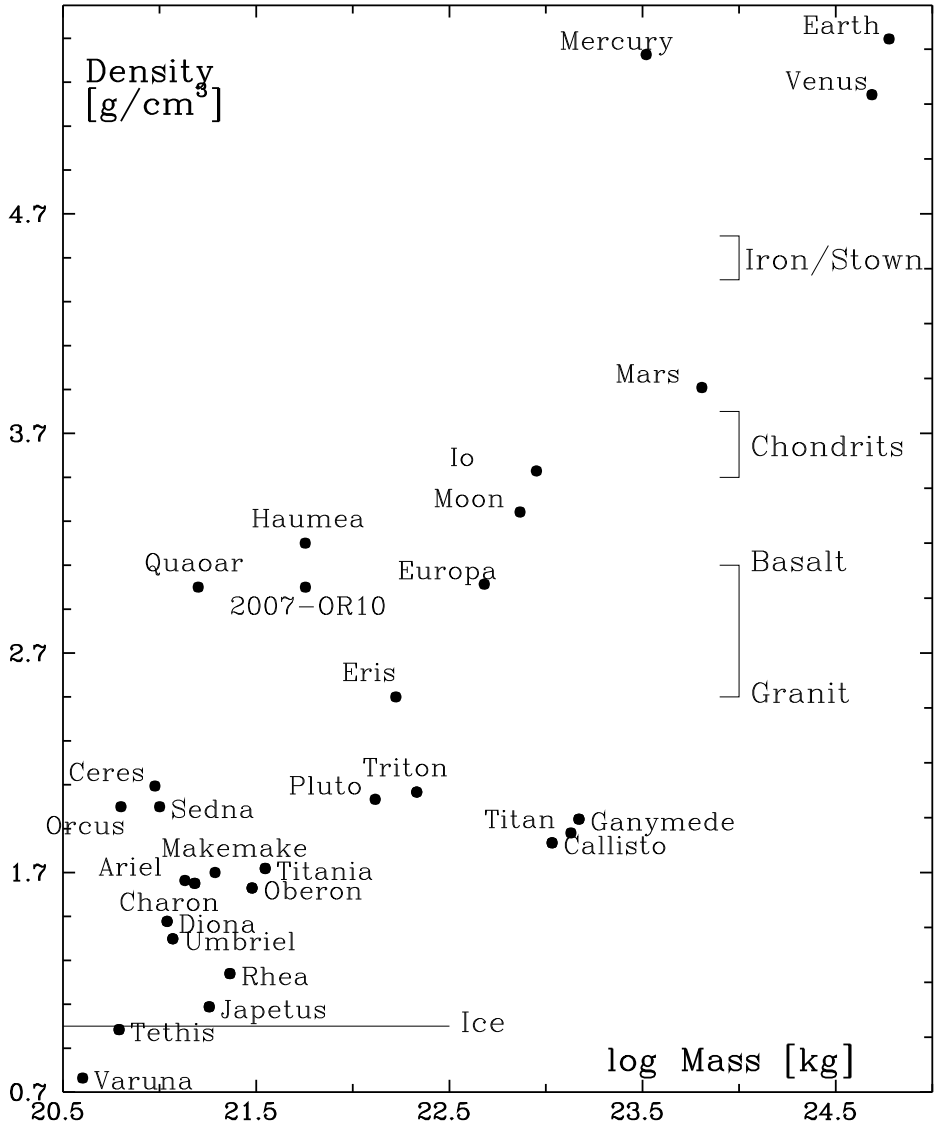



Fig. 3. Mass-mean density diagram for the massive bodies within the Solar system. The densities represented by segments correspond (top-down) to ice, granite, basalt, chondrites meteorite and iron-stone meteorite.

The Moon is a satellite with extraordinary high density and it may be considered to be part of the Earth, that came to exist after a collision of the Earth with a hypothetical planet Taya, as big and as massive as Mars (Halliday, 2000).

(11) At the left lower part of the diagram on Fig. 3 one can see a big group of lighter objects with low mean density - 10 satellites of planets, 2 asteroids (Ceres, Varuna) and 3 objects that are called today “dwarf-planets” (Sedna, Orcus, Makemake). Among these objects there are some that have density lower than the density of ice (Japetus, Thetis, Varuna). From all said above it looks like that exactly these planets should be called “dwarf-planets”.

(12) Among the objects with lower mass shown in the left bottom part of Fig. 2 there are also lighter satellites of planets and asteroids, with low densities, that indeed “small bodies in the Solar system”.

At the end, we should take into consideration that the masses and the densities of the dwarf-planets, the small satellites of the planets and the asteroids are known with an approximate exactness.

**Titius-Bode-Dermott Law about the orbital periods of the planets**

While considering the main characteristics of the Solar system it is necessary that an important rule be mentioned in the orbital radii and periods of the planets. It is known as the Titius-Bode law in XIX century. There is lots of information concerning this topic in the literature and on the Internet.

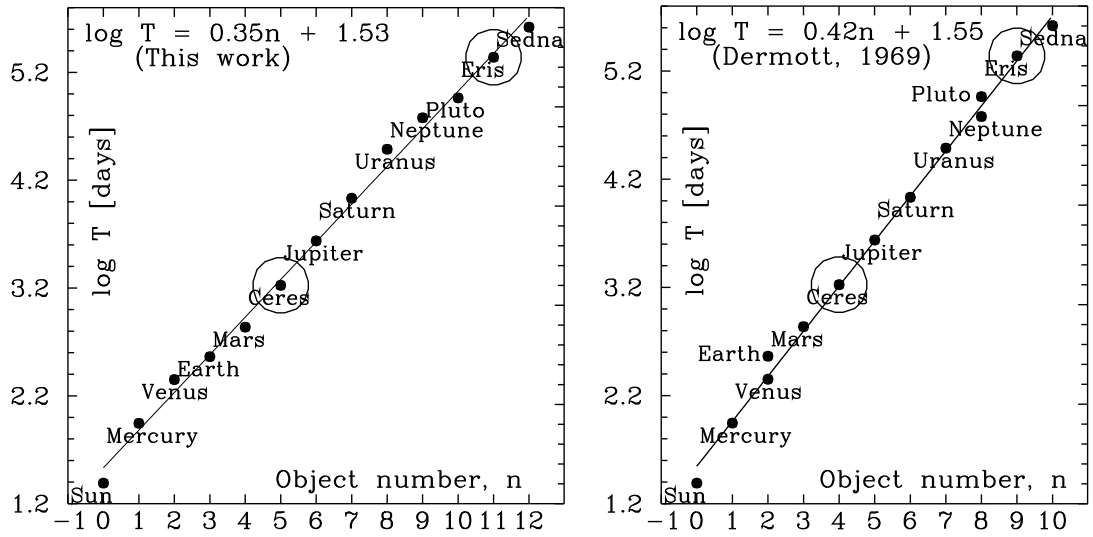



Fig. 4. Diagrams of the Titius-Bode-Dermott rule built according to the current data. To the left - taking into consideration all 13 objects. To the right - creating a group of the Earth- Venus, as well as having Neptune-Pluto as separate objects (Dermott, 1969), for a total of 11 objects. The circles correspond to the Main asteroid belt and to the Kuiper asteroid belt, containing trans-neptune dwarf planets.

In its contemporary form the rule of Titsius-Bode-Dermott (Dermott 1969, Poveda & Lara 2008) is a linear dependency of the logarithm of the orbital radius or the period on the consecutive number of the object. The radii and the periods are of equal meaning because they are directly connected with the third law of Kepler, but the usage of periods is to be preferred because it gives opportunity to have additionally the central body with its rotation period as a zero object.

Figure 4 represents two diagrams of the Titius-Bode-Dermott law built according to contemporary data together with data from the dwarf planets Eris and Sedna. On the first diagram one can see 13 objects with an angular coefficient of the straight line of 0.3 and standard deviation of 25 %. On the second diagram, following the example of Dermott (1969), the planets Venus-Earth and Neptune-Pluto are considered like objects situated along one and the same orbit, respectively number 2 and number 8. The straight line has then a higher angular coefficient of 0.42 and a lower standard deviation of 23%.

The existence of the rule of Titius-Bode-Dermott is a confirmation for the possible influence of a combination of factors that has been actively taking part in the process of forming the Solar system (Dubrule & Graner, 1994). The theoretical idea and the computer simulations show that the orbit resonance (the evenness of the orbital periods) of the big planets create in the plane of the Solar system wide rings situated in each other that do not allow for orbits to be stable over a long period of time.

Apart from that it is clear that a logarithmic law of distances can be a consequence of the process of collapse of the proto-planet disc with its axe of rotation and exponentially decreasing density towards the periphery. According to Dubrulle and Graner (1994) and Kotliarov (2008) every stable planetary or satellite system needs to satisfy this rule. There is an application of this rule in order to predict the existence of planets in other planetary systems that have not been observed ye (Poveda & Lara, 2008).

The Titius-Bode-Dermott law continues to be the subject of papers, that are not always professional. In general considering the satellites individually or grouping them in order to get right dependencies needs to be supported in a thorough way. In connection with this the astrophysicist Alan Boss, who is against such publications, says that the planetary science journal of a high authority Icarus does not accept papers that treat the topic of refining the Tutius-Bode law (Boss, 2006). However, diagrams like the ones shown in Fig.4 need certainly to be attended being another means of support to the not completely proven background to the way planetary and satellite systems came to exist.

**Conclusions**

(1) In this paper it has been shown that on the mass-diameter diagram in log-log coordinates the giant planets and the Sun on one side and the solid bodies on the other side lie in two well defined straight lines that correspond to fractal dimensions of 1.0 and 0.9. It is of interest whether there are

other such objects - stars from the main sequence and exoplanets follow such dependencies.

(2) On the mass-density diagrams one can see density stratification and groups of objects which allows for physical classification of the solid bodies of the Solar system in respect to their density. In this paper, as an addition to the certain kinds of massive bodies – (1), Sun, (2) giant planets, (3) planets of the Earth' group, 4 other kinds of objects are suspected – (4) – heavy small planets, (5) light small planets, (6) dwarf planets and (7) other smaller bodies.

(3) The Titius-Bode law, independently of the fact that it is not considered to be refinabled scientifically, is useful in considering of the Solar system and studying of the structure of other planetary systems.

**References:**


1. B o s s, A., 2006, Astronomy 30 (10): 70; "Ask Astro"
2. D e r m o t t, S. F., 1969, *Mon. Not. Roy. Astron.Soc.* 142, 143-149. "On the origin of commensurabilities in the solar system - III: the resonant structure of the solar system".
3. D u b r u l l e, B., G r a n e r F., 1994, *Astron.Astrophys*. 282: 269–276. "Titius–Bode laws in the solar system. Part II: Build your own law from disk models".
4. H a l l i d a y, A. N., 2000, *Earth and Planetary Science Letters* **176** (1): 17–30, "Terrestrial accretion rates and the origin of the Moon".
5. K o t l i a r o v, I., 2008, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 390, 1411, "A structural low in planetary systems"
6. P o v e d a, A., L a r a P., 2008, Rev. Mex. Astron. Astrofís.,. 34, 49-52,"The exo-planetary System of 55 Cancri and the Titius-Bode Law.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# THE DISTRIBUTION OF SOLAR PROTON ENERGY ON ELECTRONIC STATES OF MOLECULES IN THE MIXTURE OF $N_2$, $O_2$, CO, $CO_2$ GASES

**Andrey Kirillov[1], Rolf Werner[2], Veneta Guineva[2]**

*[1]Polar Geophysical Institute – Russian Academy of Sciences*
*Apatity, Murmansk region, Russia*
*[2]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: kirillov@pgia.ru*

***Abstract:*** *Precipitations of intensive fluxes of high-energy solar protons in the atmospheres of terrestrial planets cause electronic excitation of main molecular components of the atmospheres. Electronically excited molecules play very important role in chemical balances of the atmospheres. Recent investigations of Seppala et al. [2008] and Lillis et al. [2012] consider the precipitations of solar energetic particles in the atmospheres of Earth and Mars, consequently. The main aim of our studies is the development of a model of electronic and vibrational kinetics of molecular components in the atmospheres of terrestrial planets. The calculated quenching rate coefficients of electronically excited molecules are applied in the simulations of vibrational populations of $N_2$, CO, $O_2$ electronic states in the mixture of $N_2$, $O_2$, CO, $CO_2$ gases. We consider electronic kinetics of triplet states of $N_2$ and CO and the kinetics of Herzberg states of $O_2$. The calculations are made for the altitudes of middle atmospheres of Earth and Mars.* ***(The paper is prepared for the publishing in Advances in Space Research).***

## Introduction

In order to consider correctly the chemical balance of middle atmospheres of terrestrial planets including ozone component, it is necessary to calculate the contents of numerous minor atmospheric components produced during solar proton events on the planets. Recent investigations of Seppala et al. [2008] and Lillis et al. [2012] consider the precipitations of solar energetic particles in the atmospheres of Earth and Mars, consequently. The inelastic interaction of solar particles with atomic and molecular components of the atmospheres causes electronic (and vibrational) excitation of the atoms and molecules. Few papers related with chemical reactions with the participation of electronically and vibrationally excited molecules in the middle atmosphere of Earth were published in NATURE and journals of AGU.

It is known the odd-nitrogen compounds ($NO_y$) and the odd hydrogen compounds (including the hydroxyl radical OH) are important components. Toumi (1993,GRL), Siskind et al. (1993,GRL) have proposed that the reactions of singlet molecular oxygen $O_2(b^1\Sigma_g^+)$ with either molecular hydrogen $H_2$ or nitrous oxide $N_2O$ could be sources of OH and $NO_y$, respectively.

Moreover, sometimes the interaction of metastable molecular nitrogen $N_2(A^3\Sigma_u^+)$ with molecular oxygen $O_2$ is considered as possible source of nitrous oxide at altitudes of the middle atmosphere [Zipf, 1980, Nature; Zipf and Prasad, 1980, Nature]. Also Prasad and Zipf [1981, Nature] have studied the influence of nitrous oxide formed in the interaction of $N_2^*$ in the atmosphere during solar proton events on atmospheric chemical balance.

Solar protons precipitating in the middle atmospheres of terrestrial planets produce effectively secondary electrons in collisions with $N_2$, $O_2$ molecules in the atmosphere of Earth and with $CO_2$ molecules in the atmosphere of Mars. The electrons take active part in the production of different electronically excited states of main atmospheric components $N_2$, $O_2$, CO, $CO_2$ [Konovalov and Son, 1987, Bhardwaj and Jain, 2009]. When collisional lifetimes of the states are less or comparable with radiational ones at the altitudes of the middle atmosphere so the collisional processes influence the electronic kinetics of the components. Therefore the energy of solar protons is accumulated on electronic states of molecules in radiational and collisional processes.

## Electronic Quenching

We use analytical expressions for the rate coefficients of electronic quenching in molecular collisions based on quantum-mechanical Landau-Zener and Rosen-Zener approximations and presented by Kirillov [2004a,b]. Franck-Condon factors for the calculations related with transitions in

$N_2$ molecule are taken from [Gilmore et al., 1992]. Franck-Condon factors for the transitions in $O_2$ molecule are calculated applying Morse approximation [Kirillov, 2004b].

Here we present the results of our calculations for the quenching constants of the collisions $N_2(A^3\Sigma_u^+,v=2–23)+N_2$. The calculations include the consideration of intermolecular electron energy transfer processes

(1a) $N_2(A^3\Sigma_u^+,v)+N_2(X^1\Sigma_g^+,v=0) \rightarrow N_2(X^1\Sigma_g^+,v'')+N_2(A^3\Sigma_u^+,v'<v)$,

(1b) $N_2(A^3\Sigma_u^+,v\geq7)+N_2(X^1\Sigma_g^+,v=0) \rightarrow N_2(X^1\Sigma_g^+,v'')+N_2(W^3\Delta_u,v')$,

(1c) $N_2(A^3\Sigma_u^+,v\geq12)+N_2(X^1\Sigma_g^+,v=0) \rightarrow N_2(X^1\Sigma_g^+,v'')+N_2(B'^3\Sigma_u^-,v')$,

(1d) $N_2(A^3\Sigma_u^+,v\geq7)+N_2(X^1\Sigma_g^+,v=0) \rightarrow N_2(X^1\Sigma_g^+,v'')+N_2(B^3\Pi_g,v')$

and intramolecular process

(2) $N_2(A^3\Sigma_u^+,v\geq7)+N_2(X^1\Sigma_g^+,v=0) \rightarrow N_2(B^3\Pi_g,v')+N_2(X^1\Sigma_g^+,v=0)$.

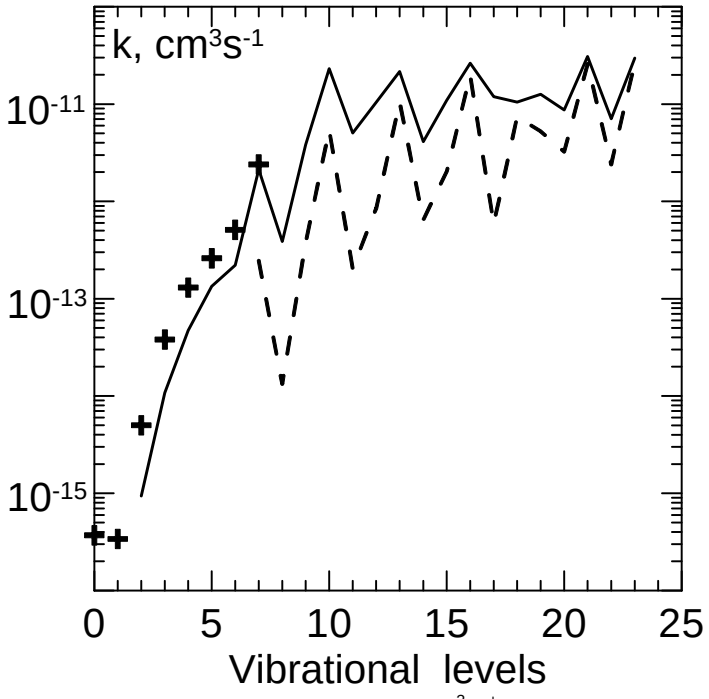



Fig. 1. The calculated quenching constants for the collisions $N_2(A^3\Sigma_u^+,v=2–23)+N_2$ (solid line) are compared with experimental data of [Dreyer and Perner, 1973] (crosses); the contribution of intramolecular process (2) – dashed line

The calculated quenching constants for the collisions $N_2(A^3\Sigma_u^+,v=2–23)+N_2$ at room temperature are compared with experimental data of [Dreyer and Perner, 1973] in Fig.1. Also we show here the contribution of intramolecular process (2). It is seen good agreement of our results with the data.

Here we present the results of our calculations for the quenching constants of the collisions $N_2(A^3\Sigma_u^+,v=0–23)+O_2$. The calculations include the consideration of intermolecular electron energy transfer processes

(3a) $N_2(A^3\Sigma_u^+,v)+O_2(X^3\Sigma_g^-,v=0) \rightarrow N_2(X^1\Sigma_g^+,v'')+O_2(c^3\Sigma_u^-,v')$ or O+O,
(3b) $N_2(A^3\Sigma_u^+,v)+O_2(X^3\Sigma_g^-,v=0) \rightarrow N_2(X^1\Sigma_g^+,v'')+O_2(A'^3\Delta_u,v')$ or O+O,
(3c) $N_2(A^3\Sigma_u^+,v)+O_2(X^3\Sigma_g^-,v=0) \rightarrow N_2(X^1\Sigma_g^+,v'')+O_2(A^3\Sigma_u^+,v')$ or O+O

and intramolecular process

(4) $N_2(A^3\Sigma_u^+,v) + O_2(X^3\Sigma_g^-,v=0) \rightarrow N_2(B^3\Pi_g,v') + O_2(X^3\Sigma_g^-,v=0)$ .

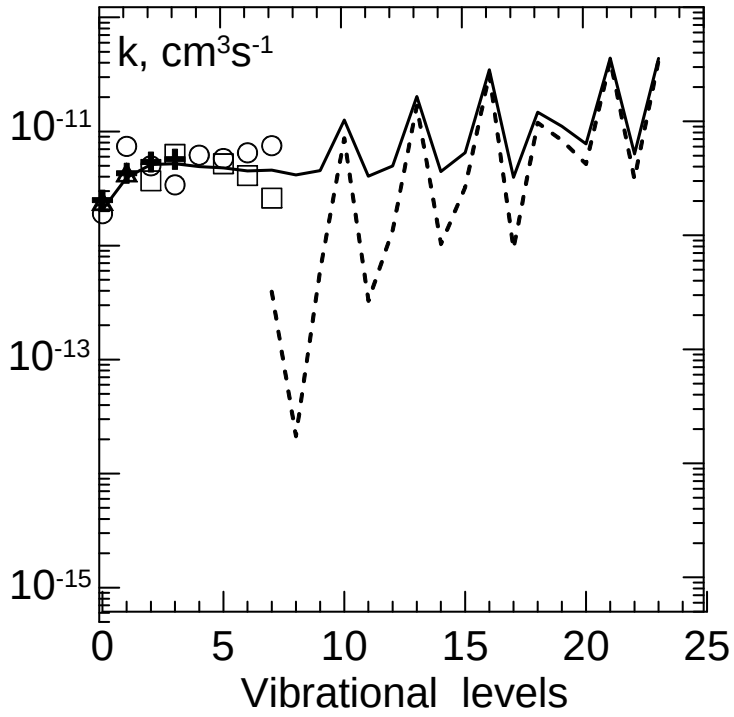



Fig. 2. The calculated quenching constants for the collisions $N_2(A^3\Sigma_u^+,v=0–23)+O_2$ (solid line) are compared with experimental data of [Dreyer et al., 1974] (circles), [Piper et al., 1981] (triangles), [Thomas and Kaufman, 1985] (crosses), [De Benedictis and Dilecce, 1997] (squares); contribution of intramolecular process (4) – dashed line

The calculated quenching constants for the collisions $N_2(A^3\Sigma_u^+,v=0–23)+O_2$ at room temperature are compared with experimental data of [Dreyer et al., 1974], [Piper et al., 1981], [Thomas and Kaufman, 1985], [De Benedictis and Dilecce, 1997] in Fig.2. Also we show here the contribution of intramolecular process (4). It is seen good agreement of our results with the data.

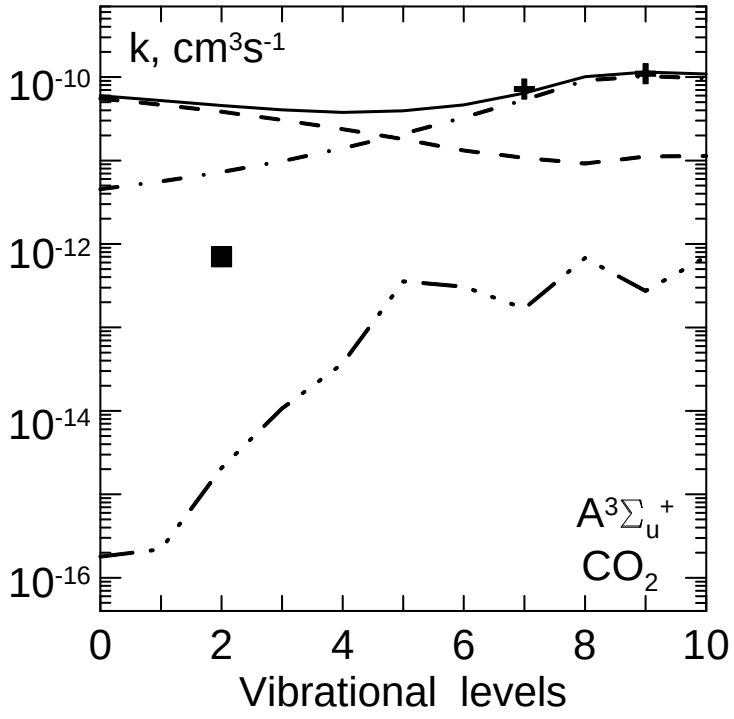



Fig. 3. The calculated quenching rate coefficients of the $A^3\Sigma_u^+$ state by $CO_2$ molecule (solid line) are compared with experimental data by Knutsen et al. [1994] (crosses) and Kenner and Ogryzlo [1983a] (square). The calculated contributions of E- and EV-processes with the excitation of one or two vibrational quanta of $CO_2$ are dash-dotted, dashed, dash and three dotted lines, respectively

Here we design to make the calculations of removal rates for $O_2$ Herzberg states for the collisions with $CO_2$, $N_2$, $O_2$ molecules and consider only spin-allowed processes in the quenching of the states with vibrational excitation of target molecules

(5) $O_2(A^3\Sigma_u^+,v) + CO_2(0,0,0) \rightarrow O_2(X^3\Sigma_g^-, A'^3\Delta_u;v') + CO_2(v_1, v_2, v_3)$

(6) $O_2(A^3\Sigma_u^+,v) + N_2(X^1\Sigma_g^+,v=0) \rightarrow O_2(X^3\Sigma_g^-,A'^3\Delta_u;v') + N_2(X^1\Sigma_g^+,v=0,1)$

(7a) $O_2(A^3\Sigma_u^+,v) + O_2(X^3\Sigma_g^-,v=0) \rightarrow O_2(X^3\Sigma_g^-,Y;v') + O_2(X^3\Sigma_g^-,v=0,1)$

(7b) $O_2(A^3\Sigma_u^+,v) + O_2(X^3\Sigma_g^-,v=0) \rightarrow O_2(X^3\Sigma_g^-,v'') + O_2(Y, A^3\Sigma_u^+;v')$

$Y= a^1\Delta_g, b^1\Sigma_g^+, c^1\Sigma_u^-, A'^3\Delta_u$

The processes (5,6,7a) include both intramolecular electron energy transfers without any vibrational excitation of target molecules (E-processes) and intramolecular electron energy transfers with vibrational excitation $v=0\rightarrow v=1$ of ones (EV-processes). The intermolecular process (7b) is related with the changes of electronic configurations in both collided molecules (EE-processes).

The results of our calculations for $A^3\Sigma_u^+$ ($v$=0–10) removal constants in the processes (5), (6), (7a,b) at room temperature are plotted in Figs.3-5, respectively. We compare our results with experimental data of [Kenner and Ogryzlo, 1983a,b; Knutsen et al., 1994; Copeland,1994] for collisions with $CO_2$, $N_2$ and $O_2$ molecules in Figs.3-5.

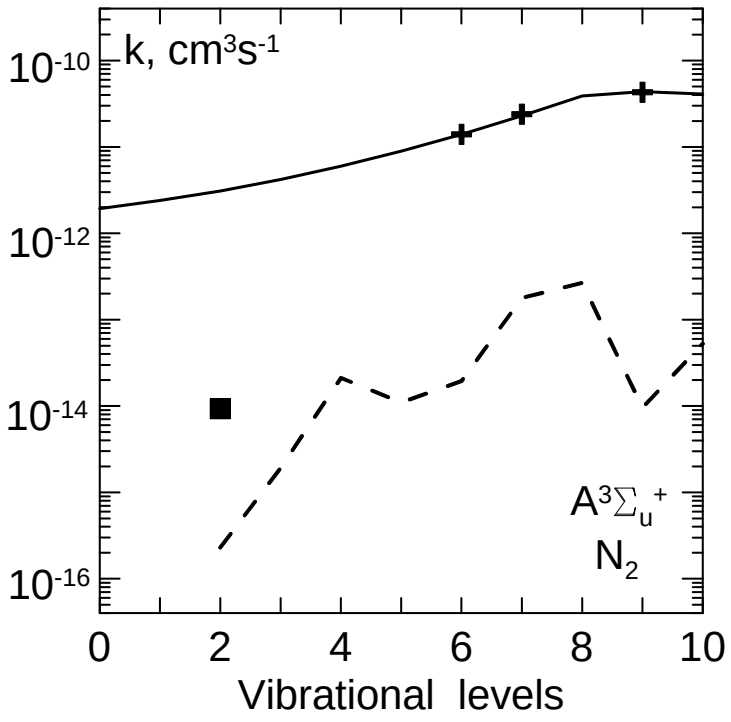



Fig. 4. The calculated quenching rate coefficients of the $A^3\Sigma_u^+$ state of molecular oxygen by $N_2$ molecules (solid line) are compared with experimental data by Knutsen et al. [1994] (crosses), Kenner and Ogryzlo [1983b] (square). The calculated contributions of EV-processes with the excitation of one vibrational quantum of $N_2$ is dashed line

Good agreement of calculated coefficients with the results of laser experimental measurements by Knutsen et al. [1994] and Copeland [1994] is seen from the comparison. Nevertheless, there is not any agreement with ancient data by Kenner and Ogryzlo [1983a,b] received applying catalytical recombination of oxygen atoms on a nickel surface. The data of [Kenner and Ogryzlo, 1983a,b] are significantly lower than the calculated constants for all three target molecules.

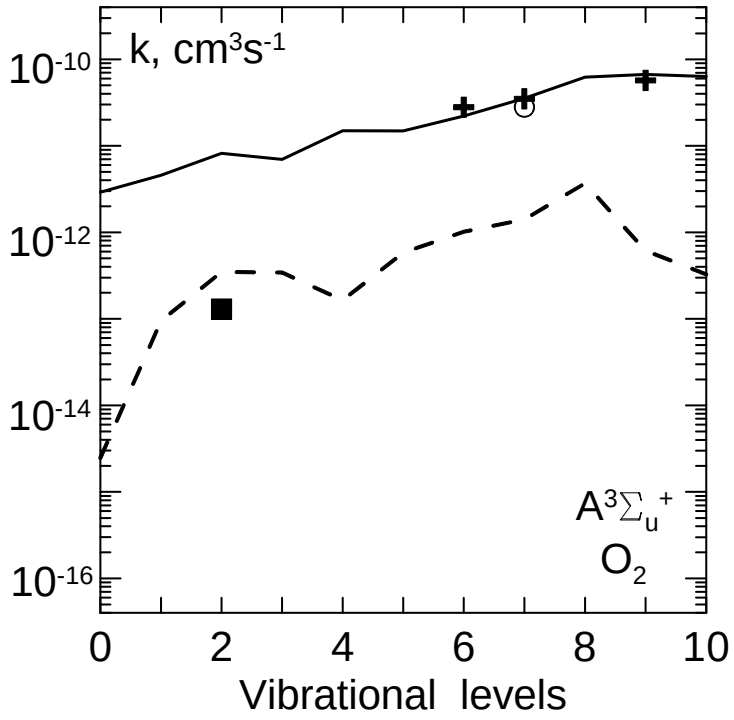



Fig. 5. The calculated quenching rate coefficients of the $A^3\Sigma_u^+$ state of molecular oxygen by $O_2$ molecules (solid line) are compared with experimental data by Knutsen et al. [1994] (crosses), Kenner and Ogryzlo [1983a] (square), Copeland [1994] (circle). The calculated contributions of EV-processes with the excitation of one vibrational quantum of $O_2$ is dashed line

**Vibrational Populations of Electronically Excited $N_2$ and $O_2$ in the Atmosphere of Earth**

We pay special attention to the presentation of vibrational populations of triplet $A^3\Sigma_u^+$ state of $N_2$ and Herzberg $A^3\Sigma_u^+$ state of $O_2$ for conditions of middle atmosphere of Earth during solar proton precipitation. To calculate the population of the *v*-th vibrational level of the $A^3\Sigma_u^+$ states we use the steady-state equations with the production rates of the states by solar protons, with applying of the rate constants for intermolecular and intramolecular electron energy transfer processes and with using of Einstein coefficients for spontaneous radiational transitions between electronically excited states of $N_2$ and $O_2$. The quenching and production of electronically excited states in inelastic molecular collisions are taken into account.

To estimate vibrational population of $N_2(A^3\Sigma_u^+,v)$ we calculate the populations of the $B^3\Pi_g$, $W^3\Delta_u$, $B'^3\Sigma_u^-$, $C^3\Pi_u$ states of $N_2$. The rate coefficients for all intermolecular and intramolecular electron energy transfer processes are calculated as described in previous section. Fig.6 is a plot of the calculated relative vibrational populations of the $A^3\Sigma_u^+$ state of $N_2$ ($[N_2(A^3\Sigma_u^+,v)]/[N_2(A^3\Sigma_u^+,v=0)]$) at the altitude of 50 km. Concentrations of main atmospheric components are taken as $[N_2]=1.2\times10^{16}$ cm$^{-3}$, $[O_2]=3.1\times10^{15}$ cm$^{-3}$.

Results of the calculation of $O_2(A^3\Sigma_u^+,v)$ are given in Fig.7 for two cases. At first we have made the calculation without the inclusion of electronic energy transfer processes from metastable nitrogen $N_2(A^3\Sigma_u^+)$ (3c). In the second instance the contribution of the processes (3c) is taken into consideration. The normalising of presented populations is made on the populations of vibrational level *v*=0 of the Herzberg state for the first instance. Fig.7 indicates obviously that these intermolecular processes are dominant in the population of the Herzberg state at altitudes of middle atmosphere during solar proton precipitation and the inclusion of the processes (3a-c) is very important in the study of electronic kinetics of the Herzberg states of $O_2$.

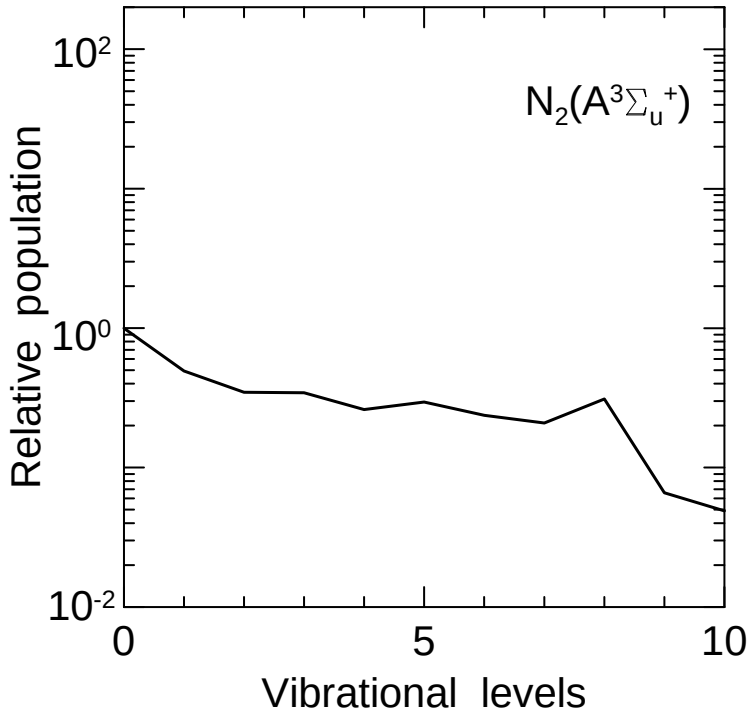



Fig. 6. The calculated relative vibrational population of the $A^3\Sigma_u^+$ state of $N_2$ at the altitude of 50 km of Earth (solid line)

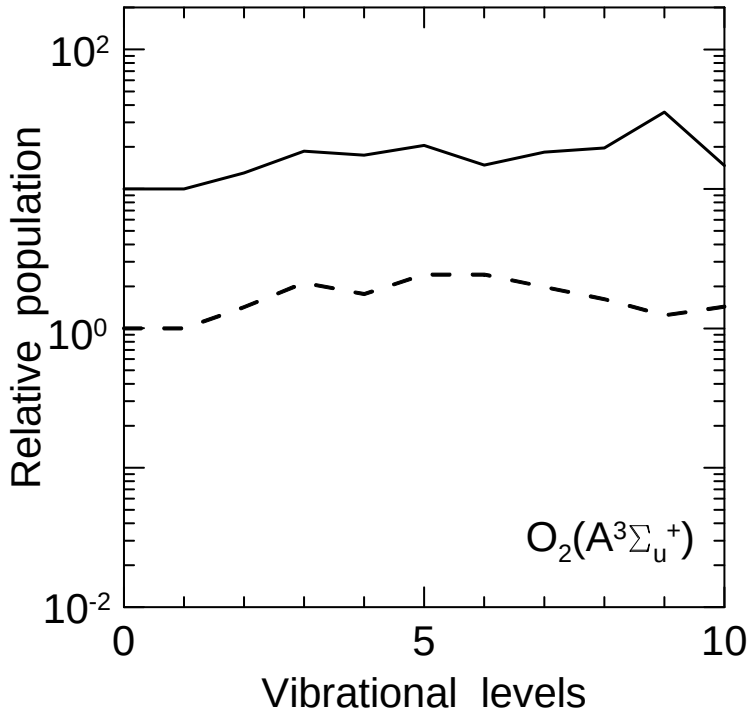



Fig. 7. The calculated relative vibrational populations of the $A^3\Sigma_u^+$ state of $O_2$ at the altitude of 50 km of Earth: dashed and solid lines – without and with the contribution of the process (3c), respectively

**Vibrational Populations of Electronically Excited $N_2$ and Co in the Atmosphere of Mars**

Here we pay special attention to the presentation of vibrational populations of triplet $A^3\Sigma_u^+$ state of $N_2$ and of triplet $a^3\Pi_r$ state of CO for conditions of middle atmosphere of Mars during solar proton precipitation.

To calculate the population of the *v*-th vibrational level of the $A^3\Sigma_u^+$ state we use the steady-state equations with the production rates of the states by solar protons, with applying of the rate

constants for intermolecular and intramolecular electron energy transfer processes for collisions with $N_2$ and $O_2$ molecules and with using of Einstein coefficients for spontaneous radiational transitions. Only intramolecular electron energy transfer processes are considered for collisions with $CO_2$ molecules. The quenching and production of electronically excited states of $N_2$ in inelastic molecular collisions are taken into account.

To estimate vibrational population of $N_2(A^3\Sigma_u^+,v)$ we calculate the populations of $B^3\Pi_g$, $W^3\Delta_u$, $B'^3\Sigma_u^-$, $C^3\Pi_u$ states of $N_2$. Fig.8 is a plot of the calculated relative vibrational populations of the $A^3\Sigma_u^+$ state of $N_2$ ($[N_2(A^3\Sigma_u^+,v)]/[N_2(A^3\Sigma_u^+,v=0)]$) at the altitude of 50 km of Mars. Concentrations of main atmospheric components are taken as $[CO_2]= 8\times10^{14}$ cm$^{-3}$, $[N_2]=2.3\times10^{13}$ cm$^{-3}$, $[O_2]=1.1\times10^{12}$ cm$^{-3}$. Results of the calculation of $N_2(A^3\Sigma_u^+,v)$ are given in Fig.8 for two cases. At first we have made the calculation without the inclusion of electronic energy transfer processes (3a-c). In the second instance the contribution of the processes (3a-c) is taken into consideration. The normalising of presented populations is made on the populations of vibrational level $v$=0 of the $A^3\Sigma_u^+$ state for the first instance. Although concentrations of molecular oxygen are one-two orders lower concentrations of $CO_2$ and $N_2$ it is seen from Fig.8 that these intermolecular processes are very important in the population of the $A^3\Sigma_u^+$ state at altitudes of middle atmosphere of Mars during solar proton precipitation.

To estimate vibrational population of $CO(a^3\Pi_r,v)$ we calculate the populations of $a'^3\Sigma^+$, $d^3\Delta_i$, $e^3\Sigma^-$ states of CO. To calculate the population of the $v$-th vibrational level of the $a^3\Pi_r$ state we use the steady-state equations with the production rates of the states by solar protons and with using Einstein coefficients for spontaneous radiational transitions. Fig.9 is a plot of the calculated relative vibrational populations of the $a^3\Pi_r$ state of CO ($[CO(a^3\Pi_r,v)]/[CO(a^3\Pi_r,v=0)]$) at the altitudes of Mars.

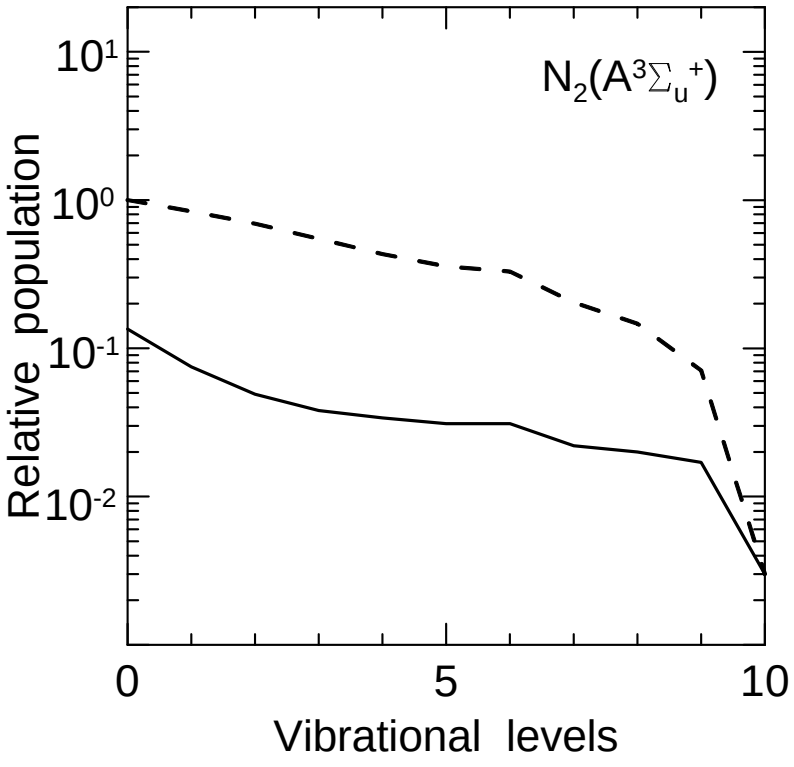



Fig. 8. The calculated relative vibrational populations of the $A^3\Sigma_u^+$ state of $N_2$ at the altitude of 50 km of Mars: dashed and solid lines – without and with the contribution of the processes (3a-c), respectively

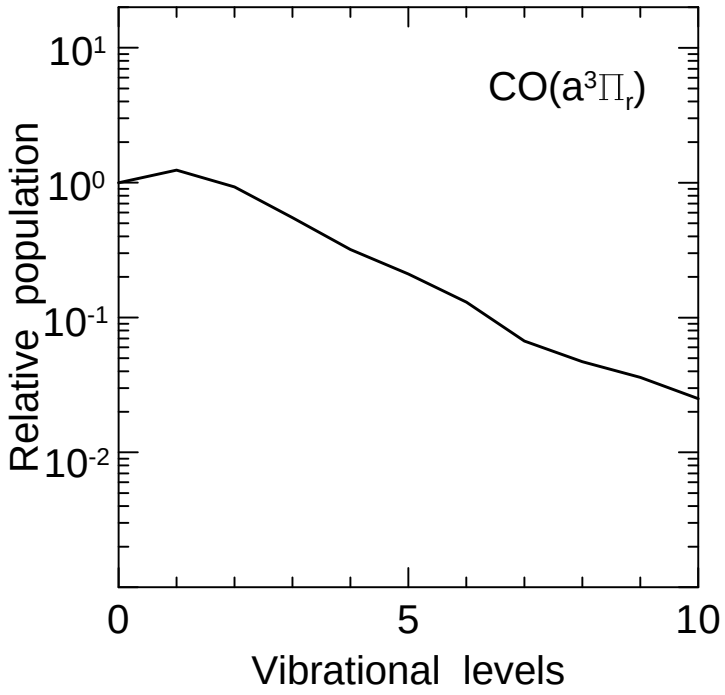



Fig. 9. The calculated relative vibrational population of the $a^3\Pi_r$ state of CO at the altitudes of Mars (solid line)

**References:**


1. Bhardwaj, A. and Jain S. K. Monte Carlo model of electron energy degradation in a $CO_2$ atmosphere. // J. Geophys. Res., 2009, v.114, A11309.
2. Copeland, R. A. Laser double resonance study of collisional removal of $O_2(A^3\Sigma_u^+,v=7)$ with $O_2$. // J. Chem. Phys., v.100, p.744-745.
3. De Benedictis, S. and Dilecce G. Rate constants for deactivation of $N_2(A)$ v=2-7 by O, $O_2$, and NO. // J. Chem. Phys., 1997, v.107, p. 6219-6229.
4. Dreyer, J. W. and Perner D. Deactivation of $N_2(A^3\Sigma_u^+,v=0-7)$ by ground state nitrogen, ethane, and ethylene measured by kinetic absorption spectroscopy. // J. Chem. Phys., 1973, v.58, p.1195-1201.
5. Dreyer, J. W. et al. Rate constants for the quenching of $N_2(A^3\Sigma_u^+,v=0-8)$ by CO, $CO_2$, $NH_3$, NO, and $O_2$. // J. Chem. Phys., 1974, v.61, p. 3164-3169.
6. Gilmore, F. R. et al. Franck-Condon factors, r-centroids, electronic transition moments, and Einstein coefficients for many nitrogen and oxygen band systems. // J. Phys. Chem. Ref. Data, 1992, v.21, p.1005–1107.
7. Kenner, R. D. and Ogryzlo E. A. Quenching of $O_2(c^1\Sigma_u^-)$ v=0 by $O(^3P)$, $O_2(a^1\Delta_g)$, and other gases. // Can. J. Chem., 1983a, v.61, p. 921-926.
8. Kenner, R .D. and Ogryzlo E. A. Rate constant for the deactivation of $O_2(A^3\Sigma_u^+)$ by $N_2$. // Chem. Phys. Lett., 1983b, v.103, p. 209-212.
9. Kirillov, A. S. Application of Landau-Zener and Rosen-Zener approximations to calculate rates of electron energy transfer processes. // Adv. Space Res., 2004a, v.33, p.993–997.
10. Kirillov, A. S. Calculation of rate coefficients of electron energy transfer processes for molecular nitrogen and molecular oxygen. // Adv. Space Res., 2004b, v.33, p. 998–1004.
11. Knutsen, K. et al. Laser double-resonance study of the collisional removal of $O_2(A^3\Sigma_u^+$, v=6,7, and 9) with $O_2$, $N_2$, $CO_2$, Ar, and He. // J. Chem. Phys., v.101, p.7415-7422.
12. Konovalov, V. P. and Son E. E. Degradation spectrum of electrons in gases // Khimiya plasmy, 1987, v.14, p.194–227, in russian.
13. Lillis, R. J. et al. Evidence for superthermal secondary electrons produced by SEP ionization in the Martian atmosphere. // J. Geophys. Res., 2012, v.117, E03004.
14. Piper, L. G. et al. Rate constants for deactivation of $N_2(A)$ v'=0,1 by $O_2$. // J. Chem. Phys., 1981, v.74, p. 2888-2895.
15. Prasad, E. E. and Zipf E. C. Atmospheric nitrous oxide produced by solar protons and relativistic electrons. // Nature, 1981, v.291, p. 564-566.
16. Seppala, A. et al. The effects of hard-spectra solar proton events on the middle atmosphere. // J. Geophys. Res., 2008, v.113, A11311.
17. Siskind, D. E. et al. An evaluation of $O_2(b^1\Sigma_g)$ as a possible source of OH and odd-nitrogen in the stratosphere and mesosphere. // Geophys. Res. Lett., 1993, v.20, p. 2047-2050.
18. Thomas, J. M. and Kaufman F. Rate constants of the reactions of metastable $N_2(A^3\Sigma_u^+)$ in v=0,1,2, and 3 with ground state $O_2$ and O. // J. Chem. Phys., 1985, v.83, p. 2900-2903.
19. Toumi, R. A potential new source of OH and odd-nitrogen in the atmosphere. // Geophys. Res. Lett., 1993, v.20, p. 25-28.
20. Zipf, E. C. A laboratory study on the formation of nitrous oxide by the reaction $N_2(A^3\Sigma_u^+) + O_2 \rightarrow N_2O + O$. // Nature, 1980, v.287, p.523-524.
21. Zipf, E. C. and Prasad E.E. Production of nitrous oxide in the auroral D and E regions. // Nature, 1980, v.287, p. 525-526.

# A METHOD TO COMPUTE THE ATMOSPHERIC $O_2$ EXTINCTION SPECTRUM – ANALYSIS AND ESTIMATE OF SOME INPUT PARAMETERS

**Veneta Guineva[1], Rolf Werner[1], Andrey Kirillov[2]**

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

***Keywords:*** *$O_2$ atmospheric system, absorption, single scattering*

***Abstract:*** *A method to compute the solar radiation extinction by the molecular oxygen in the atmosphere was developed. Absorption and single scattering towards the observer were included in the extinction model. Plane parallel atmosphere divided into layers with equal thickness was assumed. A computation following the "line-by-line" method was applied – the calculations were implemented consecutively for each rotational line from A (0,0) band of the oxygen atmospheric system. Study of some needed input parameters was carried out. The optimal number of included transitions and the optimal values of the atmospheric layers thickness and of the upper limit of the atmosphere were estimated. In the purpose of the study, the radiation extinction at different angles of observation and using different atmosphere model parameters was computed. The profiles of the separate rotational lines were obtained and the equivalent widths were calculated in the optimal way. The dependences assuming strong absorption were built for different models and different observation angles. The corresponding temperatures and atmospheric heights were obtained.*

# МЕТОД ЗА ПРЕСМЯТАНЕ НА СПЕКТЪРА НА ЕКСТИНКЦИЯ НА АТМОСФЕРНИЯ КИСЛОРОД – АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА НЯКОИ ВХОДНИ ПАРАМЕТРИ

**Венета Гинева[1], Вернер[1], Андрей Кирилов[2]**

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

***Ключови думи:*** *атмосферна система на кислорода, абсорбция, еднократно разсейване*

***Резюме:*** *Създаден е метод за пресмятане на екстинкцията на слънчевата радиация от молекулния кислород в атмосферата. В модела на екстинкцията абсорбция и еднократно разсейване в посока на наблюдателя. Разглежда се плоско паралелна атмосфера, разделена на слоеве с еднаква дебелина. Приложено е пресмятане по метода „линия по линия" – изчисленията са извършени последователно за всяка ротационна линия от ивицата A(0,0) на атмосферната система на кислорода. Проведено е изследване на някои необходими входни параметри. Оценени са оптималният брой включени преходи, оптималните стойности на дебелината на атмосферните слоеве и на височината на горната граница на атмосферата. За целите на изследванията е пресметната екстинкцията на радиацията при различни ъгли на наблюдение и при различни параметри на модела на атмосферата. Получени са профилите на отделните ротационни линии и еквивалентните им ширини са пресметнати по оптимален начин. Построени са зависимостите при предположение за силна абсорбция за различни атмосферни модели и и различни ъгли на наблюдение. Получени са температурите и съответстващите височини при стандартна атмосфера.*

**Introduction**

Molecular oxygen is one of the main atmospheric constituents and that's why its extinction bands are between the strongest ones in the observed solar spectrum. A number of computations of the oxygen absorption (e.g. in [1, 2, 3, 4]) and studies of the $O_2$ scattering in the atmosphere [5, 6, 7] have been carried out.

In this work a method to compute the solar radiation extinction in the atmosphere is used when the solar radiation is registered at a given angle to the horizon. The method is described in detail in [8]. In the model absorption and single scattering by the oxygen molecules towards the observer are included. The absorption in the visible range is strongest in the atmospheric system of $O_2$. In this work we examine the A(0,0) band of this system.

The present work has 2 basic goals: to optimize the computations and to make a theoretical estimate of the expected differences between the results obtained for different conditions.

**Atmospheric model and methods of computation**

A plane parallel atmosphere was assumed. The absorption above the considered upper limit was neglected. The atmosphere was divided into parallel layers with equal thickness. Every layer was considered as homogenous and was characterized by a single value of the parameters ***n***, ***T*** and ***p***. The concentration ***n***, the temperature ***T*** and the pressure ***p*** were determined from the used atmospheric model.

Sunlight was considered as a parallel beam. During observations under different directions below the Sun current position (different angles towards horizon) and assuming single scattering in every observation direction rays scattered at different altitudes in the atmosphere are registered.

The principal scheme used for the computations for the assumed atmospheric model is shown in fig.1. The observation is carried out from point *A* under angle *α* towards horizon, in direction $l_1$. The

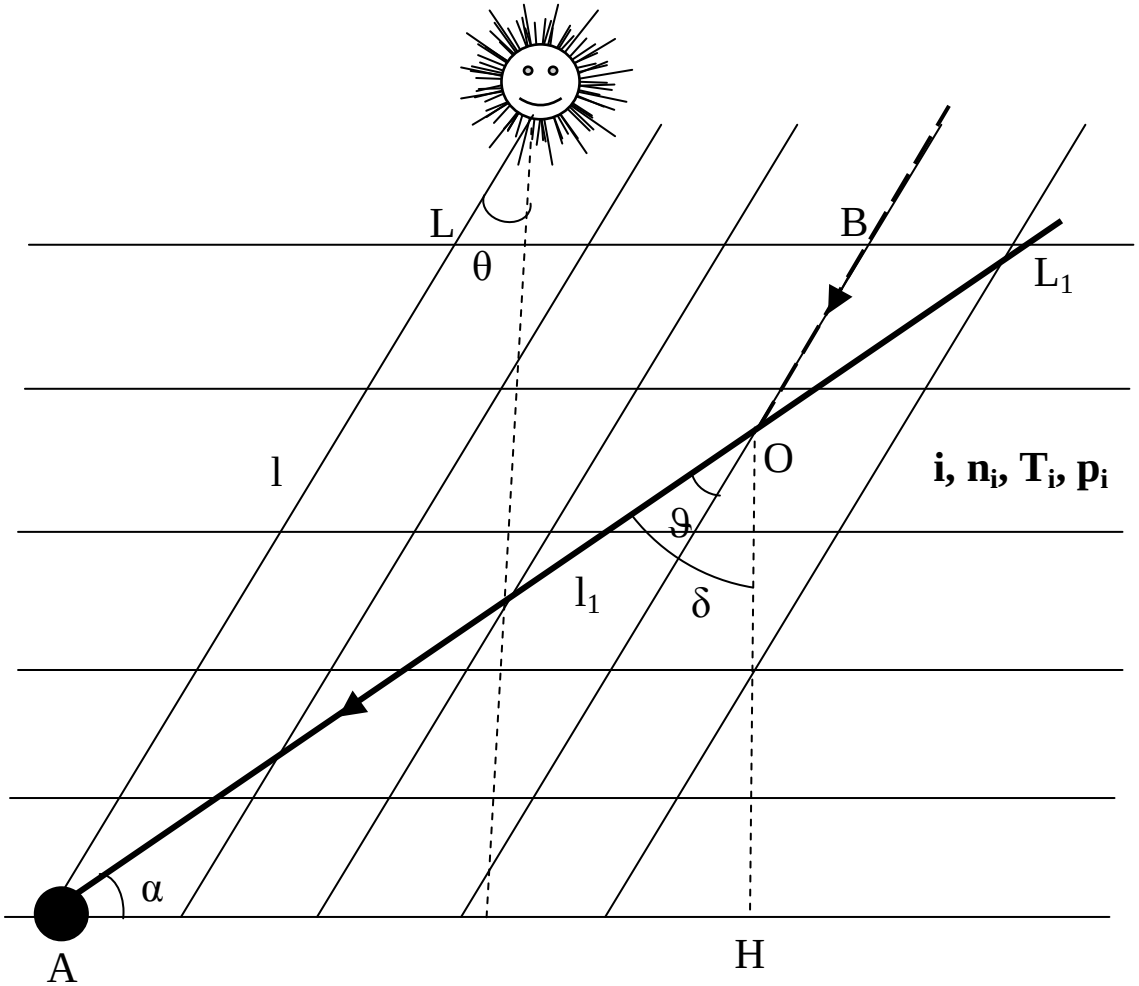



Fig. 1. Principal scheme of the $O_2$ extinction computations under angle *α* towards horizon. The calculations for every considered ray are divided into 3 parts: calculation of the absorption from the upper edge of the atmosphere to the layer where the ray crosses the direction of observation $l_1$ (point *O),* absorption and single scattering in direction $l_1$ in this layer and absorption of the obtained radiation from this layer to the Earth in the direction of observation.

line of observation intersects the upper limit of the atmosphere in point $L_1$. The zenith angle of the Sun is $\theta$, the direction to the Sun from the point of observation $A$ ($l$) crosses the upper limit of the atmosphere in point $L$. Rays, crossing the direction of observations in every atmospheric layer are included in the calculations, i.e. the number of rays is equal to the chosen number of atmospheric layers.

Let's look at a ray starting from point $B$ at the upper limit of the atmosphere (fig.1). It crosses the direction of observation in i-th layer with parameters $n_i$, $T_i$ and $p_i$ (point O). The computations can be divided into 3 principal parts: 1) calculation of the $O_2$ absorption from the upper limit of the atmosphere to layer *i-1*; 2) calculation of the absorption and the single scattering of the transmitted radiation in the direction of observation in layer *i*; 3) calculation of the absorption of the obtained up to here radiation from layer *i+1* to the observer in the direction of observation, using as zenith angle $\delta=90^o-\alpha$. The theory and the computations of the absorption and the single scattering are described in detail in [8] and the citations herein.

**Optimization of the computations and estimate of the obtained results**

In order to study the atmospheric processes and parameters, including temperature, based on spectroscopic methods, to spectroscopic measurements implementation, the processes in the atmosphere are to be modeled. The computed extinction spectra and the derived parameters are intended to be compared with the measured ones. For this reason, precise theoretical spectra are needed. Contrariwise, for more precise results, more sophisticated and time consuming calculations are to be carried out. That is why an optimization of the computing process is indispensible to obtain an adequate and satisfactory result and to facilitate the computations, as well.

*Optimization of some input parameters*

First, the number of lines to include in the computations was studied. All the lines, enumerated in HITRAN 96 data base of Rothman et al. [9] were used for the calculations. We examined the (0,0) band of the $O_2$ atmospheric system. The spectra of the P branch alone and of the P and R branches differ considerably because of the strong influence of the intense R branch lines, broaden and superimposed on the R branch spectrum. Thus it is necessary to make all computations for the whole (0,0) band.

The second input parameter that we have studied was the atmospheric layers thickness. It is important, because the number of considered rays and the computation cycles, respectively, depend on it. Thinner layers presume a more correct result, but the computation time may reach inadmissible length. Computations for layer thicknesses 5 km, 2 km, 1 km and 0.5 km were performed. The relative differences between the obtained spectra for consecutive layer thicknesses are presented in fig.2. The relative difference between the spectra with the use of 1 km and 0.5 km layer thickness doesn't exceed 0.1%. This difference was assumed low enough to be neglected. A layer thickness of 1 km was assumed sufficiently low to obtain good results.

Another input parameter that influences the computations and the result correctness is the upper limit of the atmosphere, assumed in the model. Usually, in $O_2$ spectra computations, a maximal height of 100 km is used, and the $O_2$ presence at higher altitudes is disregarded. But the $O_2$ concentration may be low enough at lower altitudes, too. Computations were made with the assumption of upper limit of the atmosphere 100 km, 80 km, 60 km, 50 km, 40 km and the relative differences towards the spectrum for upper limit 100 km were obtained. The result for 60 km and 80 km height is shown in fig.3. The relative difference for 40 km height reaches 0.5%, for 50 km height –

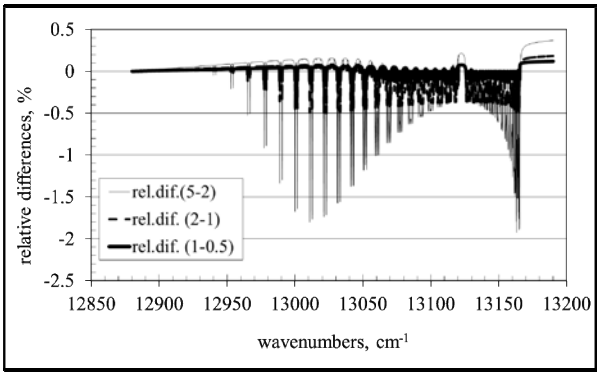



Fig. 2. Relative differences between the spectra computed for atmospheric layers thickness 5 km, 2 km, 1 km and 0.5 km. In the parenthesis the used layer thicknesses for the spectra of the respective relative differences chain are marked.

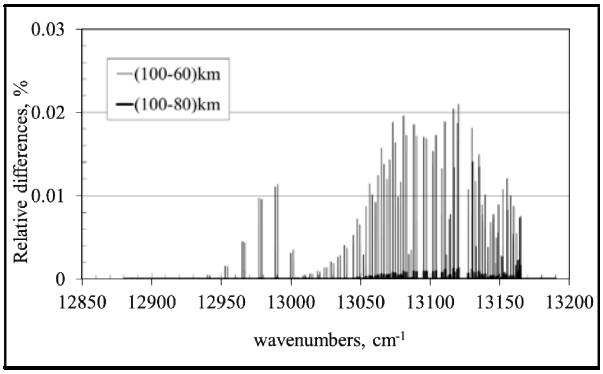



Fig. 3. Relative differences between the spectrum computed for atmospheric height 100 km and the spectra computed for 60 km and 80 km height.

0.09%, for 60 km height – 0.02%, and for 80 km height – 0.001%. Based on these results we admitted that for our computations an atmospheric height of 60 km is enough for our model.

*Study of the change in the spectra, computed under different conditions*

Using the assumed optimal input parameters, spectra at the same zenith angle (ZA), ZA=30º, under different angles of observation: 50º, 40º, 30º, 20º were computed. The stronger absorption for the smaller angles of observation is seen in the obtained spectra. To approach the real measured spectra, the computed spectra were convolved with a model triangle instrument function with half width 0.4 Å. The differences between the spectra under different angles of observation, and between the convolved spectra were obtained. These differences are of the order of several degrees.

Computations with all $O_2$ isotopes were implemented, and the differences between convolved spectra with and without $O_2$ isotopes are examined. The maximal contribution of the isotope lines is about 7-8%. This result necessitates the inclusion of the $O_2$ isotopes in the computations.

Further we performed computations using different atmospheric models: yearly mean temperatures, January and July temperatures from U.S. Standard atmosphere 1976. Convolved spectra were obtained as well. The relative differences between the spectra by the listed models for non-convolved and convolved spectra were studied. In fig.4 the differences between spectra (non-convolved and convolved ones) by the use of yearly mean temperatures and July temperatures are presented, for the case of ZA=30º and observation angle=50º. The maximal differences for the convolved spectra are about 4-5 times less, near 1.5%. The maximal differences between the spectra for different observation angles are in the frames of 1%.

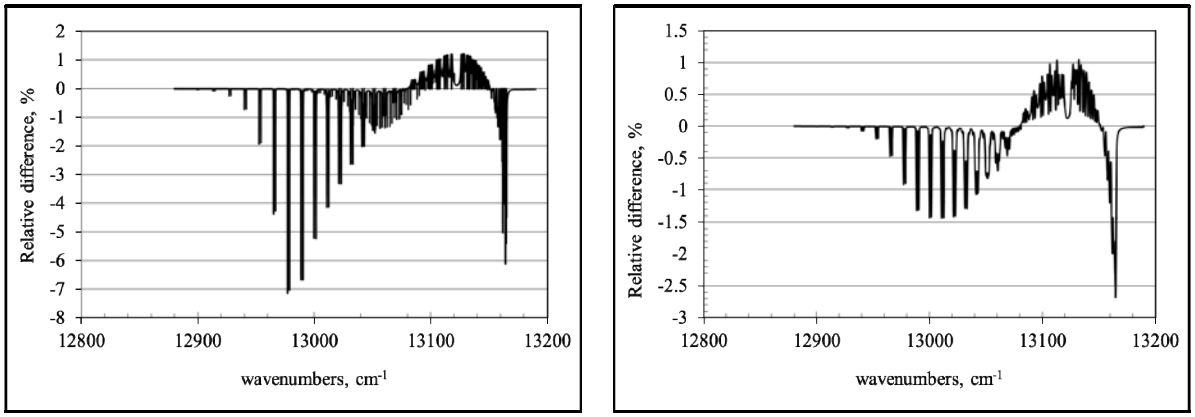



Fig. 4. Relative difference between the spectra obtained with mean annual temperatures and summer temperatures for ZA=30º and observation angle=50º: left – non-convolved spectra, right – convolved spectra.

*Computing of the equivalent widths*

The equivalent width $W_e$ of a rotational absorption, resp. extinction line is a measure of the area of the line. It is connected to the absorption energy.

To obtain the right equivalent widths, we computed separately the shape of every rotational line. After that, it is necessary to extract correctly the baseline. First, we applied a linear fit below the rotational lines. But a more detailed examination has shown that this way was not entirely right. In fig.5 the lower part of the wavelength interval under considerable magnification is presented. For better clarity and to cover the whole range of lines, 3 lines were included: the first line (N=1), the last one (N=45) and a line of the middle of the P branch, with N=30. It is clearly seen that the baseline was not correctly extracted. Despite the maximal value that has to be extracted is 4 orders lower than the maximal lines intensities, taking into account the longitude of the wavelength range serious inaccuracies in the determined equivalent widths may occur. A polynomial fit of second order was drawn under each line in fig.5. These fits have depicted well the baselines. In fig.6, the lower part of the same lines is presented, after the baseline approach by a polynomial of second order. Such approach is suitable for the baseline extraction.

*Dependence between the equivalent widths and the effective temperature*

The effective temperature represents the temperature which the gas would take, if the temperature was uniform along the whole length of the atmospheric column, saving the internal gas energy. It was obtained that $T_{eff}$ corresponds to the temperature at 6 km of altitude of the standard atmosphere.

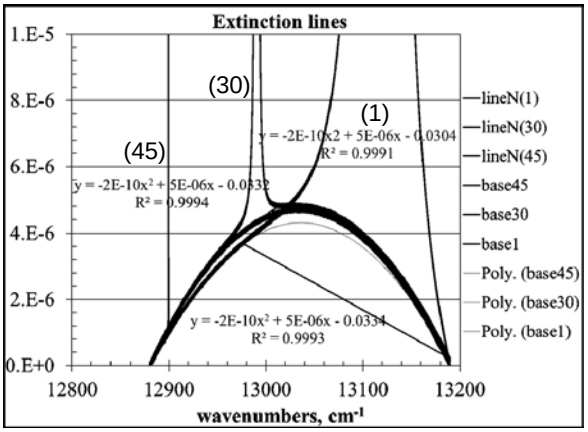



Fig. 5. Magnification of the lower part of 3 rotational extinction lines of the (0,0) P branch after the baseline extraction by a linear fit. The corresponding polynomial baselines and their equations are shown as well.

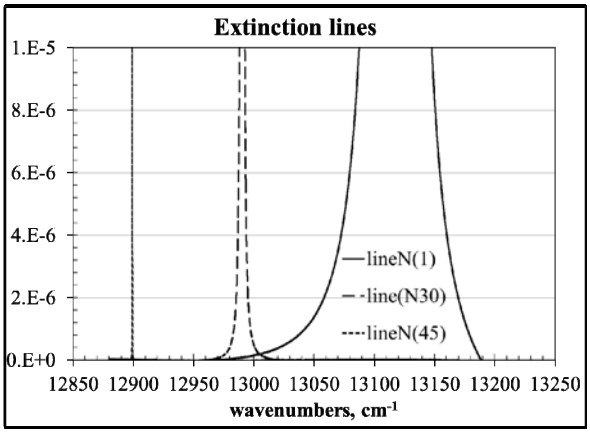



Fig. 6. Magnification of the lower part of the same lines as in fig.5 after the baselines extraction by a polynomial of 2 order.

$T_{eff}$ is defined as:

(1)
$$T_{eff} = \frac{\int_0^\infty n(z)T(z)dz}{\int_0^\infty n(z)dz} = \frac{\int_0^\infty n(z)T(z)dz}{N}$$

The effective temperature is connected to the equivalent width. In the case of strong absorption, the following dependence is obtained:

(2)
$$\ln\left(\frac{W_e}{S_{JJ}^{1/2}}\right) = const - \frac{B_0 hc}{kT_{eff}} \frac{J(J+1)}{2}$$

where $S_{jj}$ is the line strength, $J$ is the rotational quantum number of the lower level and $T_{eff}$ is the effective temperature.

The dependencies between $\boldsymbol{ln(W_e/S_{jj}^{1/2})}$ and $\boldsymbol{J(J+1)/2}$ at different observation angles for 3 cases: yearly mean, January and July data from U.S. Standard atmosphere 1976 were constructed, using the determined theoretically $W_e$. In fig.7 are shown these dependences for observation angles 50º and 15º. The corresponding temperatures are calculated. These temperatures correspond to atmosphere columns inclined towards horizon by 50º and 15º, respectively. At lower observation angles higher corresponding temperatures are obtained, which agrees with the used model of the temperature profiles.

ZA=30º, obs. angle=50º

ZA=30º, obs. angle=15º

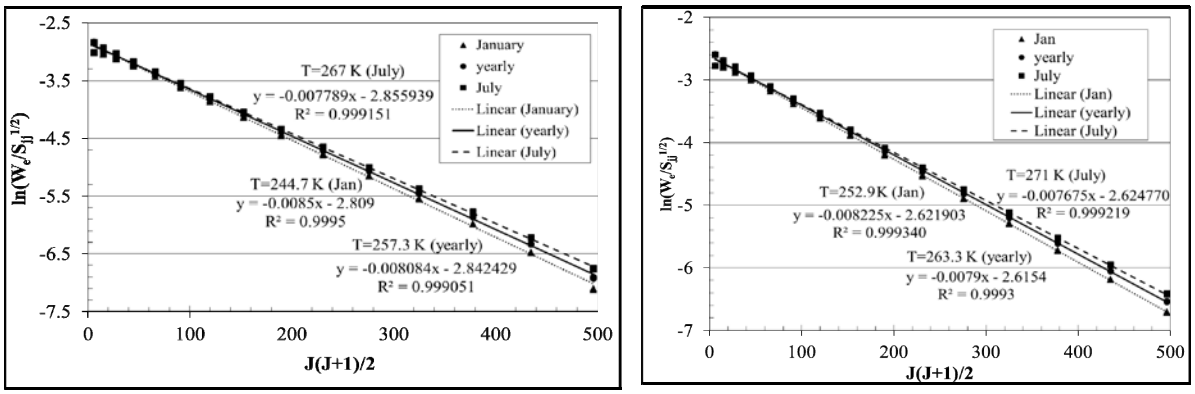



Fig. 7. Computed dependencies of $\boldsymbol{ln(W_e/S_{jj}^{1/2})}$ on $\boldsymbol{J(J+1)/2}$ at different observation angles for 3 cases: yearly mean, January and July data from U.S. Standard atmosphere 1976. The trend is linear, confirming the strong absorption. The corresponding temperatures are calculated.

The obtained temperatures by the January, July and yearly mean data are correct in regard to each other in reference to the used models.

These results confirm that the theoretically obtained extinction spectra and equivalent widths are of good accuracy and may be used to model real conditions and analyze atmosphere processes together with ground based extinction spectra measurements.

By the obtained temperatures, the corresponding standard atmosphere altitudes were determined. In Table 1 the results for the corresponding temperatures and standard atmosphere altitudes for the different models for some cases of absorption and extinction are presented. The effective temperatures and the corresponding heights are included as well.

Table 1. Temperatures and corresponding standard atmosphere altitudes, obtained by the We dependencies

| | Absorption, ZA=0° | Extinction, ZA=30°, OA=50° | Extinction, ZA=30°, OA=15° | |
|---|---|---|---|---|
| US Standard 1976 | T<br>H | T<br>H | T<br>H | $T_{eff}$<br>H |
| January | | 244.7 K<br>6 km | 252.9 K<br>4 km | 243.93 K<br>6 km |
| Yearly mean | 263.22 K<br>4 km | 257.3 K<br>5 km | 263.3 K<br>4 km | 250.27 K<br>6 km |
| July | | 267.0 K<br>5 km | 271.0 K<br>4.5 km | 258.33 K<br>6 km |

**Conclusions**

The optimal number of included transitions and the optimal values of the atmospheric layers thickness and of the atmospheric height were estimated.

The radiation extinction at different angles of observation and using different atmosphere model parameters was computed. The obtained differences were examined.

The profiles of the separate rotational lines were obtained and a way to calculate correctly the equivalent widths was found out.

The dependences assuming strong absorption were built for different models and different observation angles. The corresponding temperatures and atmospheric heights were obtained.

Based on the obtained results it can be concluded that the computation of the extinction spectra and the equivalent widths is accurate. Therefore such computations can be used to model real measurement conditions. By the use of theoretical estimates and spectroscopic measurements the corresponding atmospheric temperature could be evaluated.

**References:**


1. B u c h o l t z, A. et al., Planet. Space Sci., 34(11), 1031-1035, 1986.
2. M l y n c z a k, M. G., Geophys. Res. Lett., 20(14), 1439-1442, 1993.
3. W e r n e r, R., V. G u i n e v a, V. T s a n e v, D. D a n e v a, Modeling of the Atmospheric Absorption of the molecular oxygen, Proceedings of the 7th National Conference with International Participation “Contemporary problems of the Solar-Terrestrial Influences”, 55-58, 2000.
4. W e r n e r, R., V. G u i n e v a, V. T s a n e v, D. Daneva, Modelling the Atmospheric Absorption of the Molecular Oxygen, Comptes rendus de l’Academie bulgare des Sciences, 54(7), 7-12, 2001.
5. E. J. M c C a r t n e y, Optics of the Atmosphere, Scattering by Molecules and Particles, 1st ed. (Wiley, New York, 1976), Chap.4, 176-215.
6. F r ö h l l c h, C., G. E. S h a w, New determination of Rayleigh scattering in the terrestrial atmosphere, Appl. Optics, 19(11), 1773-1775, 1980.
7. B u c h o l t z, A., Rayleigh-scattering calculations for the terrestrial atmosphere, Appl. Optics, 34(15), 2765-2773, 1995.
8. G u l n e v a, V., R. W e r n e r, Method of determination of the solar radiation extinction by the oxygen molecules in the atmosphere, Proceedings of Eighth Scientific Conference with International Participation “Space, Ecology, Safety”. – 4-12 December 2012, Sofia, Bulgaria. 2013. ISSN 1313-3888, pp.
9. R o t h m a n, L. S., et al., J.Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 60(5), 665-710, 1998.

# АНАЛИЗ НА ПОЗНАВАЕМОСТТА НА ПРОГНОЗИТЕ ЗА КОСМИЧЕСКОТО ВРЕМЕ ПРЕЗ 2013 ГОДИНА

**Мария Димитрова, Мариана Захаринова, Румен Недков, Пламен Христов**

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

***Резюме:****В настоящата работа е направен анализ на достоверността на тридневните прогнози за космическото време, направени в ИКИТ-БАН от 1.1.2013 до 31.10.2013 година.*

*Сравнени са прогнозираните Ap индекси съответно за първи, втори и трети ден от периода с измерените такива и са изчислени коефициентите на корелация по месеци и средните такива за периода.*

*Отделно е направена статистика на познаваемостта на всеки един прогнозист от екипа.*

# ANALYZE OF THE COGNOSCIBILITY OF SPACE WEATHER FORECASTING DURING 2013

**Maria Dimitrova, Mariana Zaharinova, Roumen Nedkow, Plamen Hristov**

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

***Abstract:*** *In this paper we analyze the cognoscibility of Space weather forecasting maded in Space Research and Technology Institute during the first 10 months of 2013 year.*

*We made a comparison between Ap indexes predicted for first, second and third day with measured ones.*

*We analyze cognoscibility of Space weather forecasts of each one of team members.*

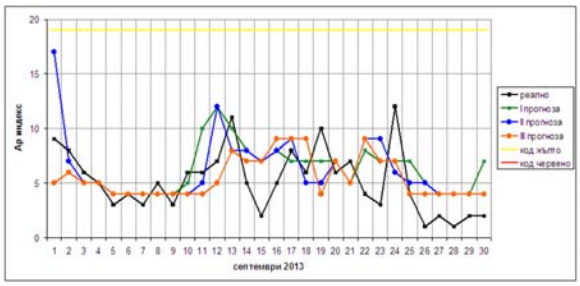
От началото на месец ноември 2011 година в ИКИТ се поддържа сайт за прогнозиране на космическото време - http://www.space.bas.bg/SpaceWeather (фиг. 1).



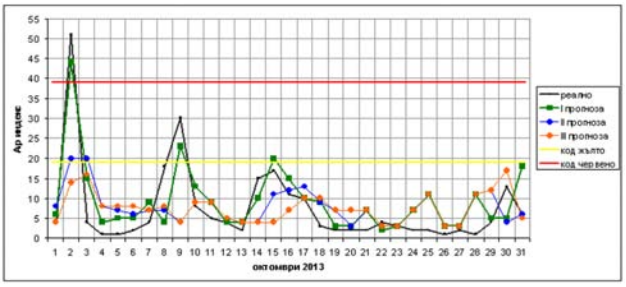

Фиг. 1

На сайта ежедневно се публикува тридневна прогноза за космическото време (1, 2).

В началото на всеки месец се публикува в табличен и графичен вид информация за измерените Ap и Kp индекси, както и сравнение на прогнозираните Ap индекси съответно за първи, втори и трети ден от периода с измерените такива (2, 3). На фигури 2 и 3 е показано графичното представяне на прогнозираните и измерени Ap индекси за месеците Септември и Октомври 2013 година.




Фиг. 2




Фиг. 3

Таблица 1

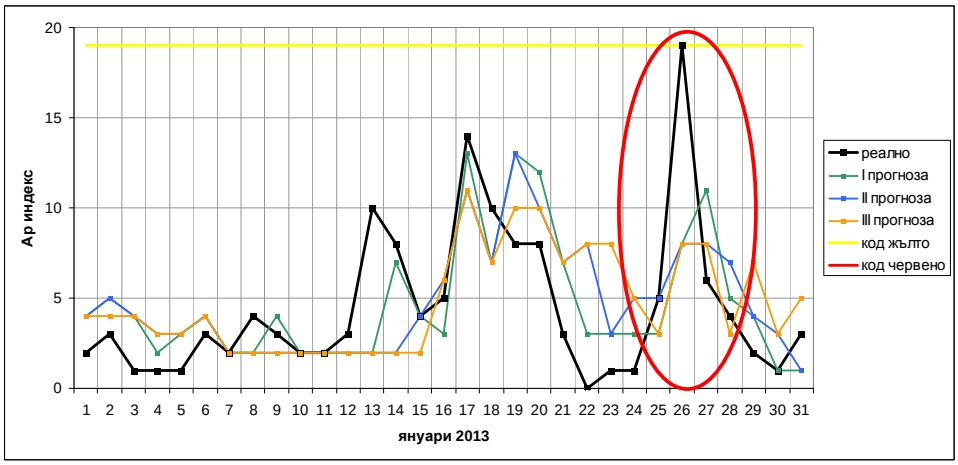
| година | месец | I прогноза | II прогноза | III прогноза |
|---|---|---|---|---|
| 2013 | 1 | 0.634665233 | 0.50789385 | 0.437005027 |
| 2013 | 2 | 0.101687085 | -0.1163441 | -0.13061578 |
| 2013 | 3 | 0.751778015 | 0.76758318 | 0.080494418 |
| 2013 | 4 | 0.59304459 | 0.40133229 | 0.403900109 |
| 2013 | 5 | 0.48076579 | 0.25841508 | -0.06604442 |
| 2013 | 6 | 0.801526565 | 0.62787148 | 0.779837529 |
| 2013 | 7 | 0.753659659 | 0.23751269 | 0.202060898 |
| 2013 | 8 | 0.620320051 | 0.05369808 | 0.092110176 |
| 2013 | 9 | 0.515293979 | 0.41216002 | 0.346193694 |
| 2013 | 10 | 0.839455589 | 0.38234956 | 0.206765731 |
| **За целия период** | | **0.714544** | **0.45957** | **0.263051** |

В таблица 1 са представени пресметнатите коефициенти на линейна корелация между прогнозираните стойности за съответния ден от периода и измерените такива по месеци, както и коефициентите на корелация за целия разглеждан период.

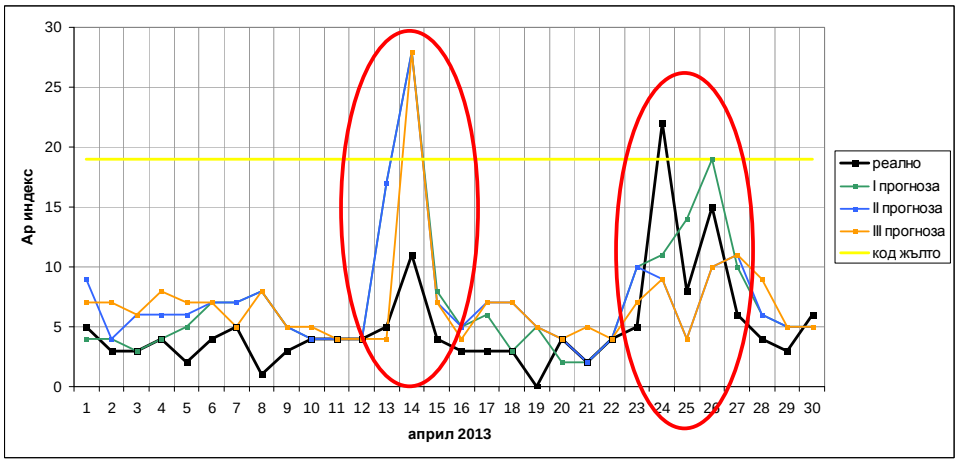
Както се вижда от таблицата, коефициентите на корелация през някои месеци не са добри. Особено ниски са стойностите през месеците Февруари и Май. През месец февруари наблюдаваната геомагнитна активност е много ниска. В този случай разликите между прогнозираните Ap индекси и измерените такива са сравними със самите Ap индекси. Прогнозите са напълно достоверни въпреки ниските изчислени коефициенти на корелация.

Не така стоят нещата, обаче, за месец Май 2013 година.

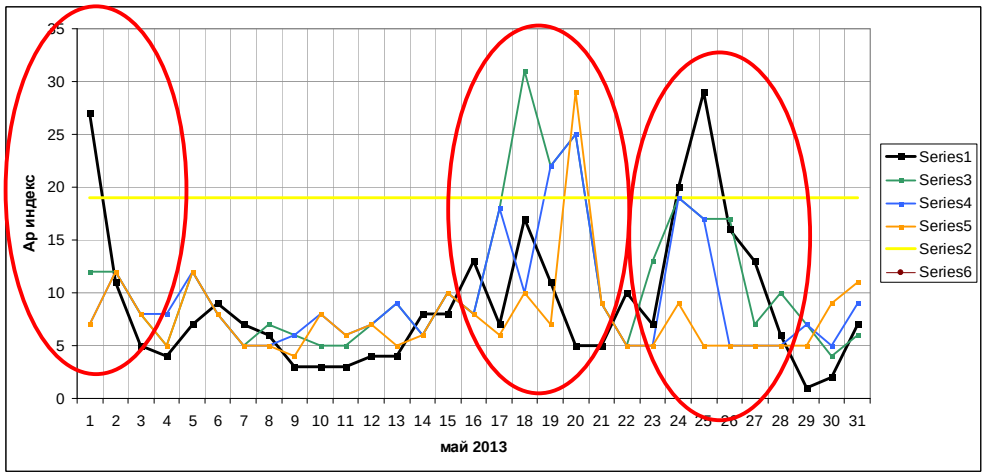
На следващите графики – фигури 4 – 7 са представени случаите със съществено отклонение на направените прогнозни стойности за Ap индекса с измерените реални значения.



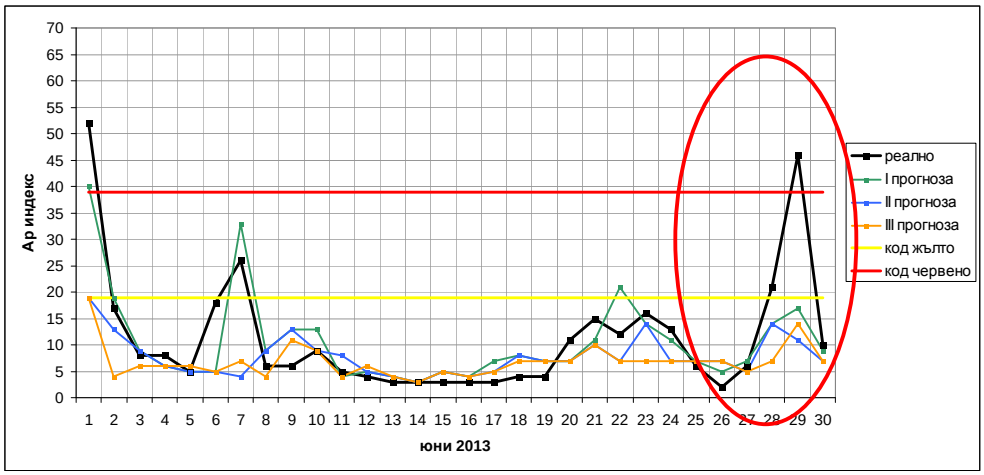

Фиг. 4. Отклонение на прогнозираните и измерени Ap индекси за м. Януари 2013




Фиг. 5. Отклонения на прогнозираните и измерени Ap индекси за м. Април 2013




Фиг. 6. Отклонения на прогнозираните и измерени Ap индекси за м. Май 2013




Фиг. 7. Отклонение на прогнозираните и измерени Ap индекси за м. Юни 2013

От началото на месец Юли до края на разглеждания период не се наблюдават случаи на съществени отклонения на прогнозираните и измерени Ap индекси.

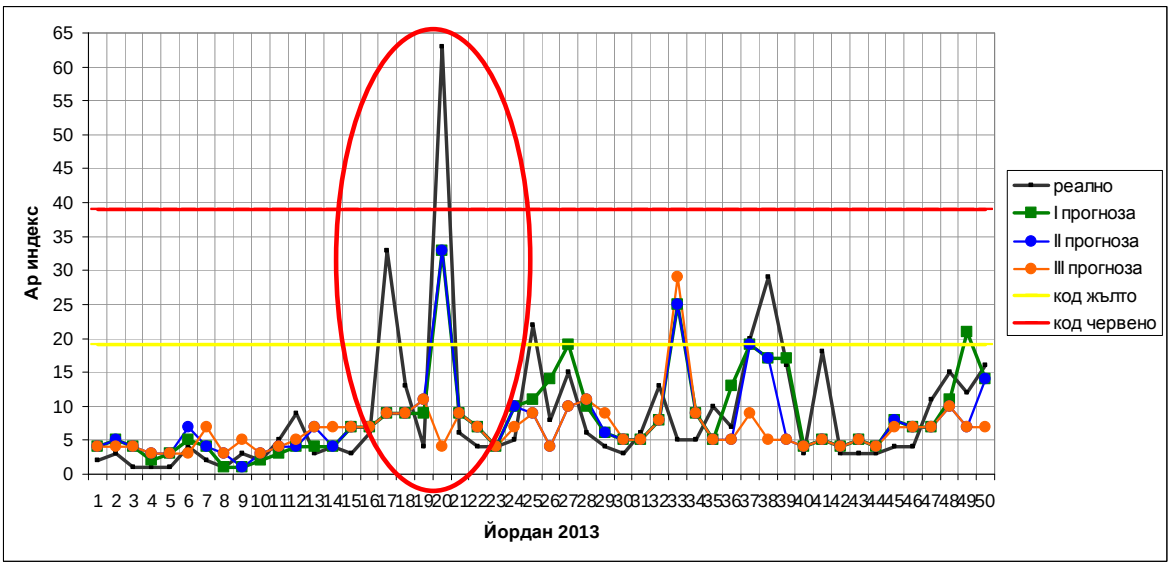
Както се вижда от фигурите, има два случая на предсказано смущение, каквото не е наблюдавано, четири случаи на смущения и два случая на слаба геомагнитна буря, които не са предвидени.

От общо 304 дни за разглеждания период, съществени отклонения в прогнозите са наблюдавани през 16, което означава, че ненадеждни прогнози са дадени само за около 5 % от случаите. За сравнение – през периода 11.2011 – 11.2012 (3), този процент е 18, което говори за подобряване на познаваемостта през разглеждания период.

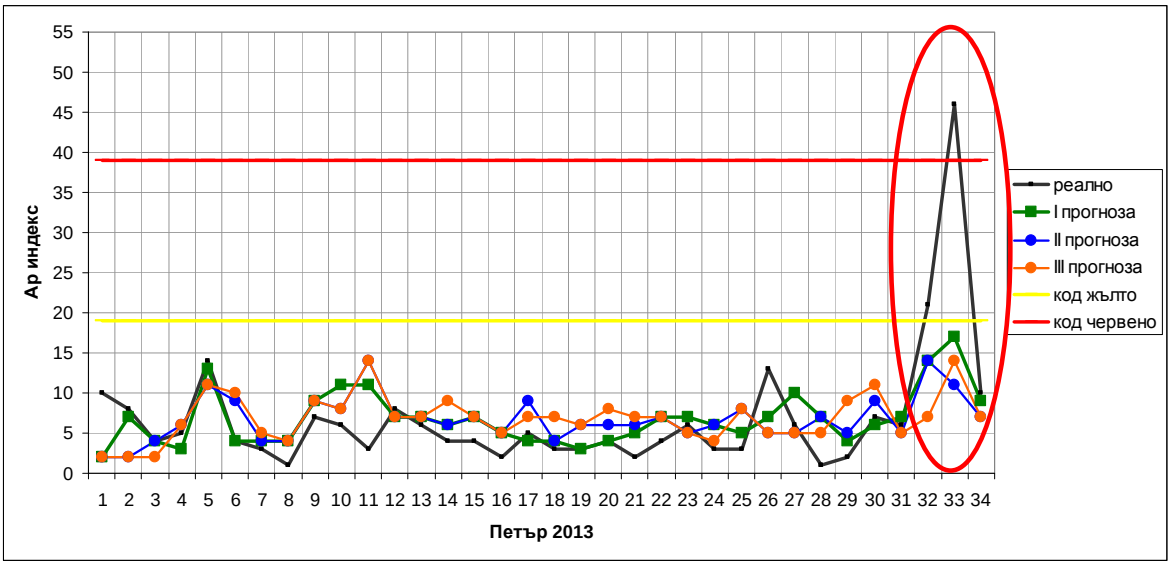
На фигури 8 до 11 са представени графично сравнения на прогнозираните от всеки един член на екипа стойности за Ap индекса, както и измерените му стойности за първите 6 месеца на 2013 година. В таблица 2 се представени коефициентите на корелация на същите.

Таблица 2

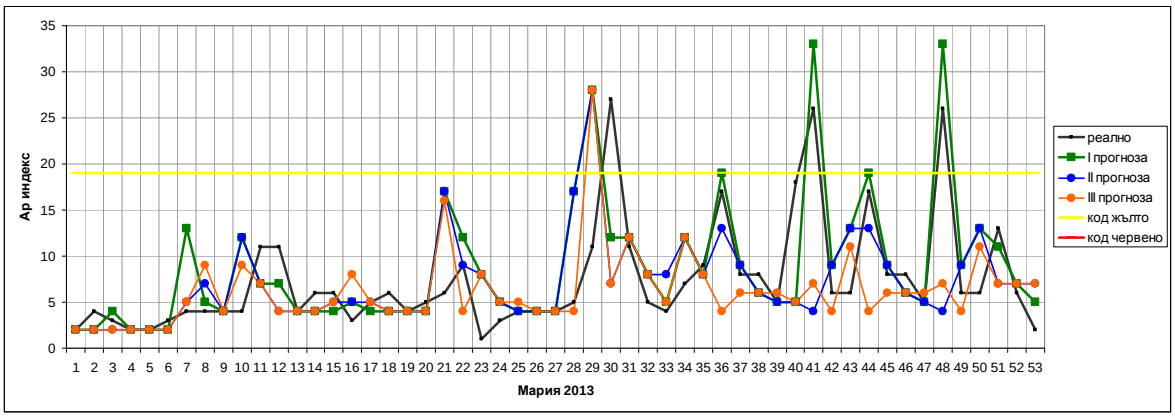
| **оператор** | **I прогноза** | **II прогноза** | **III прогноза** | **брой прогнози** |
|---|---|---|---|---|
| Йордан | 0.708888587 | 0.716085908 | 0.047874 | 50 |
| Петър | 0.721546862 | 0.406783956 | 0.38364 | 34 |
| Лъчезар | 0.679580346 | 0.879903879 | 0.866642 | 11 |
| Лъчезар Йордан | 0.807426742 | 0.561710558 | 0.535327 | 26 |
| Мария | 0.701560965 | 0.161438433 | 0.163251 | 53 |



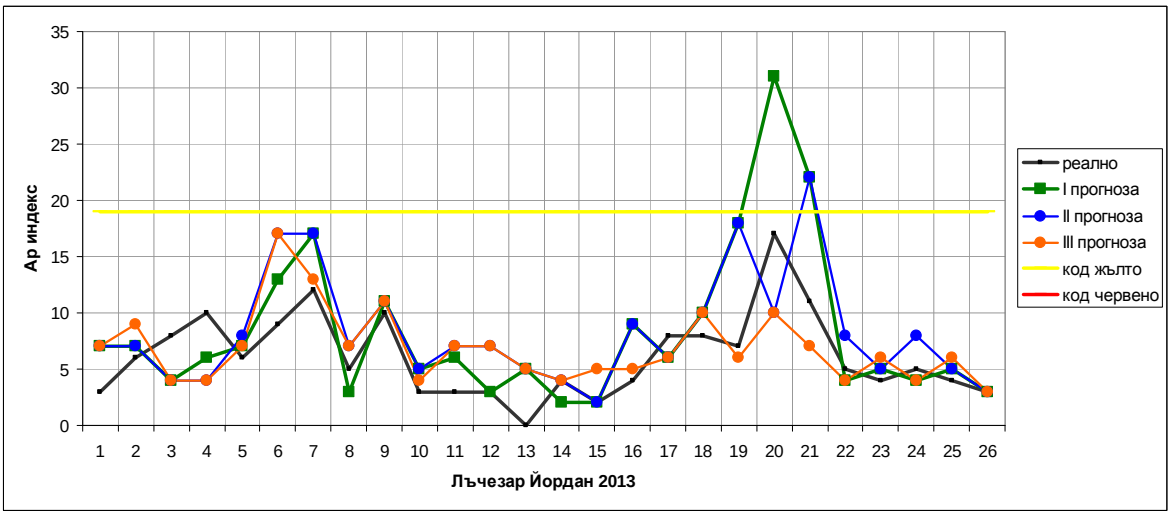

Фиг. 8. Сравнение на прогнозираните и измерени Ap индекси от Йордан Тасев



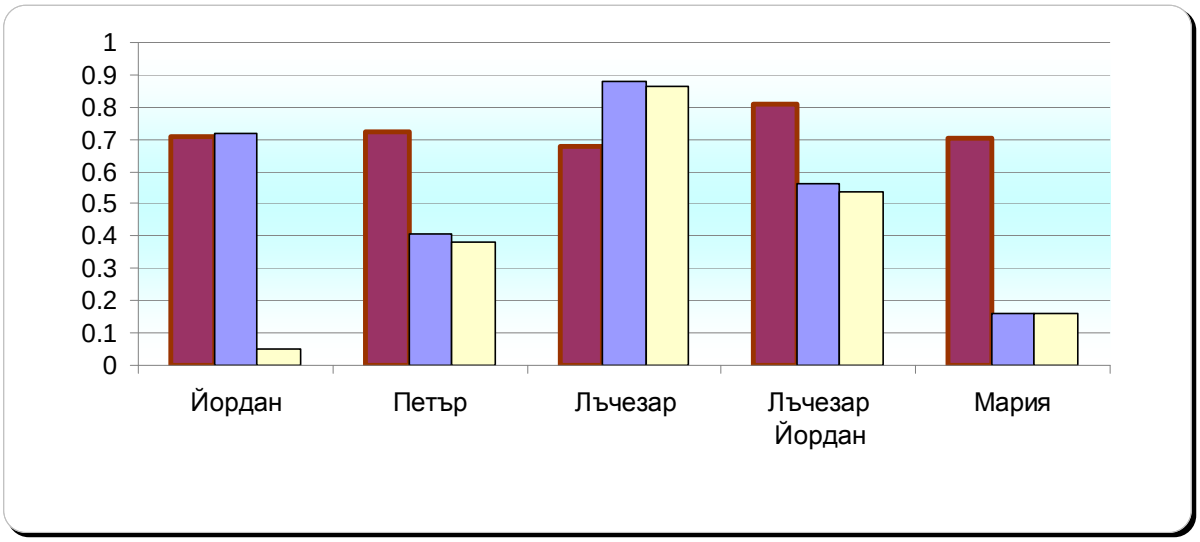

Фиг. 9. Сравнение на прогнозираните и измерени Ар индекси от Петър Тонев




Фиг. 10. Сравнение на прогнозираните и измерени Ар индекси от Мария Димитрова




Фиг. 11. Сравнение на прогнозираните и измерени Ар индекси от екипа Лъчезар Матеев и Йордан Тасев




Фиг. 12. Коефициенти на корелация за отделните оператори

**Литература:**

1. Web-сайт на центъра за прогнозиране на космическото време и климат http://www.space.bas.bg/SpaceWeather/index.html
2. Димитрова, М., С. Асеновски, П. Велинов, М. Захаринова, Л. Матеев, Р. Недков, Й. Тасев, П. Тонев, П. Тренчев; Анализ на информацията, публикувана в WEB-страницата на Центъра За Прогнози На Космическото Време И Космическия Климат при ИКИТ БАН и неговото бъдещо развитие; SES 2012, Eighth Scientific Conference with International Participation, SPACE, ECOLOGY, SAFETY, 4 – 6 December 2012, Sofia, Bulgaria, 2013, 142.
3. Тасев, Й., А. Абунин, М. Абунина, С. Асеновски, П. Велинов, С. Гайдаш, М. Димитрова, М. Захаринова, Л. Матеев, П. Тонев, Сравнителен анализ на прогнозите направени през 2011-2012 от Центъра за прогнози на космическото време и космическия климат към ИКИТ БАН, SES 2012, Eighth Scientific Conference with International Participation, SPACE, ECOLOGY, SAFETY, 4 – 6 December 2012, Sofia, Bulgaria, 2013, 148.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ВЛИЯНИЕ НА КОСМИЧЕСКОТО ВРЕМЕ ВЪРХУ КАЧЕСТВОТО НА ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННИТЕ УСЛУГИ

**Мария Димитрова[1], Биляна Велчева[2], Деян Гочев[1]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2]Технически университет – София*
*e-mail: maria@space.bas.bg, biliv91@gmail.com, dejan@space.bas.bg*

***Резюме:*** *В съвременното общество сателитната комуникация играе все по-голяма и съществена роля както в работата, така и в бита на хората. За качествена сателитна комуникация е необходимо свеждането до минимум на смущенията в радио разпространението.*

*Смущенията в геомагнитното поле, предизвикани от слънчевата активност – т.н. космическо време оказва съществено влияние върху разпространението на електромагнитните вълни в атмосферата.*

*Цел на настоящата работа е да насочи вниманието към значението на прогнозирането на космическото време за предвиждане и намаляване на сривовете в сателитните комуникации.*

# THE INFLUENCE OF SPACE WEATHER ON THE QUALITY OF TELECOMMUNICATION SERVICES

**Maria Dimitrova[1], Bilyana. Velcheva[2], Dejan Gochev[1]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Technical University – Sofia*
*e-mail: maria@space.bas.bg, biliv91@gmail.com, dejan@space.bas.bg*

***Abstract:*** *In the modern society the satellite communications play increasingly larger role in work as well as in people's everyday life. For quality satellite communication is necessary to have as little as possible interruptions in the broadcasting.*

*The interruptions in the geomagnetic field, caused by the solar activity – the so called space weather causes significant influence in the propagation of electromagnetic waves in the atmosphere.*

*Our goal is to get your attention on the significance of forecasting of the space weather for prediction and decreasing of the disruptions in the satellite communications.*

Спътниковите системи се използват за комуникационни цели от средата на 60-те години на миналия век. Развитието им доведе до появата на нови поколения от услуги, достъпни за обществения и частния сектор. Мобилните спътникови услуги, подобно на наземните клетъчни системи, започват дейността си от 80-те години с обслужване на мобилния морски пазарен сегмент. В последствие въздушните, наземно мобилните и персоналните спътникови комуникации също претърпяват своето развитие.

Исторически първият глобален оператор на мобилни спътникови услуги, използвани и за отбранителни цели, е Inmarsat. За целта операторът използва 4 GEO спътника, като за период от около 20 години услугите са еволюирали от аналогов телефон за морски приложения с цена от порядъка на 50 хил. долара до широколентови услуги GPRS със скорост от 144 Kbps от типа на BGAN (Broadband Global Area Network), осъществявани от портативни терминали с тегло под 1 Kg. (1, 2).

Сателитните комуникации се използват във все повече и повече областти на бита и техниката.

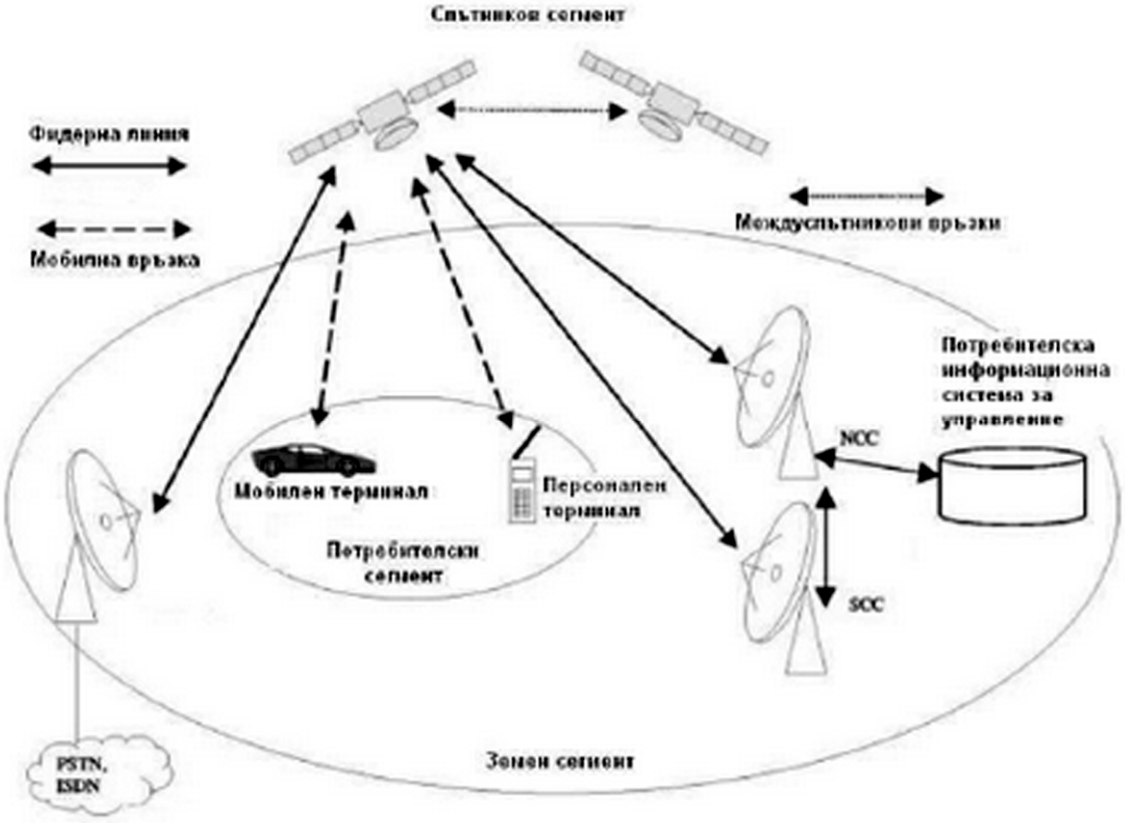
Радио и телевизионните предавания достигат до домовете ни посредством сателитни излъчвания.

Мобилните комуникации в много отдалечени и в някои не толкова отдалечени части на света разчитат почти изключително на сателитното радиоразпространение.

Международните конферентни разговори, телемостове и др. са невъзможни без сателитна връзка

Много вестници излизат едновременно в различни части на света, като се отпечатват на място, но съдържанието им се предава от единен център през сателит

В много страни и отдалечени региони на останалите достъпът до интернет се извършва посредством сателитни връзки (3).




Комуникационните спътници се категоризират главно по типа на използваните орбити. Съществуват основно 4 типа орбити за комуникационни цели:

геостационарна орбита (GEO - 35786 km над Земната повърхност);

висока елиптична орбита (quasi GEO или HEO - над 35786 km над Земната повърхност);

ниска земна орбита (LEO 200 – 1200 km над Земната повърхност );

средна земна орбита (MEO - 1200 – 35286 km над Земната повърхност).

Доскоро основно GEO орбитата се използваше за осигуряване на комуникационни услуги, т.к. те осигуряват постоянно по площ и ъгъл покритие във всеки един момент, което улеснява връзката с тях..

С развитието на технологиите стана възможно спътниковите потребителските терминали да намалеят до размерите на джобните терминали на наземните клетъчни системи. На пазара се появиха двумодови терминали, съвместими с наземните и спътниковите персонални комуникационни мрежи. Това стана възможно благодарение на развитието на спътниковите персонални комуникационни услуги (S-PCS), използващи не геостационарни спътници на LEO орбити на височини от 750 до 2000 km над земната повърхност (1).

Качеството на връзката, осъществявана посредством сателит освен от техническите характеристики на апаратурата, съществено зависи от нличието на атмосферни радиосмущения.

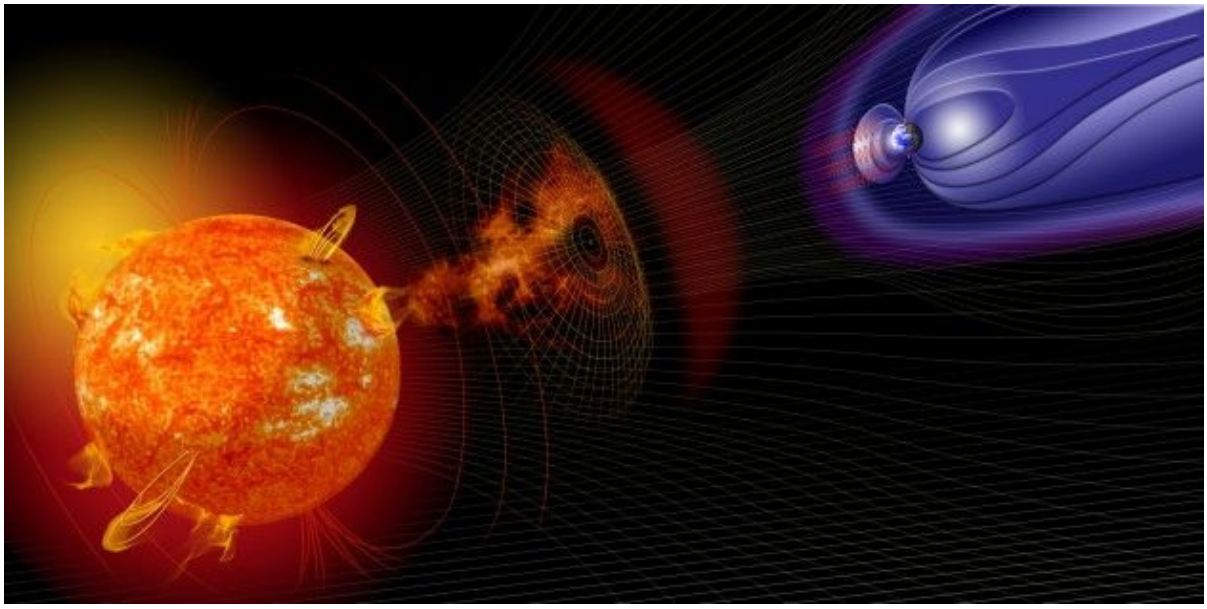
Един непредвидим източник на смущения в радио разпространението се обуславя от промяната на земното магнитно поле и наличието на йоносферни токове. Земното магнитно поле се простира до около 58 000 км над земната повърхност и на практика предпазва всички комуникационни сателити от влиянието на междузвездното пространство. То, обаче, е силно

повлияно от потока слънчев вятър – космическа плазма, носеща със себе си магнитни силови линии.




Като всяка една звезда, Слънцето е в непрекъснато активно състояние. Потокът слънчев вятър, насочен към Земята силно променя скоростта, плътността и температурата си. Наблюдават се и потоци високо енергетични протони, насочени към земята.

Едно усилване на слънчевия вятър – т.н. геомагнитна буря - води до огъване на Земното магнитно поле и промяна на силата и посоката му в близост до земната повърхност. От друга страна се пораждат на хаотични йоносферни токове, йоносферата служи за отражател на високите честоти при далечните комуникации. Всичко това води до появата на значителни смущения в радио разпространението.



По-силна геомагнитна буря може да доведе не само до радиосмущения, но и до повреда в електронната апаратура на сателита.

Учени от Масачузетския технологичен институт (MIT) заявяват, че повечето от 26-те повреди на осем геостационарни спътници през последните 16 години се дължат на влиянието на космическите метеорологични условия (5).

Високо енергийните електрони от слънчевите бури се акумулират по корпусите на сателитите с времето, създавайки вътрешни заряди, които повреждат усилвателите в спътниците, а те отговарят за усилването и препращането на сигнала към Земята.

Потребителите започват да искат все повече възможности, Те искат да пуснат поточно видео. Искат да общуват по-бързо и с по-висока пропусквателна способност. Така че схемите се променят, заедно с уязвимостите към космическото време и радиацията, като това се превръща във все по-сериозен проблем

Сателитите са проектирани да издържат на космическа радиация. Въпреки това от MIT отбелязват, че радиационните нива могат да варират в широки граници и че няма непрекъсната комуникация между създателите на сателитите, техните собственици и специалистите, изследващи и прогнозиращи космическото време (5).

Всяка проява на слънчева активност, дори и насочена към Земята, за да окаже влияние върху Земното магнитно поле следва първо да достигне до него. При голямата полуос на земната орбита равна на 149 597 887,5 km, ускорен поток от слънчев вятър с изключително висока средна скорост от 1 000 км/с ще достигне по права линия Земята за 1,75 денонощия. На практика, поради околоосното въртене на Слънцето и движението на Земята по нейната орбита, потокът се движи по спирала, като междувременно забавя и скоростта си. В резултат, реалното време за достигане на смущението е не по-малко от 2,5 – 3 дни.

Това дава достатъчно време за реакция на собствениците на телекомуникационни сателити да вземат съответните мерки за предпазване на апаратурата си и при възможност - осигуряване на информационния поток към потребителите по други канали.

**Заключение**

По-доброто познаване на ефектите от времето в Космоса върху сателитите е нужно не само за намиращите сега в орбита около Земята сателити, а и за следващото поколение комуникационни спътници.

С цел намаляване на материалните и информационни загуби, следва сателитните телекомуникации да вземат под внимание поне краткотрайните прогнози за космическото време, каквито се изготвят както в ИКИТ-БАН, така и в други световно признати научни центрова като NOAA (6), например.

Ако се вземат предвид краткотрайните прогнози за космическото време, които са с висока степен на надеждност, поне в рамките на първите 3 дни (4), могат да се предвидят алтернативни канали за връзка при по-слаби бури, а при по-силни геомагнитни бури – апаратурата на сателитите да бъде изключвана с цел предпазване от повреди.

**Литература:**


1. Спътниковите комуникации – тенденции и приложения, Доц. д-р Веселин Демирев ТУ- София, 2006, http://cio.bg/1006_spatnikovite_komunikacii__tendencii_i_prilozheniya
2. Мобилни и персонални спътникови комуникации, Веселин Демирев, 2010, Издателство на Техническия Университет София
3. Telecommunications satellites, ESA, http://www.esa.int/Our_Activities/Telecommunications_Integrated_Applications/Telecommunications_satellites
4. Анализ на информацията, публикувана в web-страницата на Центъра за прогнози на космическото време и космическия климат при ИКИТ-БАН и неговото бъдещо развитие, Мария Димитрова, Симеон Асеновски, Петър Велинов, Мариана Захаринова, Лъчезар Матеев, Румен Недков, Йордан Тасев, Петър , SES 2012 , 2013 , 142, http://www.space.bas.bg/SES2012/Ph-19.pdf
5. Космически бури повреждат сателити, причинявайки затруднения в Интернет и ТВ услугитемм *Computerworld,* Уитни Лоумейер, *САЩ, 9, 2013,* http://computerworld.bg/44555_kosmicheski_buri_povrezhdat_sateliti_prichinyavajki_zatrudneniya_v_internet_i_tv_uslugite/
6. NOAA Space Weather Prediction Center, http://www.swpc.noaa.gov/today.html

# ФИЗИЧЕСКО ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НА ПРОМЕНЛИВО ГЕОМАГНИТНО ПОЛЕ С РАДИОВЪЛНИТЕ – ЕФЕКТИ ВЪРХУ КОМУНИКАЦИИТЕ

**Мария Димитрова[1], Биляна Велчева[2], Деян Гочев[1], Пламен Тренчев[1]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2]Технически университет – София*
*e-mail: maria@space.bas.bg, : biliv91@gmail.com, dejan@space.bas.bg ptrenchev@space.bas.bg*

***Резюме:*** *В настоящата работа са разгледани физическите ефекти от промените в геомагнитното поле, предизвикани от слънчевата активност, върху разпространението на радиовълни в различни честотни диапазони.*

*Дискутирани са физичните процеси на разпространение на радиовълните в земната атмосферата от една страна, различните прояви на слънчевата активност от друга и резултатът от взаимодействието им върху комуникациите.*

# PHYSICAL INTERACTION BETWEEN GEOMAGNETIC FIELD VARIATIONS AND RADIO-WAVE PROPAGATION – INFLUENCE ON THE COMMUNICATION

**Maria Dimitrova[1], Bilyana Velcheva[2], Dejan Gochev[1], Plamen Trenchev[1]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Technical University – Sofia*
*e-mail: maria@space.bas.bg, biliv91@gmail.com, dejan@space.bas.bg ptrenchev@space.bas.bg*

***Abstract:*** *In this work we discuss physical effects of geomagnetic field variations caused by solar activities over radio-wave propagation in different frequencies.*

*We describe first physical processes of wave propagation in Earth atmosphere, second – solar activity of different kinds and results of their interaction over communications.*

## Въведение

Основно средство за комуникация в съвременния живот е директното или сателитното радио разпространение в различните честотни диапазони.

При осъществяването му, освен апаратурната част, както при всеки физически процес, основна роля играе средата на разпространение. В случая това е земната атмосфера, съпътствана от геомагнитното поле.

Както атмосферата, така и магнитното поле на Земята не са хомогенни, а се променят във височина, географско положение, денонощно и случайно – под действие на външни фактори, а по-конкретно – в следствие на различните прояви на слънчевата активност.

Постоянните фактори се отчитат сравнително лесно, но влиянието на случайните вариации на геомагнитното поле и дифузните йоносферни електрически токове не могат да бъдат точно моделирани. Единственото, което може да се направи е тяхната природа, пространствени и временни характеристики да бъдат добре изучени и – въз основа на прогнозите за космическото време – ефектите от тях да бъдат качествено оценени и по възможност – компенсирани.

## Честотни диапазони и практическото им приложение

В зависимост от честотата си (респективно – дължината на вълната), радиовълните се разделят на следните диапазпни (Табл. 1) [1]

Таблица 1

| Честотна лента | Честотен диапазон | Вълнов диапазон | Дължина на вълната |
|---|---|---|---|
| 3–30 КХц | Много ниски честоти (МНЧ) | Милиметров | 100–10 км |
| 30–300 КХц | Ниски честоти (НЧ) | Километров | 10–1 км |
| 300–3000 КХц | Средни честоти (СЧ) | Хектометров | 1–0.1 км |
| 3–30 МХц | Високи честоти (ВЧ) | Декаметров | 100–10 м |
| 30–300 МХц | Много високи честоти (МВЧ) | Метров | 10–1 м |
| 300–3000 МХц | Ултра високи честоти (УВЧ) | Дециметров | 1–0.1 м |
| 3–30 ГХц | Свръхвисоки честоти (СВЧ) | Сантиметров | 10–1 см |
| 30–300 ГХц | Крайно високи честоти (КВЧ) | Милиметров | 10–1 мм |
| 300–3000 ГХц | Хипервисоки честоти (ХВЧ) | Децимилиметров | 1–0.1 мм |

Радиовълните с различна честота се разпространяват до различни максимални разстояния и съответно намират различно практическо приложение.

Електромагнитните вълни с голяма дължина на вълната (МНЧ и НЧ) имат свойството да дифрактират около наземните препятствия (сгради, планини и др,) и могат да се разпространяват на големи разстояния в приземния слой – до няколко хиляди километра, при което сигнала затихва бавно и плавно.

Средните вълни се разпространяват на големи разстояния благодарение на дифракция по земната повърхност, а нощем се отразяват и в йоносферата.

Късите вълни се разпространяват на големи разстояния основно нощем, благодарение на отразяването си в горните слоеве на йоносферата. Това са диапазоните от 20 до 30 MHz. Това позволява късите вълни (високо и свръхвисоко честотни диапазони) да се използват за предаванията на международни радиостанции. Сигнали с по-висока честота (около и над 100 MHz) могат само в редки случаи, поради промени в йоносферата да бъдат отразени от нея [2].

УКВ вълните се разпространяват до границата на пряката видимост и не се отразяват в атмосферата. Това позволява качествено излъчване на радиосигнал за ограничена територия.

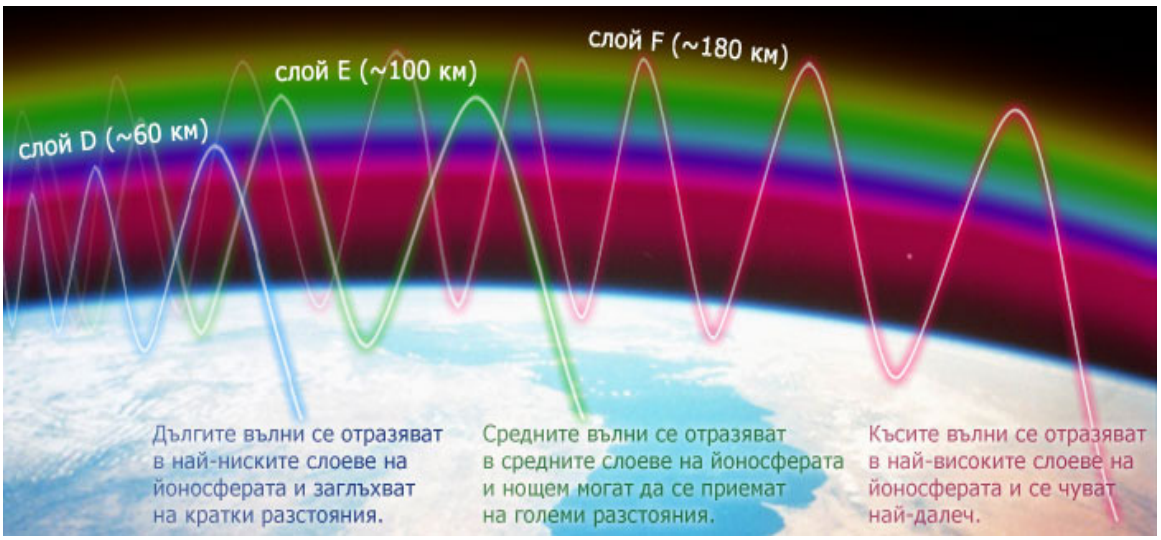
Свръх късите вълни - C-band (3-7 GHz), Ku-Band (11-15 GHz) и Ka-Band (18-40 GHz) са сектори от електромагнитния спектър в обхвата на свръх късите вълни, които се използват основно за сателитни радио- и телевизионни предавания от телекомуникационни спътници в околоземна орбита.

Използването на различните честотни диапазони 9 kHz-275 GHz се регулира от Международния съюз по телекомуникациите към ООН (International Telecommunication Union – ITU) [1, 2].

**Взаимодействие на радиовълните с йоносферата и нейните промени**

В горните слоеве на атмосферата действието на слънчевите ултравиолетови лъчи формира плътен пояс от йони, наречен йоносфера. Той започва на около 50 км. от земната повърхност и свършва на около 500 км от нея [1, 2, 3].

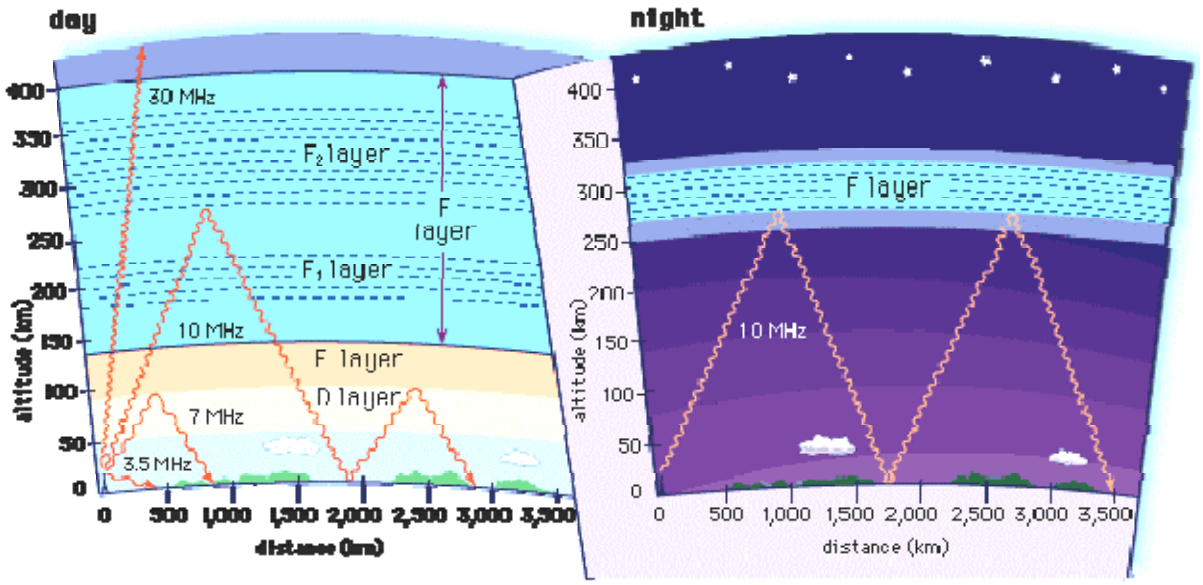
Йоносферата упражнява голямо внимание върху разпространението на електромагнитните вълни. Част от излъчената енергия от предавател към йоносферата е погълнатата от йонизирания въздух и друга е пречупена или пренасочена отново към повърхността на Земята. Този последен ефект позволява приемането на радиосигнали на разстояния много по-големи отколкото би било възможно с вълни, които пътуват по земната повърхност (фиг.1).




Фиг. 1

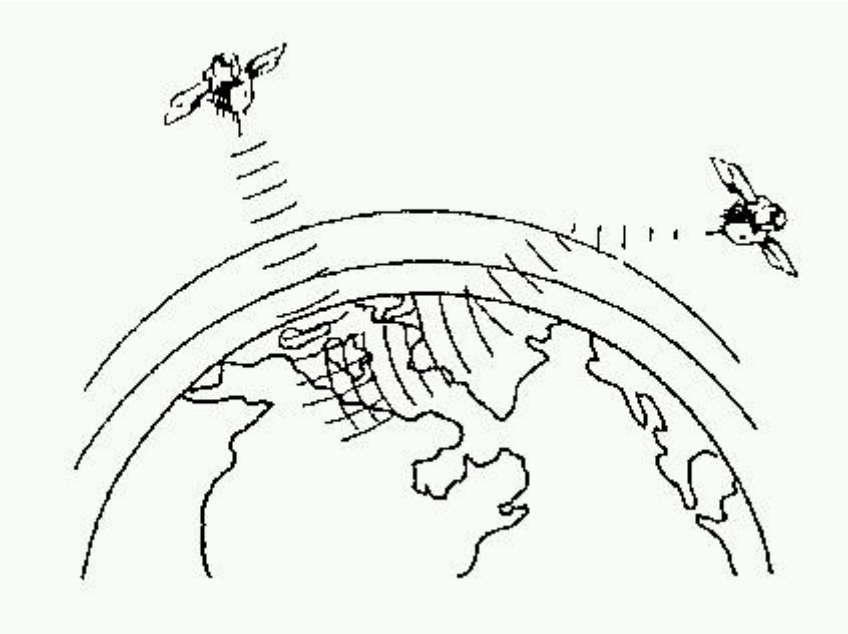
Йоносферата съдържа големи слоеве, означени с буквите D, E, F1 и F2, които имат голямо значение за радио предаванията, защото отразяват късите вълни и следователно могат да позволят връзките от един континент към друг.

Слой F се издига през нощта, следователно се сменят свойствата му на отражение (фиг. 2).




Фиг. 2

Йоносферата може да се разглежда като плазма, взаимодействаща си е електромагнитните вълни, разпространяващи се през нея. При честоти под определена граница, която зависи от електронната плътност на средата – наречена плазмена честота, електромагнитните вълни се отразяват от плазмата. Сигналите с по-високи честоти (обикновено над 30 MHz) преминават през нея и затова са подходящи за разпространение през сателит. Те, обаче, също взаимодействат с плазмата йато изкривяват траекторията си (фиг.3) [3]



Фиг. 3

Както споменахме, образуването и поддържането на йоносферната йонизация на дадено ниво се дължи на потока ултравиолетово лъчение от Слънцето.. Този поток се формира в областите около слънчевите петна. Промените в броя и размера на петната, съответно, водят до промяна в потока ултравиолетови лъчи от страна на слънцето, а оттам водят и до промяна в свойствата на йоносферата – нейната отражателна способност (в това число и максималната честота на отразяване) към електромагнитните вълни.

Основните явления, които съпътстват вариациите във физическите параметри на йоносферата, касаещи радио разпространението са [3, 4, 5]:

- поглъщане
- разсейване
- пречупване (рефракция)
- сцинтилация
- Фарадеево въртене (на ъгъла на поляризация)
- Промяна на скоростта

Редица явления на Слънцето водят до промяна на параметрите на йоносферата. Такива са:

- короналните изхвърляния на маса
- слънчеви изригвания
- коронални дупки
- разкъсвания на влакна
- радио- и рентгенови избухвания и др.

Слънчевите изригвания се съпътстват от потоци рентгенови лъчи, които повишават йонизацията в D слоя на йоносферата. Това е благоприятно за разпространението на дългите вълни. Средните и къси вълни, обаче, преминават през този слой два пъти при отражението си съответно от E и F слоевете. При повишаване на йонизацията му абсорбирането на тези сигнали силно нараства, което води до силно им затихване. Тези изригвания обикновено са краткотрайни, но могат да продължат и до неколко часа.

Йоносферата е неоднородна среда. При отражение в такава област се получават изкривявания или затихвания и затихвания. При преминаване на сигнал се наблюдава ефект на сцинтилация – силни вариации в силата на сигнала, както и до появата на нискочестотен шум.

В географско отношение, малки нееднородности има основно в полярните области и около магнитния екватор.

Под влияние на слънчеви изригвания се появяват нееднородности с различен мащаб във всяка една област на йоносферата.

Изкривяването на траекторията на преминаващите сигнали, насочени към и от сателитите в този случай е различно в различните област и силно пречи на радарното определяне на положението.

При преминаване на поляризирана светлина през магнитно поле се получава промяна на ъгъла на поляризация – Фарадеево въртене, който силно зависи от силата на магнитното поле, степента на йонизация и квадрата от честотата на електромагнитната вълна.

При промяна на параметрите на геомагнитното поле под влияние на слънчевата активност – това завъртане на ъгъла на поляризация силно се изменя както във времето, така и в пространството. Една геомагнитна буря може да продължи няколко дни, като различните области на Земята са засегнати в различна степен и по различно време.

Редица явления, проява на слънчевата активност, водят до повишаване на потока високоенергетични протони към Земята. Този поток се мени в големи граници и повишаването му трае до няколко дни.

Вариациите в протонния поток естествено водят до промяна в йонизационната плътност и височината на йоносферата, а оттам – и върху характеристиките й, влияещи на радио разпространението.

**Заключение**

Проявите на слънчева активност силно променят параметрите на йоносферата, които влияят чувствително върху пропускането, абсорбирането или отражението на радиовълни от нея.

Вариациите на слънчевата активност имат широк времеви, пространствен и енергетичен диапазон, откъдето и влиянието им е много различно.

Проявите на слънчевата активност могат да бъдат предсказвани с добра точност поне в глобален мащаб и следва тези прогнози да се взимат под внимание от собствениците и ползващите със стопанска цел комуникационни канали.

**Литература:**


1. The impact of space weather on communication, Yurdanur K. Tulunay, Peter A. Bradley, Annals of geophysics, supplement to v. 47, N 2/3, 2004, 929
2. Как се разпространяват радиовълните, http://www.predavatel.com/bg/spravochnik/waves
3. Space weather support for communications, http://www.fas.org/spp/military/docops/usaf/2020/app-g.htm
4. Communications and Space Weather, Richard Thompson, Australian Government, Bureau of Meteorology, Radio ans Space Weather Services**,** http://www.ips.gov.au/Educational/1/3/4
5. Satellite Communications and Space Weather, John Kennewell and Andrew McDonald, Australian Government, Bureau of Meteorology, Radio and Space Weather Services, http://www.ips.gov.au/Educational/1/3/2

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ТЕОРЕМА ЗА РЕЗОНАНСНИЯ ХАМИЛТОНИАН НА НЕАВТОНОМНА КОЛЕБАТЕЛНА СИСТЕМА

**Костадин Шейретски[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@space.bas.bg*

***Ключови думи:*** *нелинейна динамика, Хамилтонови системи*

***Резюме:*** *Разгледана е неавтономна динамична система често срещана при движението на спътник около центъра на масата. Изведен е резонансният хамилтониан в променливи действие ъгъл. Определени са условията за устойчивост на стационарните точки.*

# A THEOREM ON RESONANT HAMILTONIAN OF NONAUTONOMOUS OSCILATING SYSTEM

**Kostadin Sheyretski[1], Rumen Shkevov[2], Nikolay Erokhin[3]**

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

***Keywords:*** *Nonlinear dynamics, Hamiltonian systems*

***Abstract:*** *A frequently occurred in satellite movement around center of mass nonautonomous dynamic system is considered. The resonant Hamiltonian in action – angle variables is derived. The stability conditions of stationary points are determined.*

### Постановка на математическия проблем

Разглеждаме неавтономна динамична система, която се среща в небесната механика при анализ на движението на спътник около центърана масата му [1]. Математическите изводи ще се направят без да се отчита конкретната физическа природа на моделираният обект. Изследвания хамилтониан е от вида:

$$H = \frac{\overline{p}^2}{2} - \omega_0{}^2 \cos\overline{q} - \tilde{\varepsilon} F_1 \cos\left(k_1\overline{q} - \Omega_1 t\right);\ 0 < \tilde{\varepsilon} << 1, \quad (1)$$

където $\omega_0$, $k_1, \Omega_1$, и $F_1$ са реални параметри, $\overline{p}$ и $\overline{q}$ са съответно импулса и координатата на системата.

Първите два члена на (1) съвпадат с хамилтониана на махалото, последния член разглеждаме като смущение.

Поставяме задача да се изследват *основните и вторичните резонанси на неавтономната динамична система.*

### Канонични трансформации на хамилтониана

Първоначално ще преобразуваме несмутения хамилтониан чрез канонична замяна на променливите [2]. Разлагаме косинуса в ред на Тейлър и се ограничаваме с първите три члена

(2) $$H_0 = \frac{\overline{p}^2}{2} + \frac{{\omega_0}^2 \overline{q}^2}{2} - \frac{{\omega_0}^2 \overline{q}^4}{4!} + \frac{{\omega_0}^2 \overline{q}^6}{6!} - \ldots .$$

Въвеждат се новите канонични променливи действие и ъгъл, посредством формулите

(3) $$\overline{q} = \sqrt{\frac{2J}{\omega_0}} \sin\hat{\theta},$$

$$\overline{p} = \sqrt{2J\omega_0} \cos\hat{\theta}.$$

Замествайки (3) в израза за хамелтониана (2) и получаваме като резултат

(4) $$H_0 = \omega_0 J - \frac{J^2}{6}\sin^4\hat{\theta} + \frac{J^3}{90\omega_0}\sin^6\hat{\theta} - \ldots$$

Първият член съответства на квадратичната част на първоначалния хамелтониан (2), него разглеждаме в качеството на несмутена динамична система

(5) $$H_{00} = \omega_0 J,$$

останалата част разглеждаме като смущение

(6) $$\tilde{\varepsilon} H_{01} = -\frac{J^2}{16}\sin^4\hat{\theta} + \frac{J^3}{90\omega_0}\sin^6\hat{\theta}.$$

Следваме метода на Поанкаре [3] и търсим такова канонично преобразование $J, \hat{\theta} \to \overline{J}, \overline{\theta}$, че в новите променливи, новополученият хамилтониан да е функция само на променливата действие. Избира се производяща функция

(7) $$\tilde{F} = \tilde{F}\left(\overline{J}, \hat{\theta}\right),$$

понеже преобразуването е канонично, изпълнени са следните отношения

(8) $$\frac{\partial \tilde{F}}{\partial \hat{\theta}} = J, \quad \frac{\partial \tilde{F}}{\partial \overline{J}} = \overline{\theta}.$$

Разлагаме производящата функция в ред

(9) $$\tilde{F} = \overline{J}\hat{\theta} + \tilde{F}'$$

Като използваме съотношенията, намираме връзката между старите и новите променливи, като се ограничаваме до първа степен на $\tilde{\varepsilon}$

(10) $$J = \overline{J} + \frac{\partial \tilde{F}'}{\partial \hat{\theta}},$$

$$\hat{\theta} = \overline{\theta} - \frac{\partial \tilde{F}'}{\partial \overline{J}}.$$

Замествайки в израза за хамилтониана (4) и разлагаме в ред като отново се ограничаваме до първите два члена, съответно за несмутената и смутената част се получава:

(11) $$H_{00}(J) = H_{00}\left(\overline{J} + \frac{\partial \tilde{F}'}{\partial \hat{\theta}}\right) = H_{00}\left(\overline{J}\right) + \frac{dH_{00}}{d\overline{J}}\frac{\partial F'}{\partial \overline{\theta}},$$

(12) $$\varepsilon H_{01}\left(J, \hat{\theta}\right) = \tilde{\varepsilon} H_{01}\left(\overline{J}, \overline{\theta}\right).$$

Определят се членовете на новия хамилтониан

(13) $$\overline{H}_{00} = H_{00}\left(\overline{J}\right),$$

(14) $$\tilde{\varepsilon}\overline{H}_{01} = \omega_0\left(\overline{J}\right)\frac{\partial F'}{\partial \overline{\theta}} + \tilde{\varepsilon} H_1\left(\overline{J}, \overline{\theta}\right).$$

Достига се до израза

(15) $$\overline{H} = \omega_0 \overline{J} + \omega_0 \frac{\partial F}{\partial \overline{\theta}} - \frac{\overline{J}^2}{6}\sin^4\overline{\theta}.$$

Определят се осредненатa $\langle H_{01} \rangle$ и променливата част $\{H_{01}\}$ на $H_{01}$ посредством изразите

(16) $$\langle H_{01}\rangle = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} H_{01}(\bar{J},\bar{\theta})d\bar{\theta} = -\frac{\bar{J}^2}{16},\ \{H_{01}\} = H_{01} - \langle H_{01}\rangle .$$

От равенството за $\overline{H}_{01}$, се намират следните съотношения

(17) $$\omega\frac{\partial F}{\partial\hat{\theta}} = -\{H_{01}\},$$

(18) $$\overline{H}_{01} = -\frac{\bar{J}^2}{16}$$

Разглеждаме смутената част на хамилтониана:

(19) $$\tilde{\varepsilon}H_1 = -\tilde{\varepsilon}F_1\cos(k_1 q - \Omega_1 t).$$

Правим замяна на променливите и разлагаме в ред косинусите

(20) $$\tilde{\varepsilon}H_1 = -\tilde{\varepsilon}F_1\sum_s J_s\left(k_1\sqrt{\frac{2J}{\omega_0}}\right)\cos(s\hat{\theta} - \Omega_1 t),$$

където $J_s$ са Беселови функции от първи род.

Окончателният вид на хамилтониана се записва във вида

(21) $$\overline{H} = \omega_0\bar{J} - \frac{\bar{J}^2}{16} - \tilde{\varepsilon}F_1\sum_s J_s\left(k_1\sqrt{\frac{2\bar{J}}{\omega_0}}\right)\cos(s\theta - \Omega_1 t).$$

**Резонансен хамилтониан**

Нека е изпълнено $n\frac{\partial\overline{H}}{\partial\bar{J}} - \Omega_1 = 0$, $n \in Z$. Отделяме резонансния член в хамилтониана

(22) $$\overline{H} = \omega_0\bar{J} - \frac{\bar{J}^2}{16} - \tilde{\varepsilon}F_1 J_n\left(k_1\sqrt{\frac{2\bar{J}}{\omega_0}}\right)\cos(n\hat{\theta} - \Omega_1 t) - \tilde{\varepsilon}F_1\sum_{s\neq n} J_s\left(k_1\sqrt{\frac{2\bar{J}}{\omega_0}}\right)\cos(s\hat{\theta} - \Omega_1 t)$$

Приема се, че изразите зад сумите са смущение и се подлагат на анализ само резонансните членове.

Извършва се канонична замяна, като използваме производящата функция

(23) $$S = -\frac{\bar{J}}{n}(\Psi + \Omega_1 t).$$

Новите канонични променливи са съответно

(24) $$I = \frac{\bar{J}}{n},$$

$$\Psi = n\hat{\theta} - \Omega_1 t,$$

отчита се и фактът, че

(25) $$\frac{\partial S}{\partial t} = -I\Omega_1 .$$

В новите канонични променливи резонансния хамилтониан (22) приема вида

$$\overline{H} = (n\omega_0 - \Omega_1)I - \frac{n^2 I^2}{16} - \tilde{\varepsilon}F_1 J_n\left(k_1\sqrt{\frac{2nI}{\omega_0}}\right)\cos\Psi - \tilde{\varepsilon}F_1\sum_{s\neq n} J_s\left(k_1\sqrt{\frac{2nI}{\omega_0}}\right)\cos\left(\frac{s}{n}\Psi - \Omega_1\left(1-\frac{s}{n}\right)t\right).$$

(26)

Изследваме първите три члена в израза (23), а останалата част се приема за смущение

**Изследване на стационарните точки на хамилтониана**

(27) $$H_r = (n\omega_0 - \Omega_1)I - \frac{n^2 I^2}{16} - \tilde{\varepsilon} F_1 J_n\left(k_1\sqrt{\frac{2nI}{\omega_0}}\right)\cos\Psi .$$

Производните на променливите по времето намираме чрез диференциране на резонансния хамилтониан

(28) $$\dot{\Psi} = \frac{\partial H_r}{\partial I} = (n\omega_0 - \Omega_1) - \frac{n^2 I}{8} - \tilde{\varepsilon} F_1 k_1 \sqrt{\frac{n}{2\omega I}} J_n{}'\left(k_1\sqrt{\frac{2nI}{\omega_0}}\right)\cos\Psi$$

$$\dot{I} = -\frac{\partial H_r}{\partial \Psi} = -\tilde{\varepsilon} F_1 J_n\left(k_1\sqrt{\frac{2nI}{\omega}}\right)\sin\Psi .$$

Стационарните точки се намират като приравняваме на нула производните на действието и на ъгъла по времето, нека тези стойности са съответно

(29) $I = I_0$, $\Psi = \Psi_0$.

Изследваме динамичната система в близост до резонансните стойности на променливите

(30) $$I = I_0 + \eta ,$$

$$\psi = \psi_0 + \xi .$$

Полагаме $\Delta = n\omega_0 - \Omega_1$ и записваме резонансния хамилтониан

(31) $$H_r = \Delta I_0 + \Delta\eta - \frac{n^2 {I_0}^2}{16} - \frac{n^2\eta^2}{16} - \frac{n^2 I_0\eta}{8} -$$

$$- \tilde{\varepsilon} F_1 J_n\left(k_1\sqrt{\frac{2n(I_0+\eta)}{\omega_0}}\right)\cos(\Psi_0 + \xi)$$

Разлагаме израза и по двете променливи в ред, като взимаме първите три члена

(32) $$\Delta I_0 + \Delta\eta - \frac{n^2 {I_0}^2}{16} - \frac{n^2\eta^2}{16} - \frac{n^2 I_0\eta}{8} -$$

$$- \tilde{\varepsilon} F_1\left\{J_n\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right) + J_n{}'\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)k_1\sqrt{\frac{n}{2\omega I_0}}\eta + \left[J_n{}''\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)\frac{{k_1}^2 n}{2\omega_0 I_0} - J_n{}'\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)\frac{k_1}{{I_0}^{\frac{3}{2}}}\sqrt{\frac{n}{8\omega_0}}\right]\frac{\eta^2}{2}\right\} x$$

$$x\left(\cos\Psi_0 - \sin\Psi_0\xi - \frac{\cos\Psi_0}{2}\xi^2 + \ldots\right).$$

Очевидно е, че ако $\Psi_0 = s\pi, s \in Z$ може да се достигне до израз за хамилтониан на линеен осцилатор. Като имаме предвид това и се извърши групиране на членовете пред еднаквите степени на $\eta$ се достига до израза

(33) $$\Delta I_0 - \frac{n^2 {I_0}^2}{16} - \tilde{\varepsilon} F_1 J_n\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)\cos\Psi_0 + \eta\left[\Delta - \frac{n^2 I_0}{8} - \tilde{\varepsilon} F_1 J_n{}'\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)k_1\sqrt{\frac{n}{2\omega_0 I_0}}\cos\Psi_0\right] -$$

$$- \left\{\frac{n^2}{16} + \frac{\tilde{\varepsilon} F_1}{2}\left[J_n{}''\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)\frac{{k_1}^2 n}{2\omega_0 I_0} - J_n{}'\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)\frac{k_1}{{I_0}^{\frac{3}{2}}}\sqrt{\frac{n}{8\omega_0}}\right]\cos\Psi_0\right\}\eta^2 + \frac{\tilde{\varepsilon} F_1 J_n\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)\cos\psi_0}{2}\xi^2 =$$

$$= H_r .$$

Отчита се, че израза пред първата степен на $\eta$ е равен на нула. Следователно окончателния вид на хамилтониана е

$$-\left\{\frac{n^2}{16}+\frac{\tilde{\varepsilon}F_1}{2}\left[J_n''\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)\frac{k_1{}^2 n}{2\omega_0 I_0}-J_n'\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)\frac{k_1}{I_0{}^{\frac{3}{2}}}\sqrt{\frac{n}{8\omega_0}}\right]\cos\Psi_0\right\}\eta^2+$$

$$+\frac{\tilde{\varepsilon}F_1 J_n\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)\cos\psi_0}{2}\xi^2=H_r-H_{r0},$$

(34)

където $\xi$ и $\eta$ са малки отклонения съответно от резонансното действие и ъгъл,

$$\Delta I_0-\frac{n^2 I_0{}^2}{16}-\tilde{\varepsilon}F_1 J_n\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)\cos\Psi_0=H_{r0}.$$

Доказахме следната теорема:

**Теорема.** *Ако е даден хамилтониана (1) то тогава резонансния хамилтониан в променливи действие-ъгъл се дава с израза(34).*

Условията уравнение (34) да описва уравнение на затворена крива, води до следствието:

**Следствие.** *Условията за утойчивост на стационарните точки се дават с неравенствата:*

$$\frac{n^2}{16}+\frac{\tilde{\varepsilon}F_1}{2}\left[J_n''\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)\frac{k_1{}^2 n}{2\omega_0 I_0}-J_n'\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)\frac{k_1}{I_0{}^{\frac{3}{2}}}\sqrt{\frac{n}{8\omega_0}}\right]\cos\Psi_0>0,$$

$$\frac{\tilde{\varepsilon}F_1 J_n\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)\cos\psi_0}{2}>0,$$

$$H_r-H_{r0}>0,$$

*или*

$$\frac{n^2}{16}+\frac{\tilde{\varepsilon}F_1}{2}\left[J_n''\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)\frac{k_1{}^2 n}{2\omega_0 I_0}-J_n'\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)\frac{k_1}{I_0{}^{\frac{3}{2}}}\sqrt{\frac{n}{8\omega_0}}\right]\cos\Psi_0<0,$$

$$\frac{\tilde{\varepsilon}F_1 J_n\left(k_1\sqrt{\frac{2nI_0}{\omega_0}}\right)\cos\psi_0}{2}<0,$$

$$H_r-H_{r0}<0.$$

**Заключение**

В заключение ще обобщим, че е доказана теорема, която дава резонансния хамилтониан на неавтономна система от вида (1), описващ вторични резонанси на главен резонанс. Чрез нея може да се изследва движението за линейна устойчивост, като резултатите лесно могат да се приложат за реални физични модели, описвани с разгледания тип неавтономно уравнение.

**Литература:**


1. C e l l e t t i, A., L. C h i e r c h i a. Hamiltonian Stability of Spin–Orbit Resonances in Celestial Mechanics. Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy . 2000. Volume 76, Number 4, 229-240.
2. Д. т е р Х а а р, Основы гамильтоновой механики. Наука. Москва, 1974.
3. Ч и р и к о в, Б. В. Нелинейный резонанс, М:. НГУ, 1977.
4. А р н о л ь д, В. И., К о з л о в, В. В., Н е й щ а д т, А. И. Математические аспекты классической и небесной механики. ВИНИТИ. Москва, 1985.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# APPLICATION OF NANOSATELLITES IN THE NEAR-EARTH SPACE INVESTIGATION

**Daniela Boneva[1], Lachezar Filipov[1], Krasimira Yankova[1], Deyan Gotchev[1], Zhivko Zhelezov[2], Georgi Chamov[2], Mariya Bivolarska[2], Spaska Yaneva[2]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Space Research Ltd*
*e-mail: danvasan@space.bas.bg, lfilipov@space.bas.bg, f7@space.bas.bg, dejan@space.bas.bg*
*spaceresearch@bulcube.bg, maria_biv@abv.bg*

***Keywords:*** *Nanosatellites; Near-Earth Space; Zodiacal Light;*

***Abstract:*** *We present based characteristics of the nanosatellites' equipment and we point to the advantages of their usage. The purpose of this paper is to survey the applications of nanosatellites as a new and advanced technology. It is reviewed the most employable of them in space science and technology. We present the conception of our new project that will investigate the polarimetry of the Zodiacal light on a Sun-synchronous low Earth orbit.*

# ПРИЛОЖЕНИЕ НА НАНОСАТЕЛИТИ В ИЗСЛЕДВАНЕТО НА БЛИЗКИЯ КОСМОС

**Даниела Бонева[1], Лъчезар Филипов[1], Красимира Янкова[1], Деян Гочев[1], Живко Железов[2], Георги Чамов[2], Мария Биволарска[2], Спаска Янева[2]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2]Спейс рисърч ООД*
*e-mail: danvasan@space.bas.bg, lfilipov@space.bas.bg, f7@space.bas.bg, dejan@space.bas.bg*
*spaceresearch@bulcube.bg, maria_biv@abv.bg*

***Ключови думи:*** *Наносателити;Близък космос;Зодиакална светлина;*

***Резюме:*** *Представени са основни характеристики на наносателитите и са посочени предимствата на използването им. Целта на тази статия е да се проучат приложенията на наносателитите като нова и напреднала технология. Разгледани са най-пригодни за заетост от тях в областта на космическите науки и технологии. Ние представяме концепцията на нашия нов проект, чиято цел е да изследва поляриметрията на Зодиакалната светлината на ниска околоземна орбита с помощта на наносателит.*

## 1. Introduction

Nanosatellites are a class of small satellites that have a mass between 1-10 kg. Within this class is the so-called CubeSat. CubeSat -1U class is a 10-cm cube with a mass of up to 1.33 kg. Typically, CubeSats are launched as secondary payloads into a circular sunsynchronous low-earth orbit at 500-600 km. The development time for a CubeSat is roughly one year with constant improvements in each generation. Distributed networks of CubeSats are also promising alternatives to conventional large single satellites.

Small satellite missions are supported by some contemporary trends, such as: Advances in electronic miniaturization, the progress in data manipulation, storage, imaging technology, autonomous intelligence and associated performance capability. The possibility of 'independence' in space is an important benefit, since small satellites can provide an affordable way for many countries to achieve Earth Observation and/or defense capability, without relying on inputs from the major space-faring nations.

Compared to conventional large satellites, nanosatellies or CubeSats are easily deployable and low-cost. Their fast delivery and small sizes makes them very appropriate for the educational purposes.

The idea and first design of CubeSat was proposed in 1999 by professors Jordi Puig-Suari of California Polytechnic State University and Bob Twiggs of Stanford University [2]. The purpose was to teach graduate students to be able to design, build, test and operate in space a spacecraft.

One of the earliest launches of CubeSats was 2003 from Plesetsk, Russia, with Eurockot Launch Services's. More than 80 CubeSats have been placed into orbit as of end of 2013.

In the next two sections we present a review of the nanosatellites' applications (Section 2) and the base description of the project BulCube (Section 3).

## 2. Applications

We list the names of nanosatellites and their scientific applications, which are most related to our aim of research, as separated in two category.

### 2.1. Earth and near-Earth Space investigations

Recently, the amount of the launched satellites has been increasing. The nanosatellites, such as CanX-7 (Canada, 2007); STARE CubeSat (US, 2012), are aimed to resolve the problems associated with orbital debris and space collision avoidance [9]. Tracking space debris and monitoring the entire sky for space junk are the main objectives of these missions.

The Nanosatellite for Earth Monitoring and Observation (NEMO) bus belongs to the Generic Nanosatelite Bus technology. The bus has primary structure with sizes: 20cm by 20 cm by 40cm. The spacecraft that is using this technology, the NEMO - AM (Aerosol Monitoring) is designed to perform multi-spectral observations in the visual band in two polarizations and from multiple angles. Its mission is to detect aerosol content in the atmosphere. The instrument also has optional observation capability in the short-wave infrared band. The satellite is developed by the collaboration of Canada and India [6].

The first Swiss satellite SwissCube mission should focus on the observation of the airglow phenomena. The primarily motivation is to educate students in space technologies and space system engineering. The other reason for these observations is to demonstrate the feasibility of using the airglow as basis for development of a low cost Earth Sensor (ES). A model of the airglow emissions as a function of intensity, latitude, longitude and time has been established and the objective the science mission is to collect data that will validate, or at least bring additional information to the model [7]. Technical parameters of the satellite: Swiss Cube (Switzerland, 2009); Size: 10x10x10 cm; Mass ~1kg.

An investigation of impulsive electromagnetic signals generated by electrical discharges in terrestrial thunderstorms (lightning), blizzards, volcanic eruptions, earthquakes and dust devils [3]. These are the main scientific objects of satellite: LiNSAT (Austria). The project is designed for the detection of electromagnetic signatures in VHF (very high frequency) range in low-earth orbit (LEO). The satellite is 20 cm cube and weights ~ 5 kg.

The nanosatellites are usable as well for the tracking maritime resources, and the integration of space-based AIS (Automatic Identification System) data into any national maritime tracking information system. As an example: AISSat-1, the Norway satellite, designed on the Generic Nanosatellite Bus (GNB) base. Size: 20x20x20cm; Mass: 6kg.

The NASA program FASTSAT has developed a NanoSail D (2008) and NanoSail D2 (2010) that are the first satellites to open a sail in low Earth orbit and was the first nanosatellites to be ejected from a microsatellite [1]. It also testing the cosmic sail made by polymer, much thinner than a human hair.

### 2.2. Astronomical investigations

A group of nanosatellites in space, called BRITE-Constellation (BRIght Target Explorer - Constellation), can capture the light shed by luminous stars and in turn shed light on their structures and histories [4].

The purpose of the mission is to photometrically measure low-level oscillations and temperature variations in stars brighter than visual magnitude 4.0, The other aim of these photometric observations of some of the brightest stars in the sky is to examine these stars for their variability. The observations will have a precision at least 10 times better than achievable using ground-based observations. It is included inside a CanX-class nanosatellite, the satellite: CanX-3 - BRITE Mission: The constellation is built by Austrian, Canadian and Polish space scientists. This is a group of 6 nanosatellites, each weights 7 kilo and in size a 20cm cube.

Draper Laboratory and MIT have developed a satellite with incredible small size that can discover transiting exoplanets around the nearest and brightest Sun-like stars . Analysis based on the blurring of the stars when in orbit to pass companion is a task of the The spacecraft prototype ExoPlanetSat, which is a 3U space telescope (USA, 2012). Each ExoplanetSat spacecraft can monitor one star at a time, instead of surveying thousands of stars simultaneously [5]. When properties of each target star are well known in advance, a fleet of nanosatellites to search enough stars to find a number of interesting exoplanets. Size: 10x10x30cm; mass: ~4 kg.

### 3. Project BulCube. Aims, mission and construction

One remarkable feature of the night sky in the tropics is the zodiacal light, which appears as a cone in the west after sunset and in the east before sunrise. It is caused by sunlight scattered or absorbed by particles in the interplanetary medium. It is important to investigate, because it is a source of information about the integrated physical properties of the whole ensemble of interplanetary dust. The brightness and polarization in different directions and at different colours can provide information on the optical properties and spatial distribution of the scattering particles.

From the Earth, the zodiacal light is best seen when the ecliptic plane is approximately perpendicular to the horizon. It is, however, a difficult task to do a high quality photometry of the zodiacal light from a ground-based observatory because of its faintness as well as the contamination of diffuse light sources such as the airglow. However the situation improves significantly when observing from space. For more precise polarimetry of Zodiacal light and to exclude the influence of the Earth's atmosphere different type of spacecrafts are involved.

According to the advantages described in the Introduction, the nanosatellites are more appropriate to resolve the task of the Zodiacal light. To checks out the possibility of examine the Zodiacal light by nanosatellites, it is developed the scientific project that to undertake with the problem.

The aim of our project is polarimetric measurements of the Zodiacal light by using a nanosatellite (such as CubeSat). It includes the following steps:

- Design and construction of the nanosatellite;
- Experimental measurements of the Stokes parameters by nanosatellite's cameras;
- Construction of a mobile-modular ground station;
- Software development for cubesat-to-ground communication;
- Day in the life, vibration and thermal-vacuum testing;
- Choice of a launcher, launch location and date;
- Polarimetry of the zodiacal light on sunsynchronous low-earth orbit.

In this section we will stress on the explanation of first two steps, which concern to the application.

Observation/measurement module is designed to implement few different functions.

- to measure Stokes parameters for every zone in the field of view.
- to take colour panorama pictures of the space.

A complete description of the zodiacal light polarization would require the knowledge of its Stokes parameters. This leads us to experimental measurements of the Stokes parameters by usage of two types nanosatellite's cameras.

The criteria for the choice of the sensor used for Stokes parameters measurement are defined by the fact, that observed object has relatively low illumination and big physical dimensions. Black/white camera is selected with high light sensitivity (4.8 V/lux.sec), dynamic range >110dB, relatively high resolution (752x480). It also has the property to average by hardware (as analog level) pixels in areas up to 4x4 in the whole frame, which additionally increase the signal to noise ratio. The exposure time can be extended to more the 2 seconds.

The panorama camera is selected to be colour with higher resolution (1.3MP) and integrated JPEG compression (Fig.1). This gives us very compact picture size, which easily can be transferred through the radio channel.

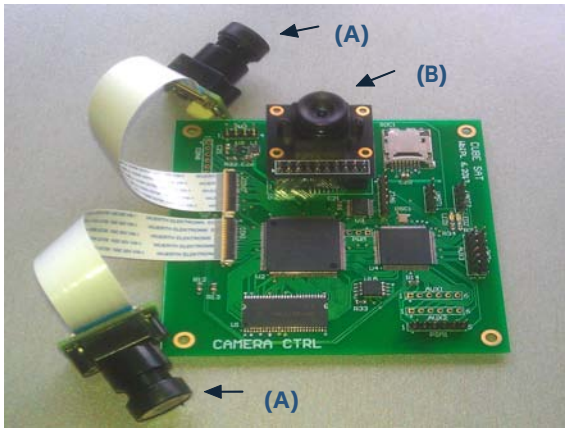



Fig. 1. Plate with 3 nanosatellite's cameras: black and white camera type (A);
panorama color camera (B)

To determine the polarization state of zodiacal light we need to modulate the intensity of light signal with optical elements. For Stokes parameters measurements we used a combination of quarter wave plate and linear polarizer. The two cameras from the chip were used as a detector.

To measure linear polarization, the light beam passed through a linear analyzer oriented at angle A = 0°, 90°, and ±45°, and measure the corresponding intensities. To measure circular polarization the light has to pass through a system of quarter wave plate and linear polarizer. By placing the quarter-wave retarder at C = 0° and analyzer oriented at A = ±45° we measure the intensities $I_{RHC}$ and $I_{LHC}$. The pair of quarter-wave retarder and analyzer constitutes a circular analyzer (Fig.2).

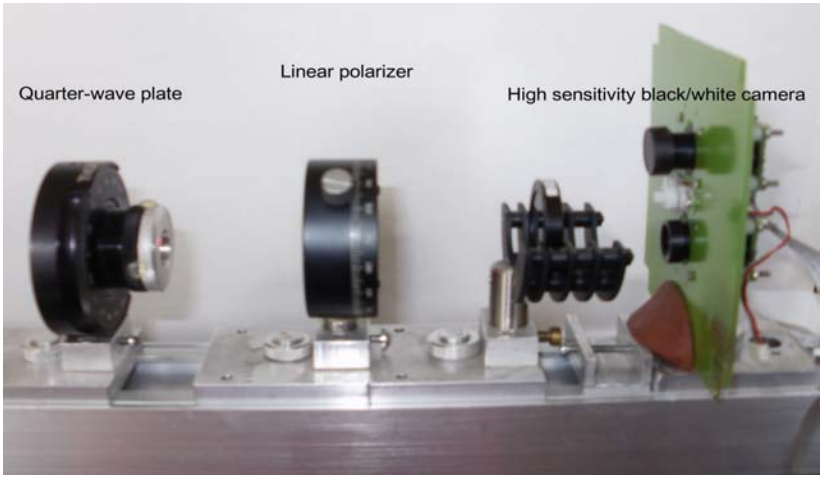



Fig. 2. Measurements of the Stokes parameters in experimental conditions

**Conclusion**

Nanosatellites and CubSats are able to perform a bit different type of missions. We presented the most relatively close to our investigations the nanosatellite's applications. We focused on the view of our project BulCube that aims to understand the nature of the Zodiacal light. The research goal of the project mainly includes an employment of the polarimetry methods and measurement the Stokes parameters. It requires the usage of two types of cameras. We showed the cameras in the observation/measurement module description. According to the project's stages, the next initial results are expected:

- Creation and deployment the nanosatellite to the Low Earth Orbit (LEO);
- Establishment the communication between nanosatellite and the ground station;
- To obtain and transfer the pictures and data;
- To define the Zodiacal light polarization from the receiving pictures;

In the future missions, we are planning to involve additional methods of polarimetry to investigate the Zodiacal light. Further, the model created could be applied in the study of small bodies in the near Earth space, diffuse matter and interplanetary space.

**Acknowledgements**: The present work is funded and supported by project .№ FFNNIPO_12_01654, 2012 of National Fund, “Science and Research”, Ministry of Education and Science.

**References:**

1. A l h o r n, D. C., J. P. C a s a s, E. F. A g a s i d, C. L. A d a m s, G. L a u e, Dr. K i t t s Chr., O’B r i e n S., NanoSail-D: The Small Satellite That Could, Proceeding SSC11-VI-1, 25th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellite, 2011.
2. H e l v a j i a n, H., editors, Siegfried W. Janson, *Small Satellites: Past, Present, and Future* (in English). El Segundo, Calif.: Aerospace Press. 2008. ISBN 978-1-884989-22-3.
3. J a f f e r, G., H. U. E i c h e l b e r g e r, K. S c h w i n g e n s c h u h, O. K o u d e l k a, A LEO Nano-Satellite Mission for the Detection of Lightning VHF Sferics, Adaptive Filtering Applications, Dr Lino Garcia (Ed.), 2011. ISBN: 978-953-307-306-4, InTech, Available from: http://www.intechopen.com/books/adaptive-filtering-applications/a-leo-nano-satellite-mission-for-the-detection-of-lightning-vhf-sferics
4. S c h w a r z e n b e r g-C z e r n y, A., W. W. W e i s s, A.F.J. M o f f a t, R.E. Z e e, S.M. R u c i n s k i, S.W. M o c h n a c k i, J.M. M a t t h e w s, M. B r e g e r, R. K u s c h n i g, O. K o u d e l k a, P. O r l e a n s k i, A. P a m y a t n y k h, A. P i g u l s k i, C.C. G r a n t, The BRITE Nano-Satellite Constellation Mission, COSPAR 2010
5. S m i t h, M. W., S. S e a g e r, C. M. P o n g, J. S. V i l l a s e ñ o r, G. R. R i c k e r, D. W. M i l l e r, M. E. K n a p p, G. T. F a r m e r, R. J e n s e n-C l e mp ExoplanetSat: detecting transiting exoplanets using a low-cost CubeSat platform, *Proc. SPIE* 7731, Space Telescopes and Instrumentation 2010: Optical, Infrared, and Millimeter Wave, 773127, 2010. doi:10.1117/12.856559
6. P r a n a j a y a, F.M., R.E. Z e e, The NEMO Bus: A third generation high-performance nanosatellite for earth monitoring and observation, 24th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, 2010.
7. R o e t h l i s b e r g e r, G., F. J o r d a n, A. S e r v o n e t, M. B o r g e a u d, R. K r p o u n, H. R. S h e a, Advanced Methods for Structural Machining and Solar Cell Bonding Allowing High System Integration and their Demonstration on a Pico-satellite, 22nd Annual AIAA/USU, Conference on Small Satellites, 2009.
8. http://seagerexoplanets.mit.edu/exoplanet.htm
9. https://www.utias-sfl.net/nanosatellites/CanX3/

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОБЫТИЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ ДЛЯ ПЕРИОДА 2011 - 2012

**Петър Тонев[1], Петър Велинов[1], Мария Димитрова[1], Лъчезар Матеев[1], Йордан Тасев[1], Мария Абунина[2], Анатолий Абунин[2], Анатолий Белов[2], Сергей Гайдаш[2]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2] Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова (ИЗМИРАН) Российской академии наук*
*e-mail: ptonev@.bas.bg*

***Ключови думи:*** *Космическая погода, солнечный ветер, кинетическая энергия, магнитная энергия, термальная энергия, индексы геомагнитной активности, геомагнитная буря*

***Резьюме:*** *Получена оценка вариаций кинетической, магнитной и термальной энергий солнечного ветра и переносимым им магнитным полем перед их взаимодействием с магнитосферой Земли как при спокойных условиях, так и в периодах геомагнетных бурь в 2011-2012 годах. Для этих периодов проведено сопоставление изменений трех энергий во времени с вариациями геомагнитных индексов AE и Dst, с учетом влияния компоненты Bz межпланетного магнитного поля. На базе проведенных соответствий сделаны предварительные выводы о функциональных связях между тремя энергиями и индексами AE и Dst. Эти результаты могут быть полезными в дальнейшем при разработки новых методов прогнозирования космической погоды.*

# ENERGETICAL ESTIMATION OF SPACE WEATHER EVENTS DURING 2011-2012

**Peter Tonev[1], Peter Velinov[1], Maria Dimitrova[1], Lachezar Mateev[1], Yordan Tassev[1], Maria Abunina[2], Anatoly Abunin[2], Anatoly Belov[2], Sergey Gaidash[2]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere, and Radio Wave Propagation 'N.V. Pushkov' (IZMIRAN), Russian Academy of Sciences*
*e-mail: ptonev@.bas.bg*

***Keywords:*** *Space weather, solar wind, kinetic energy, magnetic energy, thermal energy, geomagnetic activity indices, geomagnetic storm*

***Abstract:*** *An estimation is obtained of variations of the kinetic, magnetic and thermal energies of the solar wind and the interplanetary magnetic field (IMF) linked to it before their interaction with the Earth's magnetosphere during quiet conditions, as well as in geomagnetic storm periods in 2011-2012. A comparison is made of temporal variations of the three energies with variations of the geomagnetic indices AE and Dst, taking into account the influence of the IMF Bz component. On the base of this comparison preliminary conclusions are made about functional relations between the three energies and indices AE and Dst. These results can be used further to create new methods for space weather forecasting.*

## Введение

Солнечный ветер (СВ) и переносимое им межпланетное магнитное поле **B** (ММП) взаимодействуют с Земной магнитосферой так, что их вариации определяют геомагнитные условия. Рассматривая ситуацию в плане энергий, при взаимодействии с Землей система СВ - ММП вносит в магнитосферу часть своей энергии, что в итоге приводит к вариациям геомагнитной активности. Энергетический подход стоит в основе различных теорий [1] и моделей [2] солнечного ветра и исследований его распространения в солнечной системе [3]. Цель настоящей работы – сделать сопоставление между вариациями энергий системы СВ - ММП непосредственно перед взаимодействием с магнитосферой Земли и вызванными ими

вариациями геомагнитной активности в периодах геомагнитных бурь в периоде 2011-2012 года. Рассматриваются три энергетические компоненты - соответственно, кинетическая, магнитная и термальная энергии с пространственными плотностями $E_К$, $E_М$, $E_Т$ в виде:

(1) $E_К = 3/2\ N\ k\ T_р$;

(2) $E_М = |\mathbf{B}|^2 / 2\mu_0$;

(3) $E_Т = 1/2\ N\ |\mathbf{V}|^2$.

Здесь **V,** $T = T_р$ и $N$ – вектор скорости, температура (протонная) и плотность плазмы СВ, $k$ – константа Больцмана, $\mu_0$ – магнитная проницаемость для вакуума.

Сначала нами оценены плотности энергий (1) - (3) в первой точке Лагранжа системы Солнце-Земля при спокойных геомагнитных условиях для получения базовых энергетических параметров СВ и ММП, приводящих к таким условиям. Дальше исследованы вариации энергий (1) – (3) в периодах геомагнитной бури, с целью установить как как эти вариации влияют на геомагнитные индексы AE и Dst.

Это исследование полезно, во первых, для получения энергетической оценки системы СВ – ММП с учетом их вариаций при различных условиях, отражающих процессов на Солнце. Дальше, оно может быть шагом к систематическому и адекватному описанию реакции магнитосферы на изменяющиеся условия межпланетной среды.

**Использованные данные**

Здесь используются данные параметров СВ (скорость ветра **V** с компонентами $V_x$, $V_y$, $V_z$, плотность плазмы $N$, протонная температура $T_р$) и ММП **B** с компонентами $B_x$, $B_y$, $B_z$, измеренные на космической станции ACE, расположенной в первой точки Лагранжа - на расстоянии около 1.5 миллионов километров от Земли (~ 0.01 AU) в сторону Солнца. Использованы данные, представленные в координатной системе GSM. Данные брались из сайта http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/level2/index.html. Предполагаем, что при пространственных и времевых масштабах структур СВ и ММП данные с позиции ACE представительны для описания их характеристик непосредственно перед взаимодействием с магнитосферой. Использованы также данные различных геомагнитных индексов на период 2011-2012 годов. Это почасовые индексы Dst, характеризующий изменений магнитного поля в результате вариаций экваториального кругового тока и AE, характеризующий геомагнитную активность в авроральных областях, а также трех-часовый планетарный индекс Кр и вычисляемый из его значений суточный планетарный индекс Ар. Эти индексы получались из сайта http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstae/index.html. Разработана компьютерная программа для получения данных и определяемых из них характеристик для задаваемых периодов времени, а также статистических оценок для выбранных данных в удобном виде (таблицы наперед заданного вида).

**Результаты и анализ**

Сначала мы исследовали наличие связей между времевыми вариациями энергий СВ и ММП и геомагнитной активности, которую оценивали с помощью индексов Dst и AE. В качестве базы для сравнения сначала сделана оценка энергий $E_К$, $E_М$ и $E_Т$, характеризующих СВ и ММП при спокойных геомагнитных условиях. В качестве продолжительного спокойного периода рассмотрен месяц декабрь 2012 года: индекс Ар не превышает 8 на все сутки, кроме одной, на которой он достиг максимума 12. Трехчасовый индекс Кр редко превышал 2+ и только в два 3-часовых интервала достиг максимума Ар = 4-. За этот месяц средние плотности энергий $E_К$, $E_М$ и $E_Т$ составили, соответственно, $E_{Кср} = 4.8\times10^{-10}$ J.m$^{-3}$, $E_{Мср} = 8.9\times10^{-12}$ J.m$^{-3}$, $E_{Тср} = 5.1\times10^{-12}$ J.m$^{-3}$, а максимальные значения были $E_{Кmax} = 2.1\times10^{-9}$ J.m$^{-3}$, $E_{Мmax} = 5.1\times10^{-11}$ J.m$^{-3}$, $E_{Тmax} = 4.5\times10^{-11}$ J.m$^{-3}$. За первые две недели месяца (1-14 декабря 2012) условия были вполне спокойными и соответствующие оценки меньше: средние значения $E_{Кср} = 2.1\times10^{-11}$ J.m$^{-3}$, $E_{Мср} = 2.9\times10^{-13}$ J.m$^{-3}$, $E_{Тср} = 1.7\times10^{-13}$ J.m$^{-3}$ , а максимальные значения - $E_{Кmax} = 5.1\times10^{-10}$ J.m$^{-3}$, $E_{Мmax} = 5.5\times10^{-12}$ J.m$^{-3}$, $E_{Тmax} = 5.8\times10^{-12}$J.m$^{-3}$ (определялись максимумы средних почасовых значений, в соответствии с характеристиками, использованными дальше). Последние оценки можно принять как базовые для спокойных условиях, так как выбранный период (14 дней) намного длиннее продолжительности отдельных бурь, при которых исследуем вариации энергий. Для получения более представительной оценки нужно рассмотреть достаточное число спокойных периодов.

Дальше рассматривались периоды высокой геомагнитной активности в 2011-2012 годах, характеризующиеся значениями суточного планетарного индекса Ар>~39. Эти периоды, брались во внимание при условии, что наличны данные, необходимые для расчета энергий.

Число таких периодов – 12; они представлены в Таблице. Кроме максимального суточного индекса Ap на рассматриваемый период, представлено также соответствующее значение $A_{24max}$, определенном на 8 последовательных трехчасовых интервалах из этого периода с максимальными Кр. Во всех случаях $A_{24max}$>39. Из-за отсутствия данных для оценки $E_K$ и $E_T$, не включен лишь один период, с 7-го по 10-го марта 2012 года, на котором Ap достиг максимума за 2011-2012 год (Ap = 87). Каждый период определялся по следующему правилу: его начало бралось за 6 часов до того как индекс Кр впервые достиг значение, не меньшее 5-, а конец периода отмечался через 6 часов после последнего 3-часового интервала с Кр ≥ 5-.

Рассматривается изменение во времени следующих характеристик СВ и ММП перед магнитосферой: плотности кинетической $E_K$ магнитной $E_M$ и термальной $E_T$ энергий и компоненты $B_z$ магнитного поля (из-за ее влияния на эффективность пересоединения, т.е. на количество энергии, получаемой магнитосферой). Поскольку времевой масштаб крупномасштабных процессов взаимодействия СВ и ММП - порядка с часов до суток (с чем согласуется использование одночасовых индексов AE и Dst), то мы использовали при анализе почасово усредненные величины. Для достаточно точной оценки этих средних значений они вычислялись по 5-минутным значениям характеристик, интерполированных по измеренным данным с минимальным шагом по времени $\Delta t$. Этот способ усреднения характеристик применен из-за того, что различные величины измеряются с различным минимальным шагом по времени: $\Delta t$ = 64 и 240 s, соответственно, для скорости **V** солнечного ветра и магнитного поля **B**; $\Delta t$ = 300 s для плотности плазмы *N* и температуры *T* (для *N* и *T* использованы данные непосредственных измерений). Для оценки реакции магнитосферы на изменения плотностей энергий Ек, Ем и Ет в рамках каждого рассматриваемого периода одновременно исследовался времевой ход почасовых значений геомагнитных индексов Dst и AE.

Из Таблицы видно, что как максимальные, так и средние значения энергий во время бурь во много раз превышают соответствующие значения при спокойных условиях. В особенности, при енергии $E_M$ и $E_T$ эти соотношения могут достигать одного порядка и больше.

Для каждого из 12 периодов, представленных в Таблице на Рис.1-3 иллюстрируются результаты сопоставления времевых вариаций энергийных характеристик СВ и ММП с вариациями геомагнитных индексов AE и Dst с учетом изменений компоненты магнитного поля $B_z$. На Рис.1 представлены случаи периодов (1) - (4), на Рис.2 - случаи периодов (5) - (8), а на Рис.3 – случаи периодов (9) - (12). В каждом отдельном случае характеристики представлены в трех панелях: в верхней панели показаны плотности кинетической $E_K$ (черная кривая), магнитной $E_M$ (красная кривая) и термальной $E_T$ (синяя кривая) энергий; в средней панели представлена компонента $B_z$; в нижней панели - индексы AE (в синем) и Dst (в черном). В верхней панели $E_M$ и $E_T$ учитываются по левой ординате, а $E_K$ – по правой. В нижней панели Dst учитывается по левой ординате, а AE – по правой. По абсциссе (общая для трех панелей) учитываетсе время в часах с начала конкретного периода.

Сравнение трех энергий показывает, что кинетическая энергия - самая большая из трех - часто более чем на один порядок больше магнитной, которая следующая по величине. Это согласуется с выводами [1]. Хотя и редко, имеет место $E_K \sim E_M$, напр. в случае (5) (Рис.2). Самая малая – термальная энергия. Магнитная энергия обычно намного больше термальной энергии, особенно в периодах большой геомагнитной активности, напр. (4), (5), (8), но есть случаи когда они сравнимы или $E_T > E_M$. В каждом из рассмотренных периодов характерно резкое повышение всех трех энергий перед началом геомагнитной бури. Пиковые плотности энергий $E_M$ и $E_T$ – в несколько раз (вплоть до одного порядка) больше соответствующих максимальных значений при спокойных условиях, Это характерно и для кинетической энергии, но в отдельных случаях, как в (12), $E_{Kmax}$ может быть сравнимым с максимумом при спокойных условиях. В этом исследовании основное внимание уделено поведению кинетической и магнитной энергий.

Из случаев, рассмотренных на Рис.1-3, наблюдается наличие нескольких характерных соответствий между рассматриваемыми характеристиками в периоде магнитной бури. Она обычно предшествуется быстрым достижением максимумов двух энергий, кинетической и магнитной; часто эти первые максимумы $E_K$ и $E_M$ – самые большие по всему периоду. В выбранных случаях мы прослеживали как вариации плотностей энергий СВ - ММП и $B_z$ соотносятся с следующими характеристиками изменения геомагнитных условий во время бури:

- Экстремумы геомагнитных индексов AE и Dst и их соответствие по времени с $E_K$, $E_M$ и $B_z$;
- Времевые масштабы изменений индексов на различных фазах.

Сначала рассмотрено поведение индекса AE, возрастания которого указывает на увеличение геомагнитной активности в авроральных областях и на возникновение суббурь [4]. Из данных видно, что этот индекс, как правило, возрастает почти непосредственно после увеличения энергий $E_K$ и $E_M$ СВ перед магнитосферой (~1 час после регистрации на ACE). Это отражает быструю реакцию продольных и замыкающих токов на изменения СВ.

Таблица. Максимальные и средние значения плотностей энергий $E_K$, $E_M$ и $E_T$ в периодах геомагнитных бурь за 2011 - 2012 годов.

| Период | $Ap_{max}$<br>$Ap_{24max}$ | $E_K \times 10^{12}$ [$Jm^{-3}$],<br>max, ($max_2$)<br>среднее | $E_M \times 10^{12}$ [$Jm^{-3}$],<br>max, ($max_2$)<br>среднее | $E_T \times 10^{12}$ [$Jm^{-3}$],<br>max, ($max_2$)<br>среднее |
|---|---|---|---|---|
| Спокойные условия<br>(01-14.12.2012) | 8 (Kp≤3-)<br>10 | 510<br>21 | 5.5<br>0.29 | 5.8<br>0.17 |
| 27.05. 2011, 18 UT -<br>29.05.2011, 21UT | 45<br>49 | 1630, 1400<br>884 | 47.9, 41.6<br>24.1 | 44.3, 42.0<br>14.9 |
| 05.08.2011, 12UT -<br>06.08.2011, 12UT | 42<br>65 | 1630<br>944 | 47.9<br>35.9 | 44.3<br>8.1 |
| 09.09.2011, 06UT -<br>11.09.2011, 06UT | 40<br>49.5 | 1940, 1905<br>602 | 124, 88<br>36.8 | 36.9, 38.0<br>11.1 |
| 26.09.2011, 06UT -<br>28.09.2011, 09UT | 38<br>54.5 | 3140, 2950<br>425 | 303<br>40.7 | 5.9<br>2.2 |
| 24.10.2011, 12UT -<br>25.10.2011, 21UT | 38<br>60.6 | 3580<br>627 | 210, 204<br>99.3 | 106<br>14.7 |
| 15.03.2012, 06UT -<br>18.03.2012, 06UT | 36<br>41.8 | 1740, 1420<br>220 | 75.3<br>14.8 | 36.8<br>3.2 |
| 23.04.2012 12UT -<br>25.04.2012 09UT | 41<br>47.9 | 1140<br>430 | 91.3<br>63.6 | 44.2<br>15.1 |
| 16.06.2012 15UT -<br>18.06.2012 12UT | 43<br>51.1 | 5060, 4150<br>1310 | 520, 475<br>128 | 42.9<br>11.5 |
| 08.07.2012 18UT -<br>10.07.2012 00UT | 42<br>52 | 915<br>260 | 53.6<br>32.3 | 7.5<br>3.2 |
| 14.07.2012 12UT -<br>17.07.2012 12UT | 78<br>86.1 | 6360, 5230<br>85.7 | 225<br>69.5 | 138<br>14.5 |
| 08.10.2012 00UT -<br>10.10.2012 03UT | 46<br>58.9 | 1850, 1620<br>487 | 95.7<br>55.8 | 28.8<br>7.48 |
| 12.10.2012, 21UT -<br>14.10.2012, 00UT | 47<br>49 | 664<br>34.2 | 59.0<br>23.4 | 15.1<br>3.5 |

На Рис.1-3 видно, что самые большие максимумы АЕ ($AE_{max}$) достигаются в случаях (2) и (4), когда $E_K$ и $E_M$ также достигают больших максимальных значений (в случае (2) их максимумы также совпадают по времени; подобен ему случай (6)). Кроме того, при достижений максимумов энергий $E_K$ и $E_M$ компонента ММП $B_z$ имеет большие отрицательные значения – это видимо ключевой фактор для достижения больших значений АЕ. Это валидно и в случаях (3), (7). Хотя и случаи (4) и (5) близки по величинам максимумов $E_K$ и $E_M$, в случае (5) $B_z$ не принимала большие отрицательные значения при достижении $E_{Kmax}$ и поэтому $AE_{max}$ меньше, чем в случае (4). Подобно случаю (5), в случаях (8) и (10) достигаются большие максимальные плотности энергий $E_{Kmax}$ и $E_{Mmax}$, но АЕ возрастает к максимуму лишь при больших отрицательных значениях $B_z$ и, одновременно, больших значенях энергий $E_K$ и $E_M$. Индекс АЕ большой вариабильности - он быстро реагирует на изменения параметров СВ и ММП, поэтому характеризуется большими значениями градиента по времени и обычно не остается большим на долгое время. Интересное исключение - случай (9): хотя плотности энергий $E_K$ и $E_M$ довольно малые, в конце периода индекс АЕ становится большим (около 1200 nT) и остается таким в течении нескольких часов, Возможная причина: $B_z$ задержалась отрицательной и большой в течении длинного периода (15 часов), что дало возможность эффективному поступлению энергии в магнитосферу на долгий период и изменению условий формирования авроральных токов. Подобны случаи (11) и (12). В случае (1) максимум АЕ достигся также при малых уровнях энергий $E_K$ и $E_M$, благодаря сравнительно длинному периоду больших отрицательных значений компоненты $B_z$. В случае (10) после первого максимума АЕ появляются еще несколько максимумов. Это, возможно, связано с тем, что в магнитосфере произошло значительное накопление энергии в результате весьма больших значений $E_K$ и $E_M$ и поддержания большого $E_M$ на длинный период (больше суток).

Вариации индекса Dst отражают три фазы бури [4]: начальная (с первоначальным возрастанием Dst), главная (со спадом Dst к большим отрицательным значениям) и фаза восстановления. Dst реагирует на увеличение энергий $E_K$ и $E_M$ медленнее индекса АЕ и значительно позже достигает отрицательного максимума. Самые большие отрицательные значения индекс Dst достиг в случаях (5), (7) и (10) - Dst имеет постоянный спад в продолжении

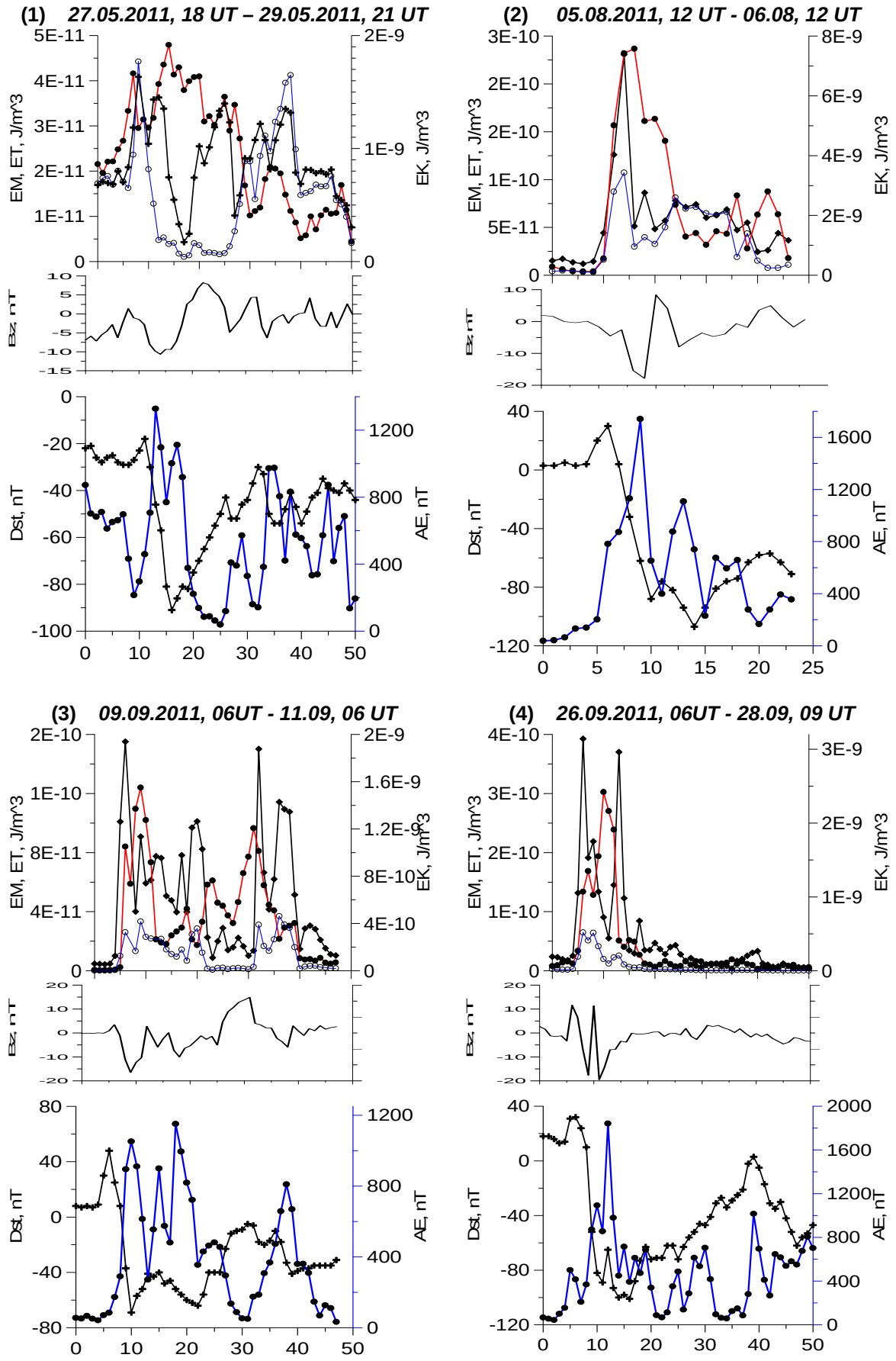



Рис. 1. Вариации во времени исследуемых величин для периодов (**1**)–(**4**). Для каждого периода на верхней панели показаны плотности энергий $E_K$ (черная), $E_M$ (красная) и $E_T$ (синяя кривая); на средней панели - компонента $B_z$ ММП; на нижней панели - индексы Dst (черная) и AE (синяя кривая).

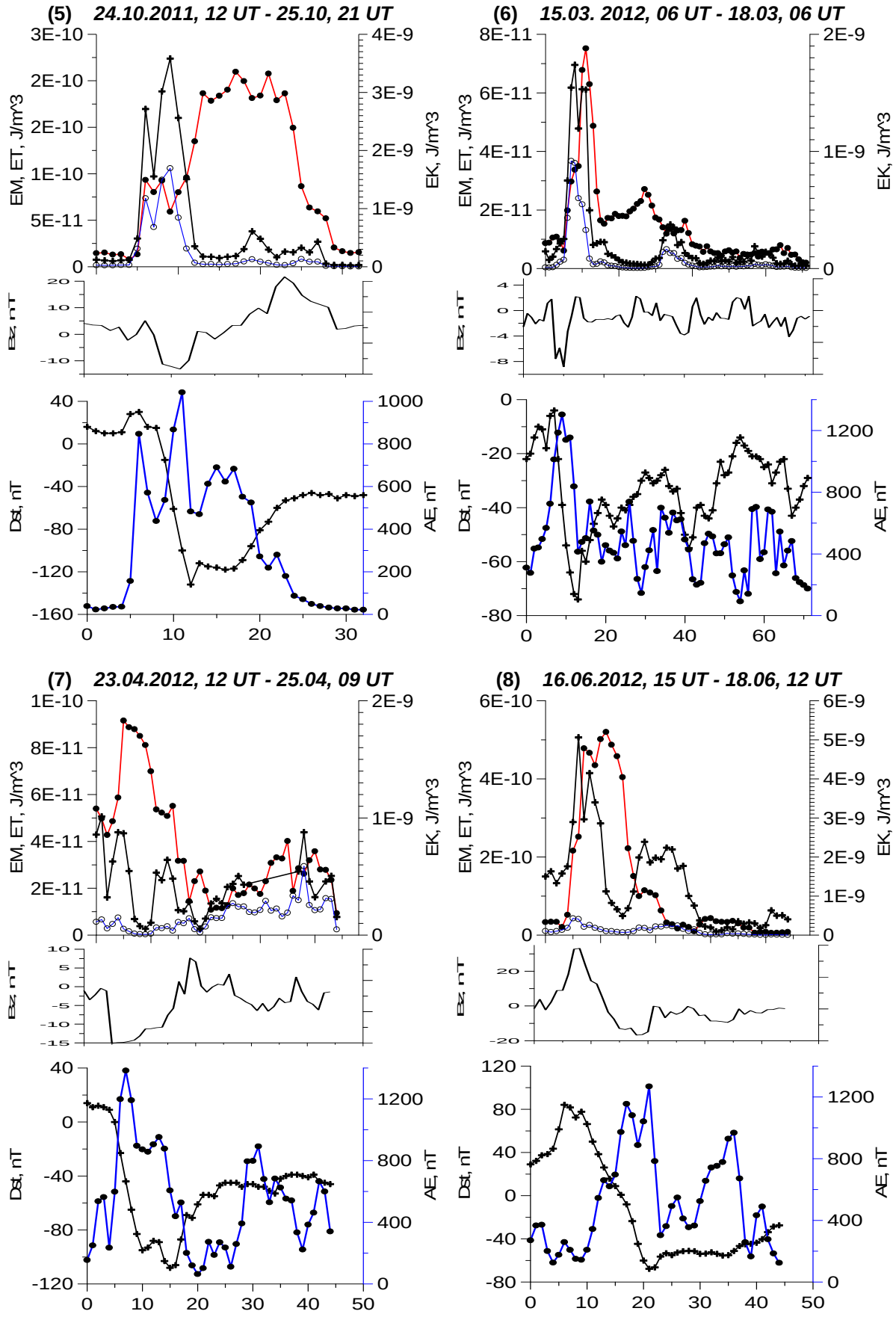



Рис. 2. То же, как на Рис.1, для периодов (**5**) – (**8**).

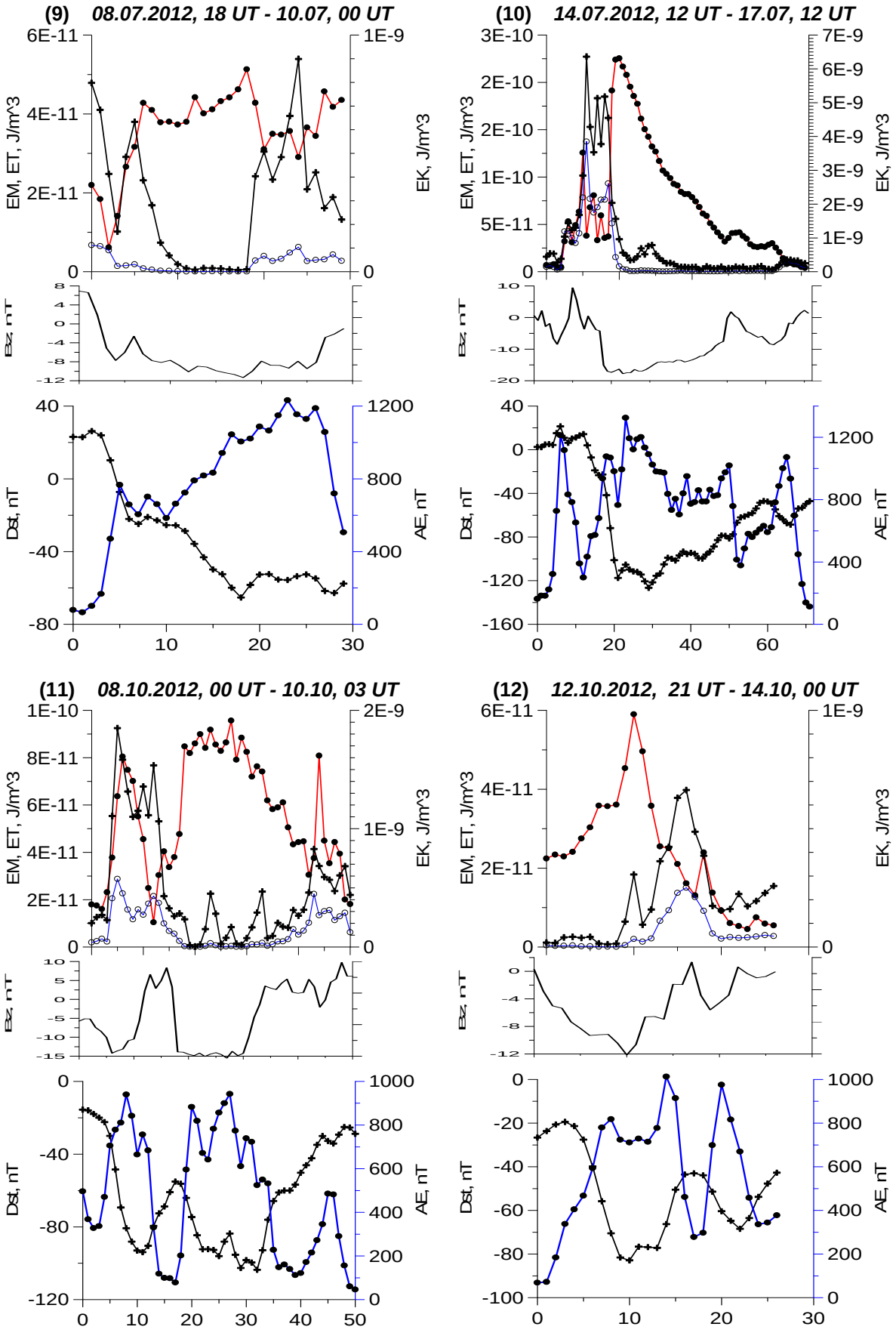



Рис. 3. То же, как на Рис.1, для периодов (**9**) – (**12**).

нескольких часов при больших значениях энергий $E_K$ и $E_M$ (в этих случаях $E_K$) и при больших отрицательных значениях компоненты $B_z$. Эти условия имеют место и в остальных случаях большого отрицательного тренда Dst, причем спад быстрее когда плотности энергий $E_K$ и $E_M$ и отрицательная $B_z$ больше и на более длинный интервал времени, а также когда до начала спада Dst (в начальной фазе бури) его значение – отрицательное или малое положительное.

Условие большого отрицательного и долго задерживающегося значения компоненты $B_z$ является ключевым. Это видно в случае (8): энергии $E_K$ и $E_M$ достигают одновременно очень больших значений ($E_K = 3\times10^{-9} - 5\times10^{-9}$ nT, $E_M = 5\times10^{-10}$ nT, т.е. много больше, чем в остальных случаях) на нескольких часов, но на все это время компонента $B_z$ остается большой положительной; при этом Dst на начальной фазе бури достигает большого максимума (~80 nT). Тренд к отрицательным Dst начался только после того как компонента $B_z$ стала большой отрицательной и за это время, при все еще значительных $E_K$ и $E_M$, Dst изменилась от 80 nT до –80 nT. Таким образом, несмотря на большой спад, из-за большого положительного значения в начале спада, Dst достиг лишь умеренный отрицательный минимум. Подобнуя ситуация имеется в случаях (2), (3) и (4). Наоборот, в случаях (1), (9), (11) и (12) Dst достигает довольно большого отрицательного значения благодаря своего небольшого (или отрицательного) значения перед главной фазы и наличию длинных периодов большой отрицательной $B_z$, во время которых плотности энергий $E_K$ и $E_M$ были не очень большими, но все же значительны.

**Заключение**

Это исследование - наш первый шаг рассмотрения поведение солнечного ветра и межпланетного магнитного поля в пространстве Земли с точки зрения времевых вариаций трех видов энергии – кинетическая, магнитная и термальная, по данным станции ACE в точке Лагранжа. Показано, что кинетическая энергия СВ обычно превосходит двух других энергий на один порядок и больше, а магнитная энергия обычно больше термальной, но бывают случаи выравнивания первых двух энергий. Сопоставление времевых вариаций этих трех энергий солнечного ветра с реакцией магнитосферы в периодах геомагнитных бурь показывает, что перед повышением геомагнитной активности наблюдается значительный рост магнитной и кинетической энергий. Здесь рассмотрены индексы AE и Dst, характеризирующие геомагнитную активность, соответственно, для авроральных и экваториальных широт. Первоначальное сопоставление времевых вариаций трех энергий с этими индексами с учетом также вариации компоненты ММП $B_z$ с изменениями индексов AE и Dst показывает, что AE реагирует быстро на возрастание кинетической и магнитной энергии, но только при больших отрицательных значениях $B_z$. Реакция Dst проявляется более инертным образом. Отрицательный максимум Dst достигается на главной фазе бури обычно несколько часов после реакции AE, и чем больше кинетическая и магнитная энергии, тем скорее переход Dst к большим отрицательным значениям. Ключевым фактором для достижения больших экстремальных значений индексов AE и Dst является направленность и величина $B_z$ – большие пики AE и минимумы Dst достигаются лишь при сопутствующих больших отрицательных $B_z$.

Хотя для более глубокого и точного анализа ситуаций требуется привлечение и исследование дополнительных факторов и параметров, это исследование может быть полезным при поисках функциональных связей между вариациями параметров СВ – ММП и поведением геомагнитной активности в относительно длинных периодах времени (с учетом развития ситуации на многих часов). Это, возможно, дало бы возможность по данным космической станции в точке Лагранжа предсказывать поведение магнитосферы на период, который намного длиннее времени прихода событий СВ от этой точки до магнитосферы (одного часа). Это будет полезно при разработке методики прогнозирования космической погоды.

**Литература:**

1. Schwenn, R. Solar wind: global properties, Encyclopedia of astronomy and astrophysics, Nature Publishing Group, 2001.
2. Meyer–Vernet, N. How does the solar wind blow? A simple kinetic model, Eur. J. Phys., Vol. 20 (1999) 167–176.
3. Asenovski, S., Solar Wind Influences on the Different Interplanetary and Planetary Environments, "Solar influences on the magnetosphere, ionosphere and atmosphere" Sozopol, Bulgaria, 6-10 June 2011.
4. Fernández de Campra, P. M. Zossi de Artigas. Comparison between indices during geomagnetic disturbances, Geofísica Internacional, Vol. 43, 2004, 1, 113-117.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# EFFECTS IN EQUATORIAL LOWER IONOSPHERE CAUSED BY ELECTRIC FIELDS FROM TROPOSPHERIC SOURCES

**Peter Tonev**

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

***Keywords:*** *Thunderstorms, ionospheric conductivity, heating by electric fields*

***Abstract:*** *Effects of the quasi-DC electric fields in the lower ionosphere above electrified clouds and thunderstorms at equatorial geomagnetic latitudes are studied, related to electron heating and modification of conductivity above 60 km. Numerical modeling of the self-consistent behavior of the electric fields and conductivity is developed based on the continuity equation for the electric current. The model results show significant reduction (up to 7-8 times) of the ionospheric conductivity.*

# ЕФЕКТИ В НИСКАТА ЕКВАТОРИАЛНА ЙОНОСФЕРА ПРИЧИНЕНИ ОТ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ПОЛЕТА ОТ ТРОПОСФЕРНИ ИЗТОЧНИЦИ

**Петър Тонев**

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

***Ключови думи:*** *Гръмотевични бури, йоносферна проводимост, нагряване от електрически полета*

***Резюме:****. Effects of the quasi-DC electric fields in the lower ionosphere above electrified clouds and thunderstorms at equatorial geomagnetic latitudes are studied, related to electron heating and modification of conductivity above 60 km. Numerical modeling of the self-consistent behavior of the electric fields and conductivity is developed based on the continuity equation for the electric current. The model results show significant reduction (up to 7-8 times) of the ionospheric conductivity.*

## Introduction

Structures containing electrical charges in the lower troposphere, such as separated thunderstorms, mesoscale convective systems, squall lines, hurricanes, etc., are the main tropospheric sources of strong quasi-electrostatic fields in the middle atmosphere and lower ionosphere. These electric fields of long duration (hours) can cause effects in the lower ionosphere above them concerned to electron heating: changes of physical characteristics, such as electron, ion and neutral temperatures, electric conductivity, parameters responsible for ionization balance, etc. Another possible source of quasi-electrostatic coupling between troposphere and lower ionosphere can be earthquakes. This type of coupling is latitude-dependent due to the sensitivity of electric currents and fields to geomagnetic (gm) field above 70 km. Our previous studies show that by horizontally oriented gm field (at equatorial gm latitudes) a compact tropospheric source generates much stronger electric fields in the lower ionosphere (resp. more exaggerated effects) than at higher gm latitudes under similar conditions. This is because the electric fields at 70-110 km are predominantly vertically oriented, but while the field-aligned conductivity is responsible for them at high latitudes, the much smaller Pedersen conductivity is the factor at the gm equator. Here we study the effect of conductivity change in night-time lower ionosphere at gm equatorial latitudes caused by mesospheric convective system with a large total electric charge. This goal is achieved by modeling the DC electric fields (by Maxwell equations) self-consistently with conductivity variations caused by these fields. Another possible effect is heating of the neutral atmosphere by few degrees. It is also demonstrated a highly unsymmetrical distribution of this effect in

space, and its significant shift to the east. The conductivity variations studied are indirectly responsible for generation of intensification of the electric fields in equatorial ionosphere above 90 km; these are much larger than those at higher latitudes. As a result, at gm equatorial latitudes there will be better conditions for realization of sprites: actually, this is supported by observations.

**Influence of electric fields on ionospheric conductivity**

Investigations of the quasi-DC electric fields **E** generated by tropospheric electric source of small-scale (single thunderstorms - TS) or mesoscale (e.g. mesoscale convective systems) in lower ionosphere are of interest due to different effects caused by these fields, such as electron heating, excitation of molecules, formation of streamers and sprites [1, 2], etc. The electric conductivity $\sigma$ (which is isotropic below 70 km, and anisotropic above) is one of the characteristics sensitive to the electric field **E**. Since in the ionosphere $\sigma$ influences **E**, in its turn, both characteristics [$\sigma$] and **E** have to be evaluated self-consistently.

Conductivity is performed by electrons and ions: $\sigma = \sigma_e + \sigma_i$, where $\sigma_e$ and $\sigma_i$ are the electron and the ion conductivities. The electron conductivity $\sigma_e$ is the only component of $\sigma$ which is sensitive to the applied electric field **E**; it becomes important above 60 km. The effect of electric field **E** on $\sigma_e$ arises when the electric field intensity is large enough, i.e. by $|\mathbf{E}|N_0/N > E_M = 1620$ V/m, where $N$ is the neutral atmosphere density, and $N_0$ is its density at the sea level [1]. In the last case $\sigma_e$ decreases due to the reduction of electron mobility $m_e$, since $\sigma_e = q_e N_e \mu_e$ ($N_e$ is the electron density, $q_e$ is elementary charge). The following relation (Fig.1) between electric field intensity $|\mathbf{E}|$ and $\sigma_e$ takes place [1]:

(1a) $\log(\mu_e N) = 50.97 + 3.026\log(y) + 0.084733\left(\log(y^2\right)$ by $yN_0 \geq 1620$ V/m ;

(1b) $\mu_e = \mu_{e0} = 1.36\, N_0 / N$ by $yN_0 < 1620$ V/m, where $y = |\mathbf{E}|/N$ .

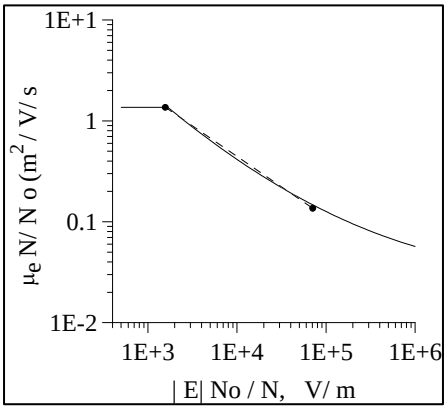



Fig. 1. Electron mobility $\mu_e$ as a function (1) of intensity of the electric field $|\mathbf{E}|$ applied (solid curve). A simple approximation valid by $|\mathbf{E}|\, N_0 / N < 70$ kV/m is shown by a dashed line.

The decrease of $\sigma$ leads to a self-consistent increase of $|\mathbf{E}|$. $N$ is adopted from *MSIS-E-90* (http://modelweb.gsfc.nasa.gov/models/msis.html) used for equatorial latitude at night for moderate solar activity. The conductivity above altitude z = 70 km is anisotropic (presented by a tensor [$\sigma$]) and becomes sensitive to the geomagnetic field **B** and its local orientation. Its components $\sigma_0$, $\sigma_P$, and $\sigma_H$ (the field-aligned conductivity and conductivities of Pedersen and Hall) are known functions of the electron density $N_e$ and on electron-neutral $\nu_{en}$ and ion-neutral $\nu_{in}$ collision frequencies:

(2a) $$\sigma_0(z) = \frac{N_e e^2}{m_e \nu_{en}};$$

(2b) $$\sigma_P(z) = N_e e^2 \left( \frac{\nu_{en}}{m_e\left(\nu_{en}^2 + \omega_e^2\right)} + \frac{\nu_{in}}{m_i\left(\nu_{in}^2 + \omega_i^2\right)} \right);$$

(2c) $$\sigma_H(z) = N_e e^2 \left( \frac{\omega_e}{m_e\left(\nu_{en}^2 + \omega_e^2\right)} - \frac{\omega_i}{m_i\left(\nu_{in}^2 + \omega_i^2\right)} \right).$$

Here $m_e$ and $m_i$ are the electron mass and average ion mass; $\omega_e = 2.992\times10^{10}|\mathbf{B}|$ s$^{-1}$, $\omega_i = \omega_e m_e / m_i$ are the electron and ion gyro-frequencies: their profiles for our calculations are obtained for geomagnetic field magnitude $|\mathbf{B}|$ in nT at gm coordinates (0°N, 30°E) in height interval 60 - 120 km from IGRF2000 used at http://williams.best.vwh.net/magvar.htm. $\nu_{en}$ in (2) enhances when $|\mathbf{E}|$ increases above $E_M N/N_0$: it is reciprocal to $\mu_e$. Hence, $\sigma_0$, $\sigma_P$, $\sigma_H$ change; they are obtained from (3) with a modified electron collision frequency $\nu_{enM} = \nu_{en}\mu_e(0) / \mu_e(|\mathbf{E}|)$ where $\mu_e$ is function of $|\mathbf{E}|$. We use the following undisturbed profiles of conductivities $\sigma_0$, $\sigma_P$, $\sigma_H$ above 50 km for night-time conditions:

| $z$, km | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\sigma_0$, S/m | $5.0^{(-11)}$ | $8.0^{(-11)}$ | $1.5^{(-9)}$ | $8.0^{(-7)}$ | $1.2^{(-5)}$ | $4.0^{(-4)}$ | $2.0^{(-2)}$ |
| $\sigma_P$, S/m | $5.0^{(-11)}$ | $8.0^{(-11)}$ | $1.5^{(-9)}$ | $1.6^{(-7)}$ | $1.8^{(-7)}$ | $2.0^{(-7)}$ | $2.1^{(-7)}$ |
| $\sigma_H$, S/m | 0 | 0 | $1.0^{(-9)}$ | $4.5^{(-7)}$ | $2.1^{(-6)}$ | $4.0^{(-6)}$ | $7.0^{(-6)}$ |

Below 60 km $\sigma$ is invariable scalar: $\sigma$ = $2\times10^{-14}$, $3\times10^{-12}$, $4\times10^{-11}$ at $z$ = 0, 20, 40 km, respectively [1]. The undisturbed profiles of $N_e$, $\nu_{en}$ and $\nu_{in}$ correspond to these conductivity profiles according to (2).

**3D self-consistent model of DC electric field and conductivity**

For the self-consistent study of **E** and $[\sigma]$ the continuity equation is solved for the conduction current $\mathbf{j} = [\sigma]\,\mathbf{E} = \mathbf{E}\nabla\Phi$ with account to conductivity modification expressed by Eqs. (1, 2).

(3) $$\nabla\cdot\mathbf{j} = \nabla\cdot([\sigma]\nabla\Phi) = 0.$$

Here $\Phi$ is the potential of **E**. Eq.(3) is solved in Cartesian coordinates ($x,y,z$) (x points to east; $y$ – to north; $z$ is upward) in domain of altitudes 50-110 km with horizontal distances 0 - $y_B$ by axis $y$, $y_B$ = 300 km to the north, $x_{BW}$ = 150 km (to west), $x_{BE}$ = 400 km (to east). The conductivity tensor $[\sigma]$ is:

(4) $$[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_P & 0 & \sigma_H \\ 0 & \sigma_0 & 0 \\ -\sigma_H & 0 & \sigma_P \end{bmatrix}$$

Since $[\sigma]$ is function of $|\mathbf{E}|$, Eq.(3) is non-linear. Boundary conditions are:

BC1. At lower boundary $z_{LB}$= 50 km distributions $\Phi_{LB}$ ($x,y$) and $E_{zLB}$ ($x,y$) are obtained by the analytical model [4] (since no influence of the geomagnetic field takes place).

BC2. $E_y(y{=}0) = 0$ due to symmetry of distributions of $\Phi$ and **E** related to $y$=0.

BC3. $\Phi = 0$ at lateral boundaries $y_B$, $x_{BW}$ and $x_{BE}$.

Eq. (3) with boundary conditions 1-3 is solved numerically (by multiscale method) and iteratively with respect to the dependence between distributions of **E** and $[\sigma]$ above 60 km.

**Features of electric field distributions in lower equatorial ionosphere**

Important features of distributions above 80 km of the electric field **E** by tropospheric sources at equatorial gm latitudes are demonstrated in [5, 6] with no account to its sensitivity to the conductivity $[\sigma]$, but they are valid also by conditions considered here. These features are following:

1) The electric current **j** is re-oriented above 80 km from vertical to horizontal (due to Hall conductivity) which flows to east, i.e. $j_x >> j_z$.

2) In height interval 80-100 km at equatorial latitudes the dominating electric field component $E_z$ is much larger than the dominating component $E_z$ at high latitudes (HL) by similar conditions. The reason is that at the equatorial latitudes (EQL), where the eastward current $j_x$ is large, $E_z \approx j_x/\sigma_H$, while at high latitudes $E_z \approx j_z/\sigma_0$, and $\sigma_H << \sigma_0$. In a sample case the ratio between $E_z$ in both cases is:

| Altitude $z$, km | 80 | 85 | 90 | 95 |
|---|---|---|---|---|
| $E_z$(EQL) / $E_z$(HL) | 11.4 | 27.2 | 61.5 | 70.4 |

With respect to conductivity modifications, the electric fields above 75 km increase self-consistently with the decrease of $\sigma$. The ratio $E_z$(EQL) / $E_z$(HL) may become even larger due to non-linearity.

3) max $E_z$ at a fixed altitude is significantly shifted horizontally related to the source.
4) The horizontal dimensions of the electric field E are few hundreds of kilometers (asymmetric).

The estimations given above are for a sample case of a centered charge located at altitude 15 km.

A conclusion from 3), 4) is that the meso-scale convective systems with large horizontally distributed charge can generate at 80 - 100 km much larger electric fields than by a single thunderstorm cell, due to the effective superposition.

### Ionospheric effect of electric fields by mesoscale convective systems

The effect on the ionospheric conductivity from a meso-scale convective structure with a large total electric charge, $Q$ = 1500 C, is studied by assumption that the charge is uniformly distributed along a straight line of length 100 km with east-west orientation. By such orientation the superposition of electric fields in lower ionosphere will be most effective, according to features 3, 4. The results for the distribution of the DC electric field **E** generated in the lower ionosphere, in a vertical east-west oriented cross-section plain S, are shown in Fig.2. The main characteristics of the electric fields are summarized in the Table. The electric field is large due to cumulation effect for the currents. The horizontal scale, at which $E_z$ is close to its maximum ($E_z > 0.5\ E_{max}$), is tens of kilometers.

Table. Maximum vertical electric field $E_{zmax}$ at altitudes 70, 85, 95 and 100 km

| Altitude, km | 75 | 85 | 95 | 100 |
|---|---|---|---|---|
| $E_{max}$, mV/m | 750 | 57 | 1.9 | 0.2 |
| Shift of $E_{max}$ to East, km | 2 | 34 | 56 | 75 |

The results in Fig.2 can help to explain the large electric fields above a nighttime thunderstorm with several cells observed experimentally [3] at altitude of 95 km. Also, the fact that the red sprites usually appear at distance ten of kilometers far from the causative lightning [2] possibly can be explained by the similar horizontal shift of electric field maximum derived here theoretically.

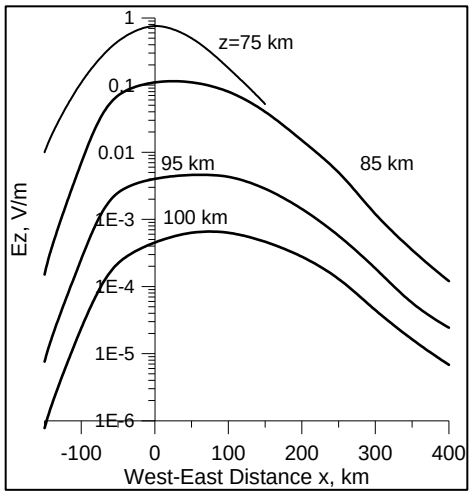



Fig. 2. $E_z$ at different ionospheric altitudes by a mesoscale convective system with total electric charge $Q$ = 1500 C uniformly distributed in a straight line of length 100 km of west-east orientation. $E_z$ is a function of west-east distance $x$ from the center of MCS.

Fig. 3 demonstrates the self-consistent modification of the conductivity field-aligned conductivity $\sigma_0$ at altitudes 75, 85, 95, and 100 km in the vertical plain $S_\perp$ across the MCS and transverse to the magnetic field **B** (west-east oriented), as in Fig.2. The results show a significant decrease of conductivity: these variations depend on the altitude $z$ and on the horizontal distance. The maximum change of $\sigma$ at each altitude is given below:

| $z$, km | 75 | 85 | 95 | 100 |
|---|---|---|---|---|
| Max relative change | 7.6 | 5.4 | 2.0 | 1. |
| $x_{max}$ (horiz. distance) | 10 | 35 | 65 | - |

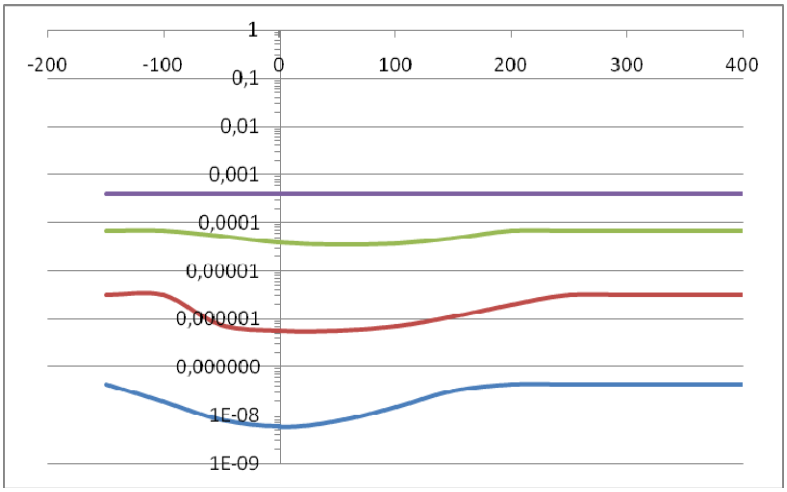



Fig. 3. Modified field-aligned conductivities $\sigma_0$ by the elecftric field **E** at altitudes 75, 85, 95, and 100 km, shown as functions of the west-east distance *x* above an MCS. Conditions are the same as in Fig.2.

The conductivity modification is largest at 75 km and absent at 100 km. The horizontal distance, where the effect of conductivity reduction is most significant, increases with the altitude up to tens of km.

**Conclusions**

The following conclusions are derived from this study:

- A meso-scale convective system at equatorial latitudes with big total charge can generate at night very large quasi-DC electric fields in lower ionosphere: of the order of 1 V/m at altitude 75 km, 0.1 V/m at 85 km, and several millivolt per meter at 95 km.
- The large electric fields are a result of several peculiarities of their distribution: they are characterized with large horizontal extent which is biggest in eastward direction (hundreds of kilometers). The electric field maximum has a horizontal shift by many tens (sometimes, even by few hundreds) kilometers with respect to their source.
- These large electric fields cause significant decrease of the field-aligned conductivity: up to 7.6 times at 75 km; at higher altitudes this effect becomes smaller.

Preliminary analysis shows that the large electric fields thus generated in nighttime equatorial lower ionosphere can cause increase of neutral temperature by few degrees.

It is important to obtain further an estimation whether and in what extent the meso- and larger scale effects in tropical lower ionosphere caused by tropospheric sources influence global processes of the atmopsheric electrical circuit, such as Schumann resonances, etc.

**References:**

1. Pasko, V. P., U. S. Inan, T. F. Bell. Ionospheric effects due to electrostatic thundercloud fields, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, **60**, 1988, 863.
2. Sao Sabbas, F. T., D. D. Sentman et al. Statistical analysis of space-time relationships between sprites and lightning, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, **65**, 2003, 525.
3. Holzworth, R. H., M. C. Kelley, et al. Electrical measurements in the atmosphere and the ionosphere over an active thundestorm. 2. Direct current electric fields and conductivity, *J.geophys.res.*, **90**, 1985, A10, 9824.
4. Velinov, P. I. Y, P. T. Tonev. Modelling the penetration of thundercloud electric fields into the ionosphere, *J.Atmos.Terr.Phys.*, **57**, 1995, 687.
5. Tonev, P. T., P. I. Y. Velinov. Electrostatic fields above thunderclouds at different latitudes and their ionospheric effects, *Adv. Space Res.*, **30**, 2002, 2625.
6. Tonev, P. T., P. I. Y. Vellnov. Variations of quasi-electrostatic fields and ionospheric potential above lightning discharge at equatorial latitudes, *Adv. Space Res.*, **35**, 2005, 1461.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# КАРТИРАНЕ ПО ЕЛЕМЕНТЕН СЪСТАВ НА ДИСПЕРСНОУЯКЧЕНА АЛУМИНИЕВА СПЛАВ

**Анна Бузекова – Пенкова[1], Стела Атанасова – Владимирова[2]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2] Институт по Физикохимия - Българска академия на науките*
*e-mail: a_bouzekova@abv.bg*; statanasova@ipc.bas.bg

***Ключови думи:*** *алуминиеви сплави, ултрадисперсен диамантен прах*

***Резюме:*** *Извършено е картиране на нов композиционен материал на базата на алуминий, уякчен с диамантен прах и волфрам. Използвани са различни методи за определяне на основния и примесния състав и структурата, при окачествяване на области с нанометрови размери. Материалът представлява значителен интерес за използването му в космическата техника и в частност за космическото приборостроене. Ето защо експериминталната проверка на качествата на този материал в условията на открития космос, се предхожда от предварителни изследвания, а последващите резултати ще са от значение за определяне влиянието на различните компоненти на работната среда върху композита. Идейният проект се реализира в сътрудничество с водеща космическа държава - Руския модул на Международната Космическа Станция (МКС) , в което разделение, колективът участва активно с блок ДП-ПМ, като част от експеримента ОБСТАНОВКА.*

# ELEMENTAL MAPPING OF DISPERSE-REINFORCED ALUMINIUM ALLOY

**Anna Bouzekova – Penkova[1], Stela Atanasova – Vladimirova[2]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2] Institute of Physical Chemistry – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail:*a_bouzekova@abv.bg*;* statanasova@ipc.bas.bg

***Keywords:*** *Aluminum alloys, ultradispersed diamond powder*

***Abstract:*** *A mapping of a new aluminum-based composite material, reinforced with diamond powder and tungsten, was performed by scanning electron microscopy (SEM). Various methods were used to determine the primary and the additive composition and structure, by analyzing nanosized regions. The material is of considerable interest for the aerospace engineering sector and in particular for manufacturing aerospace instrumentation. Therefore the experimental investigation of the properties of this material in terms of outer space is preceded by preliminary studies, and the ensuing results are important for determining the influence of the various work environment components on the composite. The conceptual design is implemented in cooperation with a leading space-faring nation – the Russian module on the International Space Station (ISS), in whose division the team is actively participating with block DP-AF, as part of the OBSTANOVKA experiment.*

## Въведение

Все по-необходима става нуждата от генериране на информация и картиране, които да провокират действие за решаване на различни изисквания свързани със сплавите за космически приложения.

Извършено е картиране на нов композиционен материал на базата на алуминий, сплав В95, уякчен с диамантен прах /УДДП/ и волфрам /W/. Този метод на изследване картиране, наричано още картографиране по елементен състав ни дава връзката между състав, структура и свойствата на металите. Редица важни свойства: например твърдост, якост, пластичност, жилавост, електропроводимостта и някои магнитни характеристики са структурно чувствителни – т.е. те се променят значително не само когато се промени химичният състав на сплавта, но и когато формираната структура или някой структурен параметър се измени в резултат на

нагряване, деформация, или друг вид взаимодействие върху сплавта. Ето защо експериминталната проверка на качествата на този материал в условията на открития космос, се предхожда от предварителни изследвания, а последващите резултати ще са от значение за определяне влиянието на различните компоненти на работната среда върху композита. Идейният проект се реализира в сътрудничество с водеща космическа държава - Руския модул на Международната Космическа Станция (МКС) , в което разделение, колективът участва активно с блок ДП-ПМ, като част от експеримента ОБСТАНОВКА.

Блокът с пробите е изнесен и закрепен от космонавт към повърхността на блок КВД1 чрез “Велкро”. След престой не по-малък от 6 (шест) месеца на повърхността на КВД1 в условията на околоземната орбита, блокът ДП-ПМ трябва да бъде върнат на Земята за изследвания и сравнения с референтни проби оставени на земята. Изследванията разгледани по-долу, ще бъдат използвани като сравнителен анализ.

Ето защо ние проведохме изследване картиране по елементен състав предварително, зада може след завръщането на образците от космоса да се съпоставят резултатите. Изследването се направи (проведе на Сканиращ Електронен Микроскоп (SEM), Joel JSM – 6390;EDS – INCA-sight Oxford**с** програма ImageJ за цифрова обработка на изображенията.

**Теория на метода**

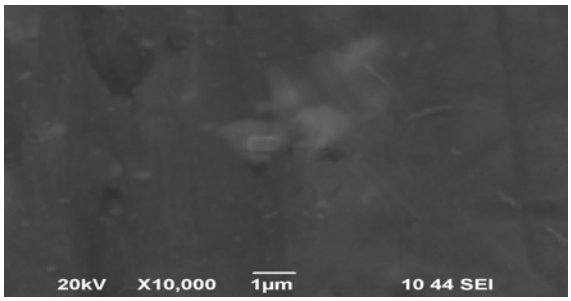
Методът SEM се основава на взаимодействието на електронен сноп (лъч) с атомите в съответния материал. Електронният сноп се фокусира до нанометрови размери чрез магнитни елементи и при попадането му върху образеца се наблюдават различни ефекти даващи информация за образеца.

В зависимост от използвания детектор и геометрията на експеримента има различни режими за работа на SEM. По-долу са изброени някои от тях заедно със съответната информация която носят за образец.

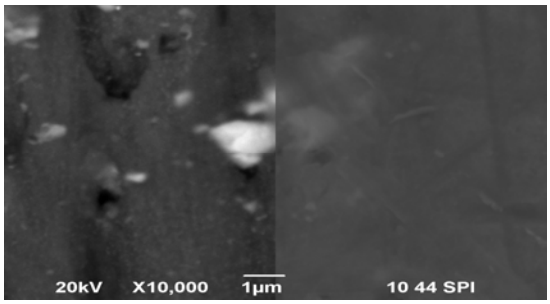
**BEC –** обратно отразени електрони (дава информация за химичния състав, структура на образеца) Наричат се отразени, защото лъча се удря, избива електроните и спектъра ги улавя и казва процентното съдържание

**SEI –** вторични електрони (дава информация за топографията на повърхността).

От фигура 1, фигура 2 се вижда, че снимките при SEI са мътни, защото не е релефен образаца, затова избираме BEC за направата на по-нататъшните изследвания.

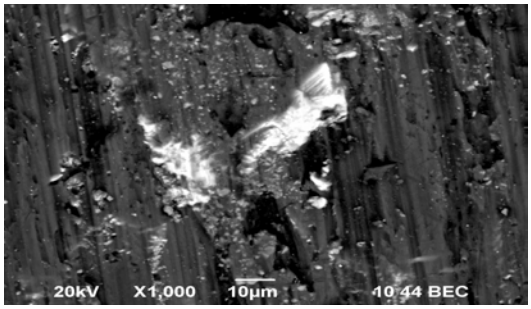



фигура 1

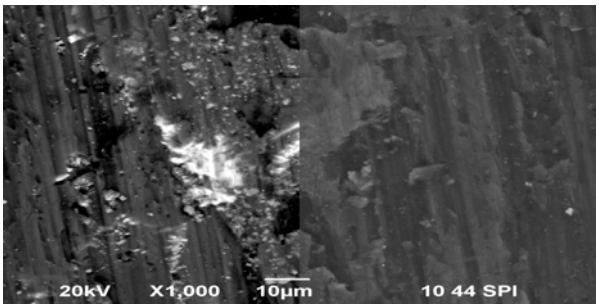



фигура 2

**Снимки при BEC за първи учасък**




фигура 3




фигура 4

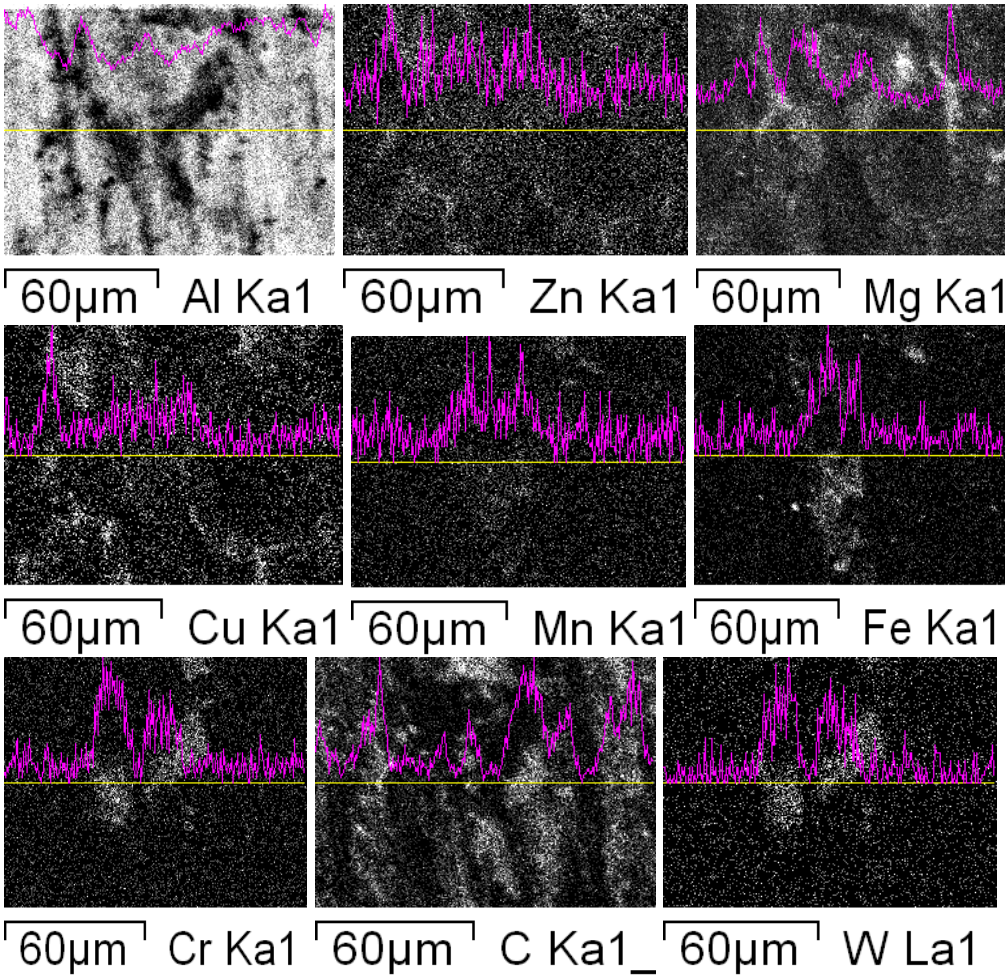
Това е най-използвания режим на работа при SEM. Използват се вторичните електрони излъчвани от тънък слой до повърхността. Броят вторични електрони силно зависи от ъгъла между първичния електронен сноп и повърхността, следователно образа дава информация за релефа на образеца.

На фигура 4 е BEC и SEI едновременно.

Снимките са направени при увеличение x10 000 и 60 µm дължина на изследвания участък.

След получаване на топографско изображение от вторичните електрони, е възможно да се изследва химичния състав на избрани области. Картографиране на елементното разпределение в изследваната площ. В дадена точка от образеца се записва спектъра на излъчените фотони и се анализира интензитета на характеристичните линии за даден елемент.

Картографиране по елементи
Лилавата линия ни дава обогатяването в % на елемента за зададеният участък




фигура 5

**Бялото** ни показва колко е насищането на дадения под снимката елемент в изследвания участък

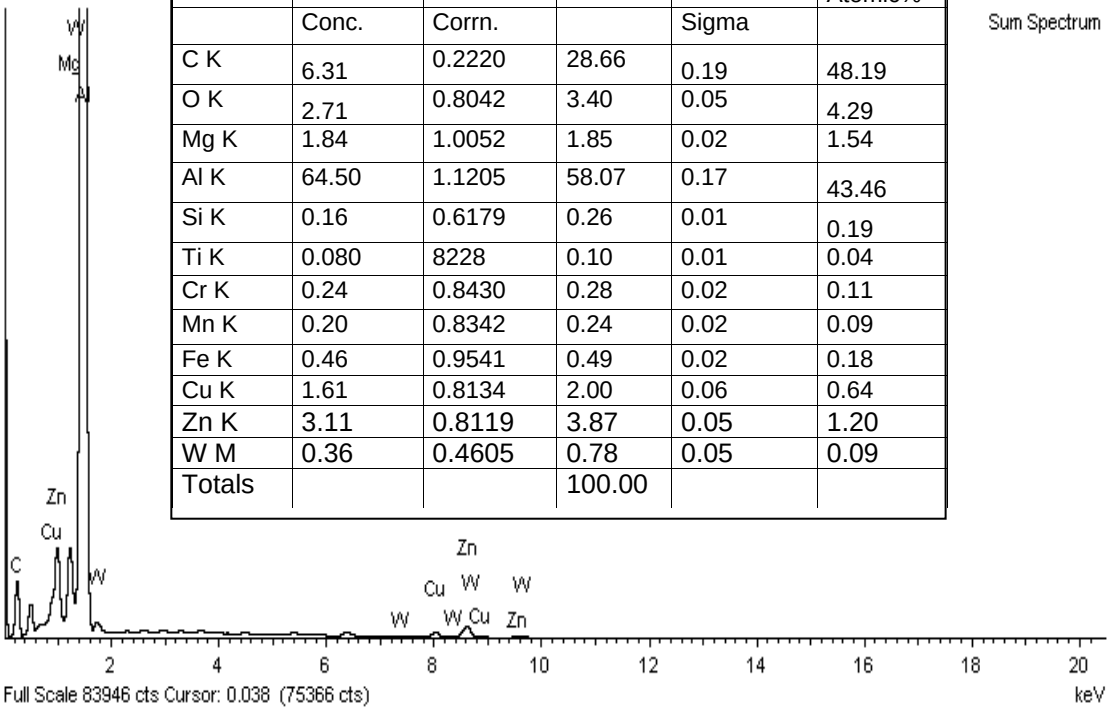
**К** –енергитична серия. Определена автоматично от **SEM**

От картата се вижда,че Mg- Cr- W ; Zn-Cu-Mg; Cu-Mn-Fe са направили фаза.

Размера на ултрадисперсния диамантен прах-частиците са много малки 4-7 µm и SEM ги разпознава като C (въглерод).

Таблица 1

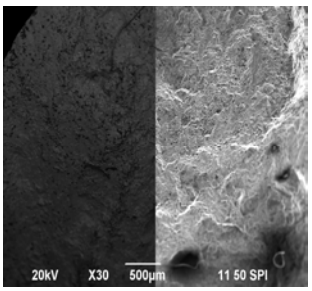
| Element | App | Intensity | Weight% | Weight% | Atomic% |
|---|---|---|---|---|---|
| | Conc. | Corrn. | | Sigma | |
| C K | 6.31 | 0.2220 | 28.66 | 0.19 | 48.19 |
| O K | 2.71 | 0.8042 | 3.40 | 0.05 | 4.29 |
| Mg K | 1.84 | 1.0052 | 1.85 | 0.02 | 1.54 |
| Al K | 64.50 | 1.1205 | 58.07 | 0.17 | 43.46 |
| Si K | 0.16 | 0.6179 | 0.26 | 0.01 | 0.19 |
| Ti K | 0.080 | 8228 | 0.10 | 0.01 | 0.04 |
| Cr K | 0.24 | 0.8430 | 0.28 | 0.02 | 0.11 |
| Mn K | 0.20 | 0.8342 | 0.24 | 0.02 | 0.09 |
| Fe K | 0.46 | 0.9541 | 0.49 | 0.02 | 0.18 |
| Cu K | 1.61 | 0.8134 | 2.00 | 0.06 | 0.64 |
| Zn K | 3.11 | 0.8119 | 3.87 | 0.05 | 1.20 |
| W M | 0.36 | 0.4605 | 0.78 | 0.05 | 0.09 |
| Totals | | | 100.00 | | |



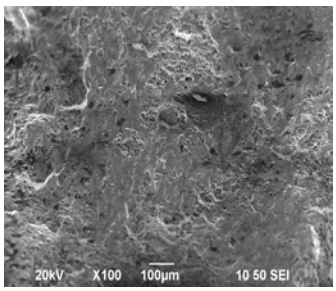

графика 1

На Таблица 1. е показан сумарен спектър от изследвания участък.

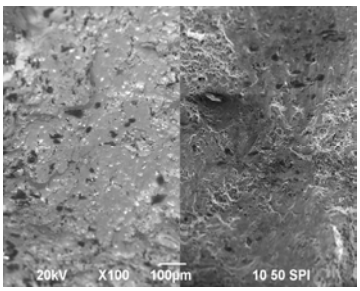
Снимки на лом за проба 1 с високи якостни показатели




фигура 6



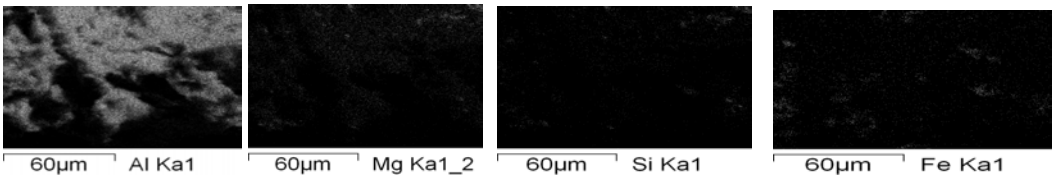

фигура 7




фигура 8

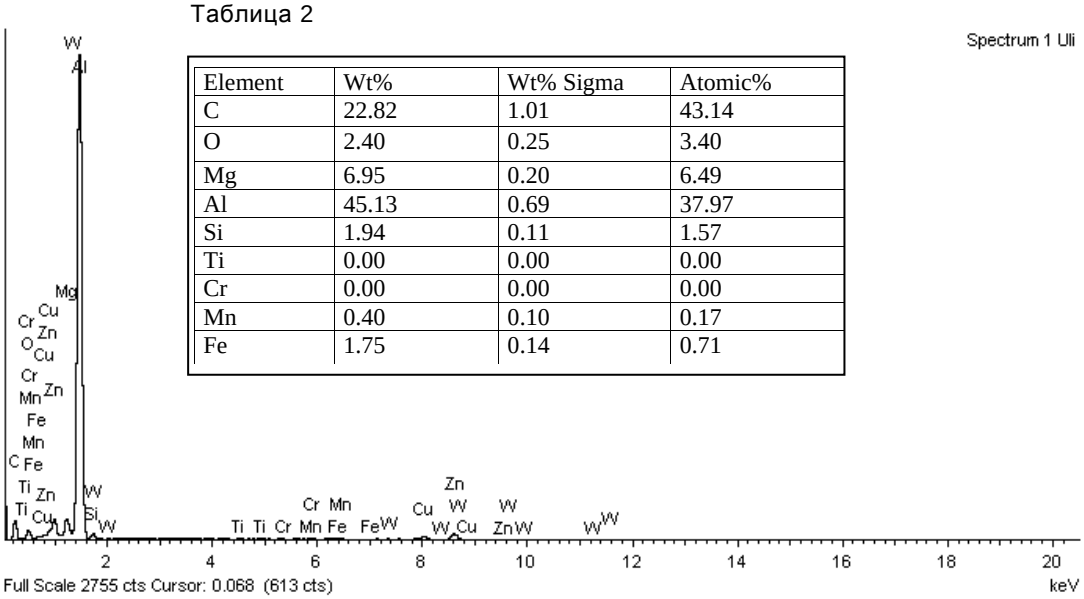
На фигура 6 е показано изображение на изследвания от нас лом.
На фигура 7 е показана снимка при SEI в избрания от нас участък, а на фигура 8 BEC & SEI

Картиране по елементи за проба 1 с високи якостни показатели




фигура 8

Таблица 2

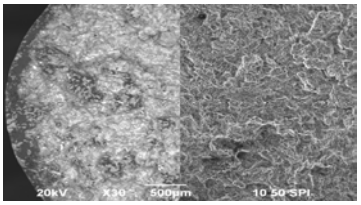



| Element | Wt% | Wt% Sigma | Atomic% |
|---|---|---|---|
| C | 22.82 | 1.01 | 43.14 |
| O | 2.40 | 0.25 | 3.40 |
| Mg | 6.95 | 0.20 | 6.49 |
| Al | 45.13 | 0.69 | 37.97 |
| Si | 1.94 | 0.11 | 1.57 |
| Ti | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cr | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Mn | 0.40 | 0.10 | 0.17 |
| Fe | 1.75 | 0.14 | 0.71 |

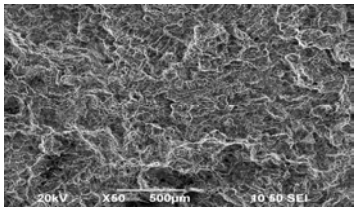
графика 2

Графика 2 и Таблица 2 процентно съдържание на елементите в лома

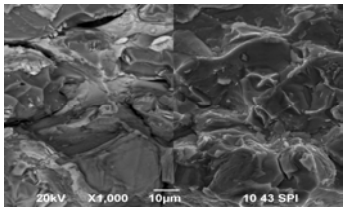
Снимки на лом за проба 2 с ниски якостни показатели



фигура 9



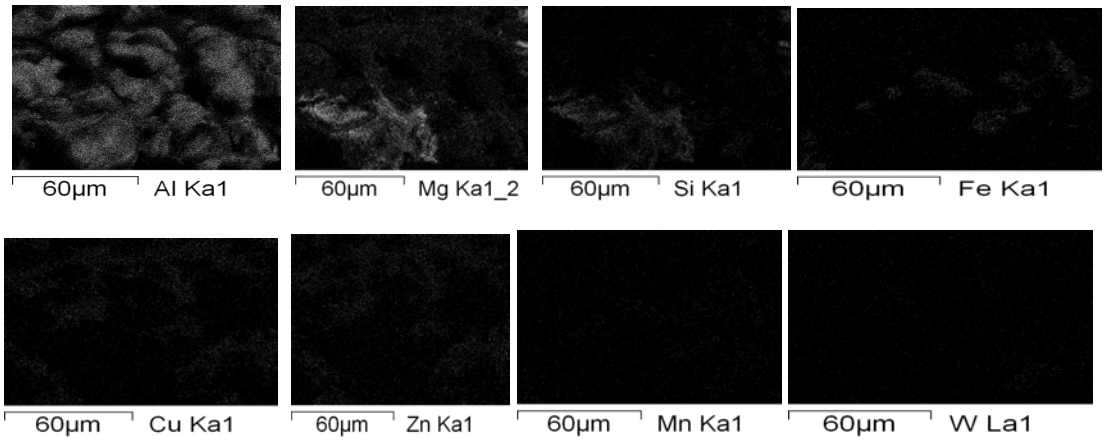
фигура 10



фигура 11

На фигура 9 е показано изображение на изследвания от нас лом.
На фигура 10 е показана снимка при SEI в избрания от нас участък, а на фигура 11 BEC & SEI

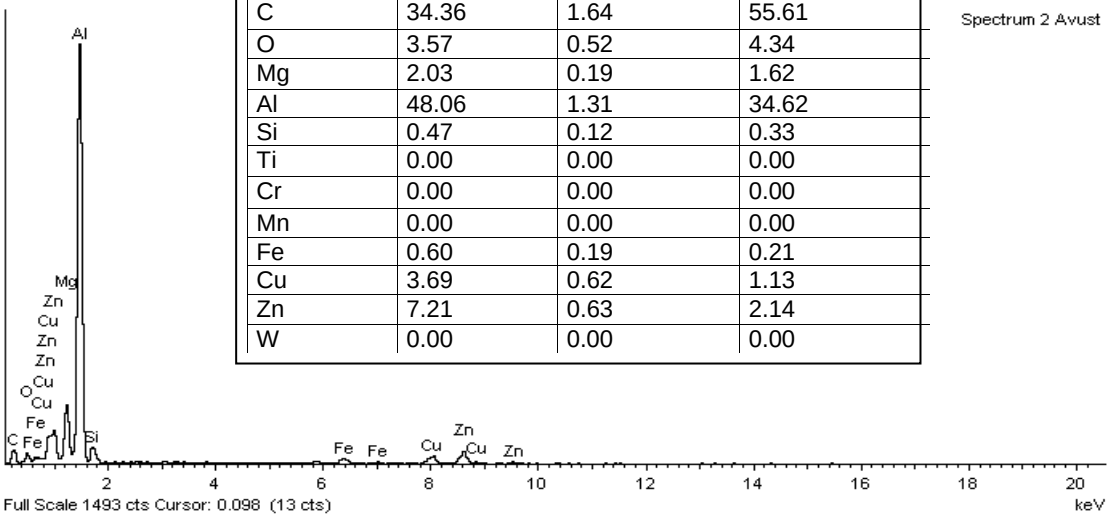
Картиране по елементи за проба 2 с ниски якостни показатели




фигура 12

Таблица 3

| Element | Wt % | Wt % Sigma | Atomic% |
|---|---|---|---|
| C | 34.36 | 1.64 | 55.61 |
| O | 3.57 | 0.52 | 4.34 |
| Mg | 2.03 | 0.19 | 1.62 |
| Al | 48.06 | 1.31 | 34.62 |
| Si | 0.47 | 0.12 | 0.33 |
| Ti | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cr | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Mn | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Fe | 0.60 | 0.19 | 0.21 |
| Cu | 3.69 | 0.62 | 1.13 |
| Zn | 7.21 | 0.63 | 2.14 |
| W | 0.00 | 0.00 | 0.00 |




графика 3

**Изводи:**

- Материалът представлява значителен интерес за използването му в космическата техника и в частност за космическото приборостроене

- Изучаването на новополучените материали е трудно, но пък резултатите си заслужават усилията. Това изследване ще бъде по-ефективно при съпоставката на наземните образци с летателните. Тези които са на Международната Космическа Станция.

- От картата за проба 1 се вижда, че Mg- Cr- W ; Zn-Cu-Mg; Cu-Mn-Fe са направили фаза.

Размера на ултрадисперсния диамантен прах-частиците са много малки 4-7 μm и SEM ги разпознава като C (въглерод).

- От проба 1 за лом с с високи якостни показатели се вижда, че Mg-Cu-Si са направили фаза.

- От проба 2 за лом с ниски якостни показатели

се вижда, че Mg-Si, Cu-Zn-Fe са направили фаза. В този участък процентното съдържание на W е „0", липсва уякчаваща фаза.

**Литература:**


1. Т у ш и н с к и й, Л. И., П л о х о в А. В., Т о к а р е в А. О, и др., Методы исследования материалов, Мир, 2004. - 161 с
2. А г а м и р о в, Л. В, Метолы статистического анализа механических испытаний. Машиностроение, 2004 - 128 с
3. S. J. B. R e e d, Elektron Microprobe Analysis and scanning Electron Microskcopy, University of Cambridge, 2005
4. Б у с л а е в а, Е., Алюминий; влияние примесей на свойства алюминия; деформируемые и литейные алюминиевые сплавы

**Session 2**

# *Aerospace Technologies and Biotechnologies*

Chairmen: Prof. Petar Getsov,
Assoc. Prof. Tania Ivanova
Secretary: Chief Assistant Iliana Ilieva

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

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

**Таня Иванова**

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

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

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

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

**Tania Ivanova**

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

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

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

## Въведение

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

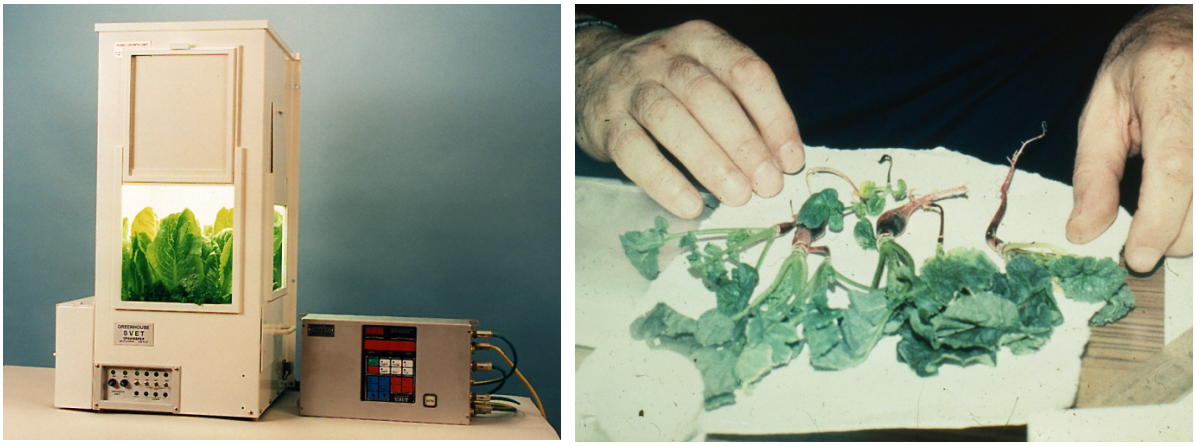
Описани са накратко апаратурата, дейностите и осъществените експерименти по време на всеки етап от изпълнението на проекта, свързан с разработката на всяка от модификациите на КО СВЕТ, както и съответното им финансиране по различни програми, проекти и договори, представени са накратко и резултатите.

**Космическите оранжерии «СВЕТ»**

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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




Фиг. 2. а) Космонавтът С. Авдеев получи първите «космически» семена от пшеница през1998 г.
б) Салатени култури бяха отгледани през 2000 г.

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

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

**Подготовка на мисия на човека към Марс**

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

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

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

През 2006-2010 г. се изпълняваше проекта “Оранжерея-Марс” във връзка с подготовката на полет на човека до Марс - отново в сътрудничество с ИМБП, Москва (по специално споразумение по ЕБР между БАН и РАН в областта на Фундаменталните космически изследвания). Проектът се осъществяваше паралелно и във връзка с експеримента „Марс-500” - наземна имитация на полета до Марс, в който шестима доброволци бяха затворени за 520 дни в Наземен експериментален комплекс (НЕК). В един от модулите бе разположена голяма оранжерия 3 $м^2$, в която бяха отработени редица ключови въпроси свързани с техниката, биотехнологията и нуждите на екипажа от свежа и витаминозна храна и психологическа подкрепа [10].

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

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

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

**Заключение**

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

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

**Литература:**


1. I v a n o v a, T. N., P.T. K o s t o v. Prospects for the Use of the Higher Plants in Space Flight-Experiment "Substrat", *Report on the 37th IAF Congress*, 4-11 October 1986, Innsbruck, Austria, № IAF/IAA-86-374.
2. I v a n o v a, T.N., Yu.A.Bercovich, A.L.Mashinskiy, G.I.Meleshko. The First Vegetables Have been Grown up in the "SVET" Greenhouse by Means of Controlled Environmental Conditions. *Microgravity Quarterly*, Vol. 2, 2, 1992, pp. 109-114.
3. 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.Sytchov, M.A.Levinskikh, I.G.Podolski, D.B.Bubenheim, G.Jahns. Six-Month Space Greenhouse Experiments - a Step to Creation of Future Biological Life Support Systems. *Acta Astronautica*, Vol. 42, Nos. 1-8, 1998, pp. 11-23.
4. L e v i n s k i k h, M.A., V.N. S y c h e v, T.A. D e r e n d y a e v a, O.B. S i g n a l o v a, F.B. S a l i s b u r y, W.F. C a m p b e l l, D.L. B u b e n h e i m and G. J a h n s. Analysis of the Spaceflight Effects on Growth and Development of *Super Dwarf* Wheat in Greenhouse SVET. *J. Plant Physiol*ogy, 156(4), 2000, pp. 522-529.
5. M u s g r a v e, M.E., A.K u a n g et al. Gravity Independence of Seed-to-seed Cycling in Brassica rapa*. Planta*, 210, 2000, pp. 400-406.
6. L e v i n s k i k h, M.A., V.N. S y c h e v et al. Growth and Development of Plants in a Row of Generations under the Conditions of Space Flight (Experiment Greenhouse-5). *Aviakosm. Ekolog. Med.*, 35(4), 2001, pp. 45-49.
7. K o s t o v, P., T. I v a n o v a, I. D a n d o l o v, S. S a p u n o v a, I. I l I e v a. Adaptive Environmental Control for Optimal Results during Plant Microgravity Experiments. *Acta Astronautica*, Vol. 51, 1-9, 2002, pp. 213-220.
8. I v a n o v a, T. N., P. T. K o s t o v, S. M. S a p u n o v a, I. I. I l i e v a, S. K. N e y c h e v. Plant Cultivation in Space: Next Steps towards the SVET-3 Space Greenhouse Project and Current Advances. *Space Technology*, Vol. 26, Nos.3-4, 2006, pp. 129-136.
9. 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.
10. И в а н о в а, Т., И. И л и е в а, Й. Н а й д е н о в, В. С ы ч е в, М. Л е в и н с к и х. Стартира проекта "МАРС-500" - участия в наземния експериментален комплекс. *Proceedings of the 3rd Scientific Conference with International Participation SENS 2008*, 4-7 June 2008, Golden sands, Bulgaria, 2008, pp. 64-69.
11. I v a n o v a, T., I. D a n d o l o v, I. I l i e v a, Y. N a y d e n o v, M. L e v i n s k i h, V. S y c h e v. New LEDs Light Module Developed on "Greenhouse-Mars" Project. *Aerospace Research in Bulgaria*, 23, 2009, pp. 85-102.
12. 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.
13. И л и е в а, И., Й . Н а й д е н о в, Т. И в а н о в а, И. Д а н д о л о в, Е. Г е ш е в а, В. Н е н о в а. Влияние на съотношението зелена : синя светлина върху физиологията на листна цикория при RGB осветление. *Proceedings of the Eighth Scientific Conference with International Participation SES 2012*, 2013, pp. 239-243.
14. I v a n o v a, T. 25 years SVET Space Greenhouse Project. *Proceedings of the Fifth Scientific Conference with International Participation SENS 2009*, 2-4 November 2009, Sofia, 2010, pp. 59-65.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ПРОЕКТИ НА ЕКА ЗА ИЗСЛЕДВАНИЯ С РАСТЕНИЯ В УСЛОВИЯ НА МИКРОГРАВИТАЦИЯ

**Таня Иванова, Иван Дандолов**

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

***Ключови думи:*** *ЕКА, EMCS, Biolab, MELiSSA, микрогравитация, висши растения*

***Резюме:*** *Разгледана е апаратурата на Европейската космическа агенция за експериментални изследвания с растения в условия на микрогравитация на борда на Международната космическа станция - EMCS (Европейска модулна култивационна система) и Biolab (на която бяхме поканени да провеждаме изследвания по проекта SURE). Специално внимание е отделено на грандиозния проект MELiSSA за създаване на наземна затворена екосистема на базата на висши растения и микроорганизми за осигуряване на живота на екипажите при бъдещите дългосрочни космически мисии на Луната и Марс.*

# ESA PROJECTS FOR PLANT RESEARCH IN THE CONDITIONS OF MICROGRAVITY

**Tania Ivanova, Ivan Dandolov**

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

***Keywords:*** *ESA, EMCS, Biolab, MELiSSA, microgravity, higher plants*

***Abstract:*** *A brief description is made of the European Space Agency's equipment for plant experiments in microgravity onboard the International Space Station - EMCS ( European Modular Cultivation System ) and Biolab (we were invited to join the project SURE). Special attention is paid to the spectacular project MELiSSA, focused on the creation of a closed-loop ecological system, based on higher plants and microorganisms for the life support of the crews during the future long-term manned missions on the Moon and Mars.*

## Въведение

При бъдеща мисия до Марс и обратно, с продължителност от минимум 500 дни, за шестчленен екипаж ще са необходими около 30 тона провизии ($O_2$, вода, храна) или средно по 5 кг на човек на ден. Съвременните космически кораби осигуряват пренасянето на около 9 тона полезен товар, и то при излитане от лунната повърхност. Новите технологии правят възможно рециклирането на водата и въздуха, но не и производството на храна. Това е и основната причина, растенията да се разглеждат като основно и незаменимо звено в биологичните системи за осигуряване на живота (БСОЖ) на космонавтите. Те са идеалния източник на храна, като едновременно с това спомагат за рециклиране на въздуха и водата, а не на последно място благотворно влияят и върху психологическото състояние на екипажа. Основните минуси при отглеждане на растения са бавните темпове на производство на полезна биомаса,високия процент на отпадъчни продукти (около 50% от произведената биомаса), необходимостта от непрекъснато подаване на хранителни вещества, непълно използване на енергията на светлината, трудно моделиране на процесите на развитие, както и чувствителността им към патогенни организми [1,2].

За да се стигне до реалното използване на растенията, като звено в БСОЖ е необходимо да се натрупат достатъчно познания и опит относно отглеждане на растения в затворена среда в условия на микрогравитация [3,4].

Според програмата за изследвания с растения на Европейската космическа агенция (ЕКА) основните етапи, които трябва да бъдат изминати са:

1. Провеждане на научни изследвания на поведението на растения при различна гравитация в диапазон 0÷2 g, за да бъде проучена биологията им при лунна (0.17 g) и марсианска (0.38 g) гравитация;
2. Систематичен анализ на всички фази на растеж и репродукция на растенията по време на пълния жизнения цикъл на развитие, с цел да се намерят критичните места и така да се оптимизира използването на ресурсите в бъдещите БСОЖ;
3. Преминаване към пълноценно използване на висшите растения в БСОЖ.

За постигане на горните цели е необходимо да се проведат задълбочени изследвания в областта на:

- адаптивен контрол на средата;
- методите за доставяне на хранителни вещества за растенията;
- оптимизацията на източниците на светлина;
- методи за откриването и отстраняването на патогенни организми.

Това ще спомогне за разработването на принципно нова апаратура с цел максимално автоматизиране на процесите по отглеждане на растения.

В момента две апаратури - разработка на ЕКА осигуряват възможности за експерименти с висши растения на борда на Международната космическа станция (МКС) в условия на променлива гравитация 0÷2 g създадена с центрофуги. Въпреки ограничения обем на експерименталните контейнери (за сравнение камерата на КО СВЕТ е с размери 330x330x400 mm), те поставят едно добро начало, което в сравнително кратки срокове ще доведе до пълноценното им използване в космическите полети и при експедициите до Луната и Марс [5].

**EMCS – Европейска модулна култивационна система**

EMCS (European Modular Cultivation System) е изстреляна на МКС с мисията STS-121 през юли 2006 година (фиг. 1а). Инсталирана е в американската лаборатория Destiny [6]. Предназначена е за експерименти с растения в малки експериментални контейнери с размери 60x60x160 mm за изучаване влиянието на микрогравитацията върху началното им развитие и растеж (фиг.1б). Предвидени са и експерименти с насекоми и земноводни, а също и такива с клетъчни и тъканни култури. EMCS е разработена в рамките на договор на ЕКА с екип, ръководен от Astrium, Германия. Планирано е системата да бъде в експлоатация поне десетина години.



Фиг.1. Апаратурата EMCS: а) Общ изглед; б) Зареждане на експериментален контейнер

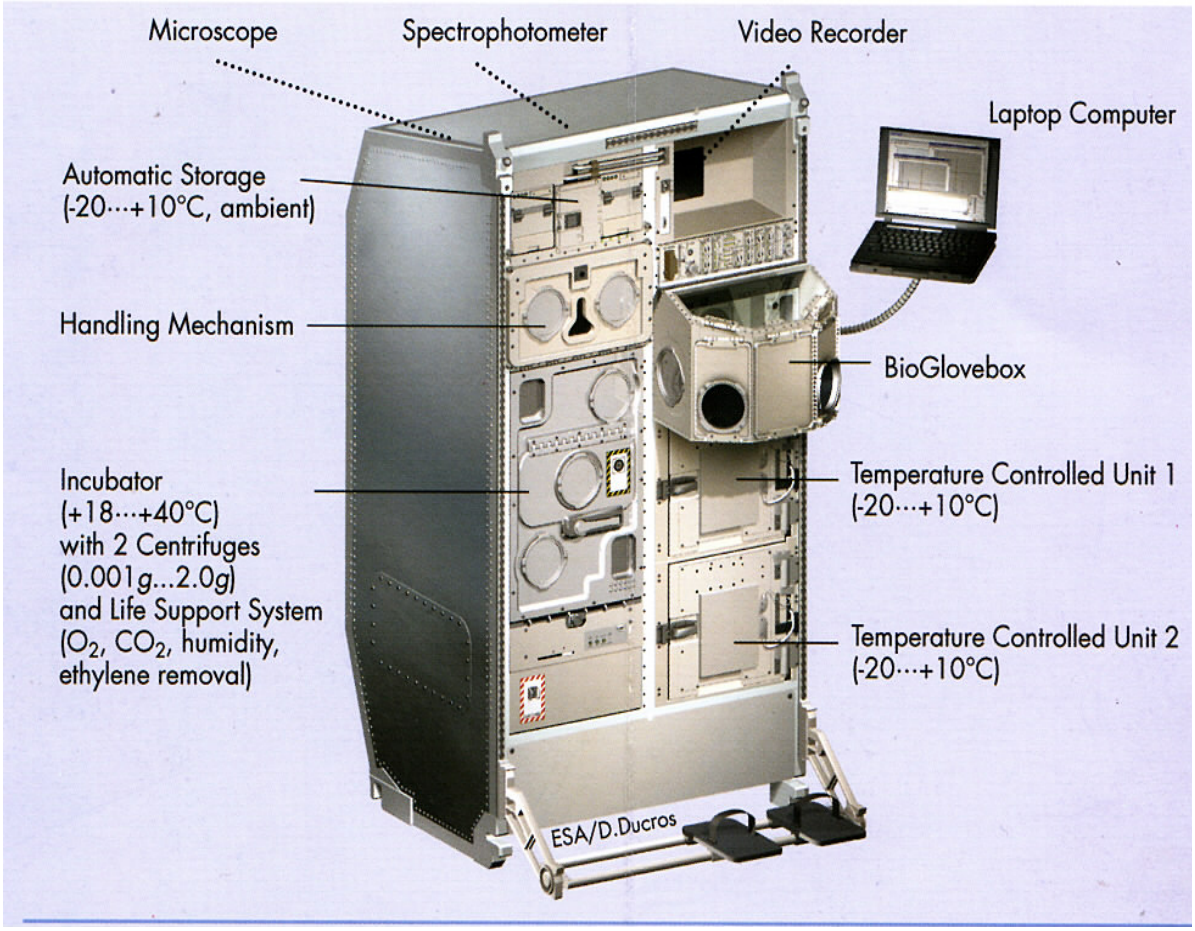
EMCS се състои от херметизиран инкубатор в който са монтирани 2 центрофуги с по 4 експериментални контейнера на всяка. Във всеки ротор на центрофугите са поместени и резервоарите за прясна и отпадъчна вода, осветителната система и системата за наблюдение. Роторите са с програмируема скорост на въртене, осигуряваща от 0.001g до 2g.

Концентрацията на $O_2$ и $CO_2$ се регулира в широки граници, като етиленът се отстранява. Извън инкубатора са управляващият компютър и системата за регулиране на температурата. Тъй като EMCS обслужва различни учени, всеки експериментален контейнер има стандартен интерфейс за свързване към ротора. Контейнерите с предварително подготвени експерименти се доставят чрез транспортни кораби на МКС.

В сътрудничество с Ames Research Center на НАСА, в EMCS са проведени серия експерименти (TROPI) за изследване на фототропизма при висшите растения в условия на микрогравитация в периода 2006-2010 [7,8]. Целта е да се установи как корените на растенията реагират на различни нива на осветеност и при различни нива на гравитация. Резултатите показват, че червената и синята светлина се отразява на растежа на растенията по различен начин в зависимост от нивото на гравитация. Оказва се, че може да се подобрят растежа на корените и надземната част на растенията в условия на микрогравитация чрез по-прецизна настройка на осветлението на растенията в зависимост от гравитацията. Изследвания на влиянието на параметрите на светодиодно осветление върху салатени култури се провеждат и в Лабораторията на секция „Космически биотехнологии" [9].

**Biolab - лаборатория за биологични изследвания**

Biolab е изстреляна на 7 февруари 2008 г. с европейската лаборатория Columbus (фиг. 2). Biolab създава необходимата среда за експерименти с микроорганизми, клетъчни и тъканни култури, малки растения и безгръбначни [10]. Целта е да се установи какво е въздействието на микрогравитацията върху живите организми – от клетката до сложен организъм.

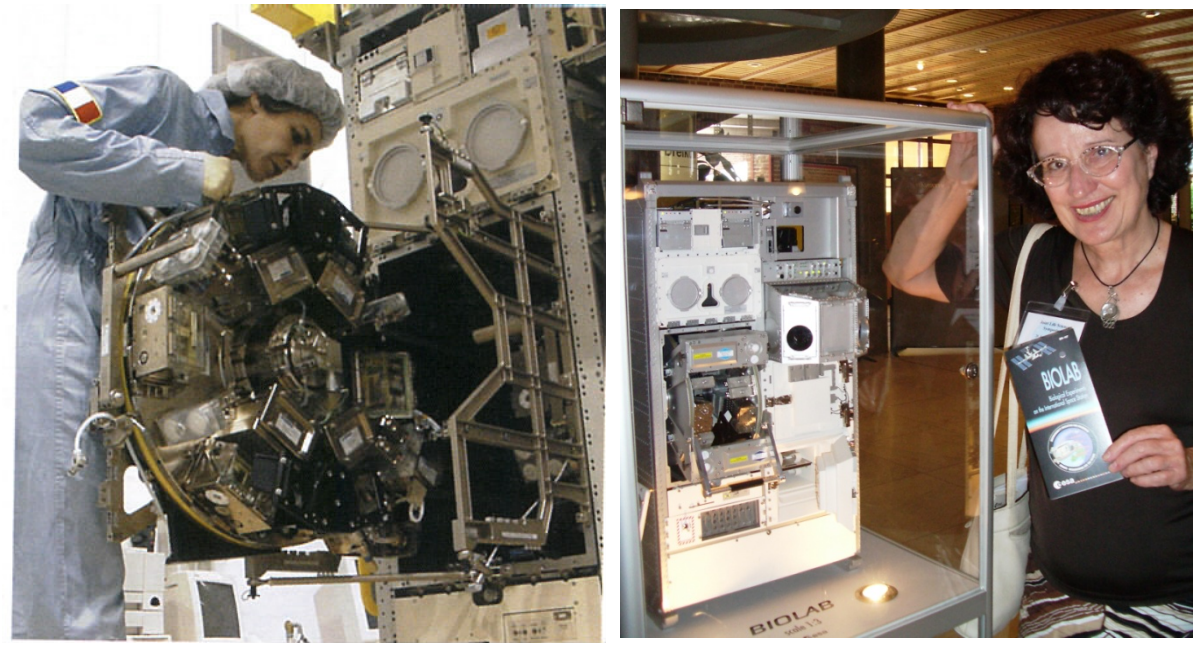



Фиг. 2. Схема на основните възли на системата Biolab

Biolab се състои от две секции, като автоматизираната секция представлява инкубатор съдържащ системи за поддържане на живота и две центрофуги осигуряващи променливо ускорение (фиг.3а). В тази секция контролът на околната среда по време на експеримента, взимането на биологични проби и анализа им се осъществява автоматично. По правило един и същи експеримент се провежда едновременно в двете центрофуги при 0g и 1g. Паралелно с

двата космически се изпълнява и трети наземен референтен (синхронен) експеримент с продължителност до 3 месеца [11].

Центърът за управление на Biolab отговаря за изпълнението на съответните операции според изискванията на учените заложили експеримента. Предоставена им е възможността те да следят и управляват провеждането на експеримента от Земята (telescience).Това намалява чувствително времето отделяно от екипажа за поддържащи дейности по апаратурата и експериментите. Изискването за отвореност на системата към множество потребители е реализирано чрез използването на стандартни експериментални контейнери с размери 60x60x100 mm, осигуряващи запазването на биологичните проби от вредни въздействия. Анализът на пробите се извършва на място чрез наличните микроскоп и спектрофотометър. Данните и изображенията се предават в реално време към потребителите на Земята. В секцията с ръчно обслужване се извършва първоначалната подготовка на експериментите, обработка на биологични проби и запазването им при подходяща температура след приключване на екперимента.




Фиг. 3. Апаратурата Biolab: а) Поставяне на центрофуга; б) До макета (1:3) на Biolab в Кьолн, 2005 г.

Възможностите за включване в програмата за изследвания на Biolab бяха обсъдени с българските учени на Симпозиума Life Sciences организиран от ЕКА през юни 2005 г. в Кьолн, Германия (фиг.3б). В началото на 2006 г. в Дома на учените в София представители на ЕКА ни предоставиха уникалната възможност, без да сме членки на ЕКА, да участваме в проекта „SURE" за използване на Международната космическа станция за научни изследвания. Спечелени бяха 4 от общо 11 европейски класирани проекта, но и тогава не се намериха в държавата ни средства за минималното съфинансиране и за съжаление отпаднахме.

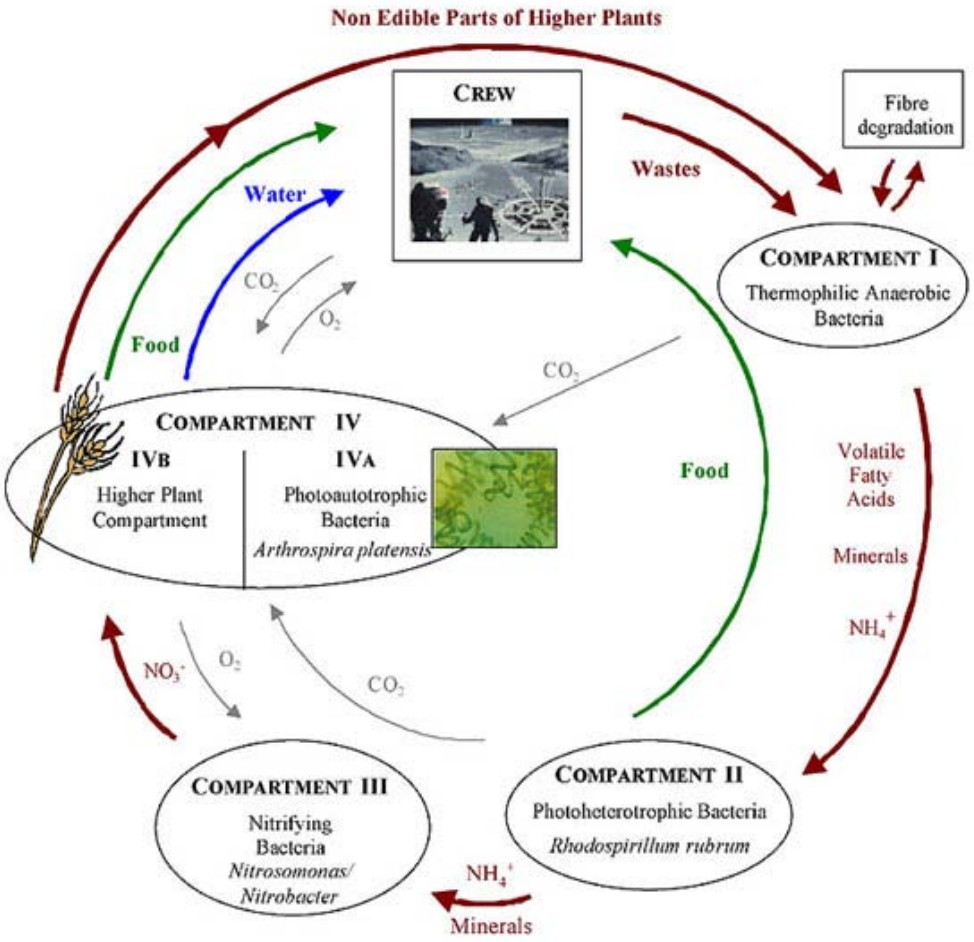
През февруари 2008 г. френският астронавт Леополд Еярц провежда в Biolab първия експеримент WAICO (Waving and Coiling of Arabidopsis Roots) изследващ влиянието на гравитацията върху растежа на корените на растенията. Засадените семената на две разновидности на Arabidopsis се развиват в продължение на 10-15 дни, при контролирани температура, влажност, осветеност и съответно при 0g и 1g. Растежът на корените е заснет на видео, а телеметричната връзка позволи на учените на Земята, да наблюдават в реално време експеримента. След завършването му, покълналите семена бяха залети автоматично със фиксираща течност, за да бъдат запазени без изменение за по-нататъшен анализ. Информацията как точно гравитацията влияе на растежа на корените и на появата на огъвания, ще позволи по-добре да се разбере механизма на растежа на растенията като цяло, за да се подберат най-подходящите сортове растения за култивиране в космически условия [12].

**Проект MELiSSA - наземна затворена екосистема**

Проектът MELiSSA (Micro-Ecological Life Support System Alternative), алтернатива за микро-екологична система за поддържане на живота, е един от най-амбициозните проекти на ЕКА. Започнат през 1989, той неотстъпно преследва поставената цел - чрез експерименти и

натрупан опит да се стигне до инженерни решения и надеждна летателна апаратура [13]. Все още всички есперименти по проекта се провеждат в наземни условия, като най-новата пилотна инсталация на MELiSSA е изградена и пусната в експлоатация през 2009 и успешно работи в Автономен Университет, Барселона. В проекта са включени над 30 организации от Европа и Канада. Финансира се от бюджета на ЕКА и от националните бюджети за наука, както и от частни инвеститори.

MELiSSA представлява затворена екосистема, в който нежеланите отпадъчни продукти и замърсителите на въздуха се отстраняват, като се използват естествените функции на бактерии и растения, които на свой ред осигуряват храна за астронавтите и допринасят за пречистването на водата и произвеждат кислород [14].




Фиг. 4. Схема илюстрираща основната концепция на MELiSSA

MELiSSA се състои от 5 автономни, но взаимно свързани отделения (фиг. 4). В три от тях (биореактори), отпадъчните продукти се разграждат постепенно чрез ферментационни процеси. Четвъртото отделение за висши растения работи в паралел с отделението съдържащо фотосинтезиращата бактерия Arthrospira platensis, по-известна като спирулина. Петото отделение на MELiSSA моделира жилищния отсек на космонавтите, като в момента се обитава от опитни плъхове [15].

ЕКА е все по-близо до разработване на ефективна, компактна, с малка маса и минимална поддръжка биологична система за осигуряване на живота при бъдещите дългосрочни космически мисии, която да функционира в ограничената среда на космическите кораби. Основните задачи по отглеждането на висшите растения включват:

- ✓ Проектиране на хардуера и софтуера за управление на параметрите в камерата за отглеждане на растения;
- ✓ Разработване на биотехнологии за отглеждане на здрави растения;
- ✓ Моделиране поведението на растенията в условията на намалена гравитация;
- ✓ Разработване на методи за предпазване от микробно заразяване;
- ✓ Определяне на хранителна стойност и изготвяне на рецепти за менюто на астронавтите.

Два от разработените по проекта MELiSSA биореактори се използват за пречистване на отпадъчните води в най-новата френско-италианска станция Concordia в Антарктика. ЕКА кани и българските учени да участват в проекта за разработка на орнжерийна система за производство на храна и микробиологично пречистване на отпадъците в тази база (AO-13-Concordia/03.10.2013). Както и за проекта "Lunar/Mars Simulator" - центрофуги с размера на модула „Леонардо" на МКС, имитиращи гравитацията на Луната и Марс. Предлага се удължаване на живота на съществуване на МКС до 2024 г., което ни предоставя още 10 години възможността да се опитваме да използваме това уникално и скъпо съоръжение за научни изследвания дори и с разработваното от нас трето поколение на КО СВЕТ-3.

**Заключение**

Изследванията в апаратурните комплекси EMCS и Biolab на ЕКА, намиращи се на борда на МКС в американския и европейския модул, имат значителен принос за развитието на Гравитационната космическа биология и попълването на познанията как растенията реагират на микрогравитация. В провежданите напоследък изследвания взаимодействието между светлината и гравитационни ефекти са все повече обект на внимание. За да се постигне съществен напредък в бъдеще, ще са необходими все по-добри експериментални условия и по-модерна аналитична апаратура, за експресно осъществяване на необходимите анализи на борда на МКС, както и при наземните синхронни експерименти, в които ще се включат и българските учени след осъществяването на проекта за дооборудване на лабораториите на ИКИТ по проекта ИКАМОС през 2014 година.

**Литература:**


1. P e r i n o, M. A., C. L o b a s c i o, S. P a s t o r, M. M a f f e i, Greenhouse: A Strategic Element to Support Humans in Space. *Beyond the International Space Station: The Future of Human Spaceflight, Space Studies* Volume 7, 2002, pp. 119-126.
2. T i k h o m i r o v, A. A., S.A. U s h a k o v a, N. P. K o v a l e v a, B. L a m a z e, M. L o b o, Ch. L a s s e u r, Biological life support systems for a Mars mission planetary base: Problems and prospects*. Advances in Space Research,* 40, 2007, pp. 1741–1745.
3. H ä u p l i k - M e u s b u r g e r, S., R. P e l d s z u s, V. H o l z g e t h a n Greenhouse design integration benefits for extended space flight. *Acta Astronautica,* 68, 2011, pp. 85–90.
4. R u y t e r s, G. , M. B r a u n, Plant biology in space: Recent accomplishments and recommendations for future research. *Plant Biology*,2014, Vol. 16, pp. 4-11.
5. B r i n c k m a n n, E., ESA hardware for plant research on the International Space Station. *Advances in Space Research,* 36, 2005, pp. 1162–1166.
6. E M C S - Experiment facility for plant biology research on the International Space Station, http://wsn.spaceflight.esa.int/docs/Factsheets/13%20EMCS%20HR%20web.pdf
7. K i s s, J. Z., K. D. L. M i l l a r, P. K u m a r, R.E. E d e l m a n n, M.J. C o r r e l l, Improvements in the re-flight of spaceflight experiments on plant tropisms. *Advances in Space Research*, Vol. 47, 3, 1, 2011, pp. 545-552.
8. K i s s, J. Z., K. D. L. M i l l a r, R. E. E d e l m a n n, Phototropism of Arabidopsis thaliana in microgravity and fractional gravity on the International Space Station, *Planta*, Vol. 236, 2, 2012, pp. 635-645.
9. 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.
10. Z e l l, M., J. W e e m s, ESA'S 'real estate' in space: Columbus in orbit, *European Space Agency Bulletin*, Vol. 2008, 136, November 2008, pp. 32-41.
11. K u e b l e r, U., Utilization of the Columbus facilities BioLab, EMCS, PCDF, Cardiolab, FSL & MSL *Proceedings of 61st International Astronautical Congress 2010,* Vol.12, 2010, pp.10279-10282.
12. S c h e r e r, G. F. E., P. P i e t r z y k, Gravity-dependent differentiation and root coils in Arabidopsis thaliana wild type and phospholipase-A-I knockdown mutant grown on the International Space Station. *Plant Biology,* Vol. 16, 1, 2014, pp. 97-106.
13. H e n d r i c k x, L., H. D e W e v e r, V. H e r m a n s, F. M a s t r o l e o, N. M o r i n, A. W i l m o t t e, P. J a n s s e n, M. M e r g e a y, Microbial ecology of the closed artificial ecosystem MELiSSA (Micro-Ecological Life Support System Alternative): reinventing and compartmentalizing the Earth's food and oxygen regeneration system for long-haul space exploration missions. *Research in Microbiology*,Vol. 157, 2006, pp. 77–86.
14. P o u g h o n, L., B. F a r g e s, C.G. D u s s a p, F. G o d i a, C. L a s s e u r, Simulation of the MELiSSA closed loop system as a tool to define its integration strategy. *Advances in Space Research,* 44, 2009, pp. 1392–1403.
15. C z u p a l l a, M., G. H o r n e c k, H. J. B l o m e, The conceptual design of a hybrid life support system based on the evaluation and comparison of terrestrial testbeds. *Advances in Space Research,* 35, 2005, pp. 1609–1620.

# СИСТЕМА ЗА ПОДГОТОВКА НА МЛАДИ УЧЕНИ В ОБЛАСТТА НА АЕРОКОСМИЧЕСКИТЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Геннадий Маклаков**

*Летателна академия на Националния авиационен университет – Кировоград,Украйна*
*e-mail: gmaklakov@mail.bg*

***Ключови думи:*** *Професионална подготовка, космонавтика, авиация, творческо мислене, система за виртуална реалност*

***Резюме:*** *Разгледани са базирани на системи за виртуална реалност методи, предназначени за професионална подготовка на специалисти в областта на аерокосмическите технологии. Описана е структура на курс за млади учени «Активизиране на творческото мислене при решаване на научни проблеми».*

# SYSTEM OF TRAINING YOUNG SCIENTISTS IN AEROSPACE TECHNOLOGIES

**Gennnady Maklakov**

*Flight Academy National Aviation University - Kirovograd, Ukraine*
*e-mail: gmaklakov@mail.bg*

***Keywords:*** *Professional training, aerospace, aviation, creativity, virtual reality systems*

***Abstract:*** *The article focuses on virtual reality systems methods for professional training of specialists in the field of aerospace technology. The structure of a course for young scientists «Activation of creative thinking in solving scientific problems" is described.*

## Въведение

Процесът на професионална подготовка при всяка педагогическа технология и форма на обучение трябва да преминава в определена среда, пребивавайки в която и взаимодействайки с която обучаемият (студент, докторант) конструира знания. Такава среда може да бъде създадена по изкуствен начин, за да се моделират онези аспекти от реалния свят, които се оказват недостъпни за непосредствения опит или/и представляват заплаха за безопасността и жизнената дейност на човека. Едно от перспективните направления за формиране на такива среди е създаването им на основата на система за виртуална реалност (СВР).

Важна особеност на СВР е възможността за формиране и утвърждаване на съответни навици и умения за поведение в условия, представляващи заплаха за живота на човека или опасност за други хора, намиращи се наблизо (оператори на атомни електростанции, авиодиспечери, летателни екипажи и т.п.). Именно затова СВР намира все по-широко приложение в качеството си на средство за обучение в различни области на знанията и в професионалното обучение (космонавтика, авиация, медицина и т.п.).

## Теория на метода

Анализът на публикациите, посветени на СВР, дава основание да предполагаме колко колосални са възможностите на интерактивното обучение във виртуално пространство за повишаване на ефективността в обучението. Отчитайки, че е много важно да се подобрява

качеството на подготовка на специалистите по аерокосмическата тематика, разглеждането на методиката за подготовка на млади учени на базата на СВР е изключително актуално.

Да се спрем отначало на дидактическите аспекти на СВР. Дидактическите възможности на СВР в професионалното висше образование не са разкрити докрай и не са изучени. Някои от тях обаче можем да формулираме, анализирайки съставните елементи и общите принципи на виртуалните технологии.

Терминът «виртуална реалност» (ВР) е въведен в началото на 70-те години на миналия век от Джарон Ланир (Jaron Lanier). Съществуват различни определения за СВР, акцентиращи вниманието върху философските, психологическите или техническите аспекти на това явление.

Ние ще определим СВР като високо развита форма на компютърно моделиране, реализираща илюзията за непосредствено влизане и присъствие на ползвателя в реално време в изкуствен свят и позволяваща той да действа в нея непосредствено с помощта на специални сензорни устройства, които свързват движенията му с аудиовизуални ефекти. При това зрителните, слуховите, осезателните и моторните усещания на ползвателя се заменят с техни имитации, генерирани от компютъра. Следователно ВР създава усещане, че се намираме в реалистична триизмерна виртуална среда (а не в средата, в която реално съществуваме в дадения момент) и че можем успешно физически да взаимодействаме с нея.

Необходимо е да отбележим, че виртуализацията се явява естествен и необходим механизъм за нормално изучаване и мислене, насочено към придобиване на знания, разбиране и обяснение, а също и предсказване на явления от околния свят. Ако разглеждаме процеса на обучение като формиране на система от знания, умения и навици за действие в определени ситуации, то тогава можем да твърдим, че виртуалността е един от неговите основополагащи принципи.

Обръщането към въображението на обучаемия като към механизъм за пораждане на виртуален свят при традиционната форма на обучение се случва винаги, щом преподавателят започне да описва някакви процеси или явления.

Да определим компонентите, на които се основава възникването на ефекта на ВР:

- създаване на високоинформативно триизмерно цветно изображение, позволяващо човек комфортно да възприема динамично изменящи се обемни сцени от виртуалното пространство;
- наличие на ефективна обратна връзка, т.е. възможност обучаемият да получава при контакт с виртуалната среда обратни сигнали под формата на адекватни перцептивни отговори (тактилни, звукови, обонятелни и др.);
- възможност активно да се въздейства върху състоянието на виртуалната среда и върху процесите, протичащи в нея, при пълно отразяване на резултатите на въздействие в информационните потоци, които постъпват у човека по зрителен, тактилен, звуков и други канали.

Следва да подчертаем, че пълноценен ефект от възникването на ВР може да бъде постигнат само тогава, когато всички изброени компоненти бъдат реализирани едновременно в интерактивен режим на системата човек-компютър.

За съжаление в днешно време компютърните технологии не позволяват в пълнота да се реализират всички възможности на ВР. Създаваните сега СВР би било по-правилно да наречем «квази СВР» или «интерактивни 3D». Но използването даже на такива системи позволява да постигнем значително по-ефективно обучение.

Отличителна особеност на СВР се явява възможността за човека, попаднал във ВР, не само да наблюдава и преживява, но и да действа самостоятелно. От гледна точка на дидактиката СВР позволява:

- да формираме известни начини за създаване на виртуални образи у човека, което дава възможност на преподавателя да работи с по- дълбоки психически реалности;
- да интензифицираме учебния процес, значително да активизираме познавателната дейност на обучаващите се, да повишим нейния стимулиращ компонент;
- да предадем общата структура на изследвания обект и в случаите, когато словесното описание е недостатъчно;
- да повишим ефективността на изработване на умения и навици в различни ситуации, които са възможни в бъдеща професионална дейност;
- да повишим качеството на професионалната подготовка на бъдещите специалисти за сметка на формално-логическото отразяване на причинно-следствените връзки във функционирането на обекти във виртуалните модели.

Един от важните аспекти в подготовката на млади учени е формирането на творческо мислене при решаване на научни задачи. За реализирането на такава концепция съществена помощ могат да ни окажат СВР, по-точно провеждането на обучение във виртуален свят (виртуално пространство).

Да се спрем на психологическите аспекти в използването на СВР. Технологиите ВР могат да служат като мощен инструмент за разкриване евристичните и творческите възможности на главния мозък, тъй като помагат да се развиват интуитивните способи за опознаване на реалността, потенциално заложени в него. Експериментално [1-2] е доказано, че при потапяне във виртуална среда протича по-интензивен обмен на информация между дясното и лявото полукълбо на мозъка. Това от своя страна интензифицира интуитивното мислене и появяването на нови идеи при анализиране на някакъв проблем и/или голям обем данни (особено многомерни). При това, следва да отбележим, възникването на нови идеи се засилва още повече при колективна работа (ефект на мозъчния щурм).

Особеност на СВР се явява възможността активно да въздействаме върху състоянието на виртуалната среда и върху процесите, протичащи в нея, като резултатите от въздействието напълно се отразяват в информационните потоци, които постъпват у човека по зрителен, тактилен, звуков и други канали. По този начин СВР е способна да стимулира възприятията на обучаемите и да развива творческото им мислене.

Непременно трябва да изтъкнем, че ефектите, за които говорим, се проявяват напълно, само когато СВР създава пределно достоверна ВР и осигурява висока степен на потапяне на обучаемия във виртуалния свят. С други думи - когато СВР въздейства върху осезателните органи и съзнанието толкова силно, че да се различи виртуалната реалност от истинската е практически невъзможно. В резултат на това се проявяват редица специфични ефекти. Един тях е възникването на сугестивен фактор, който прави процеса на обучение по-ефективен, способства за затвърдяване на навици и умения [8, 9]. Сугестивният фактор позволява съществено да повишим качеството на обучение и да реализираме метода за интензивно обучение [8].

Естествено СВР е само средство. Основна роля в обучението играе учебният контент (интерактивни конспекти, мултимедия, презентации и т.п.). Именно качеството на учебно-методическото обезпечаване в съвкупност със съвременни компютърни технологии довежда до съществено повишаване на резултативността на образователния процес.

За развитие на творческите способности на магистри и докторанти е разработен курс «Активизиране на творческото мислене при решаване на научни проблеми».

Целта на курса е да:

- покаже природата на креативността и да научи младите учении;
- управляват своята интелектуална дейност;
- развие у докторантите способност за творчески процесс;
- научи докторантите да продуцират принципно нови идеи, които водят до ново оригинално виждане на проблемите или ситуациите;
- формира готовност за приемане и създаване на принципно нови научни подходи към решаването на научни задачи;
- покаже, че творческите способности са вродени, свойствени на всички, но се губят от болшинството хора под въздействие на средата.

Затова една от главните задачи на курса е да изтъкне възможността на всеки човек да стане надарена личност и да даде необходимите инструменти за постигане на тази цел.

В курса са разгледани методите за стимулиране на творческия процес, позволяващи да се повиши неговата ефективност. Показана е методология за оптимално търсене на научни решения. В основата на курса са идеите на Хенрих Алтшулер и неговите последователи за теорията на творческото мислене при решаване на инженерни задачи. Използвани са също фрагменти от авторски курсове за магистри «Технология на творческото мислене при вземането на икономически решения» и за докторанти – «Технология на творческото мислене в научната работа», четени от автора в различни вузове на Украйна от 1995 година [5-7].

Курсът включва следните теми:

1. Творческо мислене: потребности и проблеми.
2. Системен подход към решаването на научно-технически проблеми.
3. Формулиране на задача в системите за научни концепции.
4. «Идеален краен резултат» в научните изследвания.
5. Теории и модели за вземане на решения при научни изследвания.
6. Веществено-полеви анализ в научните изследвания.
7. Методи за прогнозиране в научната работа.
8. Методи за активизиране на творческото мислене според Алтшулер.

9. Методика за решаване на изследователски задачи с помощта на ТРИЗ.
10. Математически методи за активизиране на творческото мислене при решаване на научни проблеми.
11. Семантични технологии за активизиране на творческото мислене.
12. Психологически аспекти при решаването на научни задачи.
13. Методи и техники за повишаване на творческите способности.
14. Методи за индивидуално активизиране на творческото мислене.
15. Методи за групова работа при решаването на научни проблеми.

Курсът предполага използването на електронни обучаващи системи (LMS Moodle) и допуска смесена форма на обучение - редовна и дистанционна, или само дистанционна. В процеса на обучение е използван виртуален свят, реализиран в квази СВР «vAcademia» [8-9].

След курса докторантите трябва да разбират основните понятия за креативност и активизиране на творческото мислене при решаване на научни проблеми, а също така – да могат да използват получените знания в научно-изследователска работа.

Курсът е ориентиран към магистри и докторанти, интересуващи се от проблемите на управлението на творческия процес и стремящи се да повишат своя творчески потенциал и ефективността на своята професионална научно-изследователска дейност.

**Заключение**

В днешно време СВР намират все по-голямо приложение в професионалното обучение. Въпреки това обаче следва да отбележим, че методологическите и психофизиологическите аспекти при създаването на виртуални пространства и взаимодействието на човека с тях са слабо разработени и тук има множество нерешени въпроси (особено що се касае до безопасността при потапяне на човека във виртуалния свят). За решаване на проблемите, свързани с ефективното и безопасно използване на СВР в обучението се налага съвместяване на усилията на специалисти с различен профил: педагози, психолози, лекари, кибернетици.

**Литература:**


1. L o z a n o v, G.. Suggestology and Outline of Suggestopedy. New York: Gordon and Breach Science Publishers, SA.- 1978.
2. Н о с о в, Н. А. Виртуальная психология. – Москва, Издательство «Аграф», 2000.– 432 с.
3. Н о с о в, Н. А. Психологические виртуальные реальности. – М.: Ин-т человека РАН, 1994.
4. Л о з а н о в, Г. К. Сугестология. Изд. "Наука и изкуство", София, България. 1971.
5. М а к л а к о в, Г. Ю. Некоторые принципы формирования творческого мышления при подготовке специалистов в области новых информационных технологий. // Сб. научн. тр. Международной научно-методической конференции «Информационные технологии в учебно-методической и научной деятельности». 6-8 июля1998 г.- МО Украины, СевГТУ, ИнБЮМ НАН Украины. Севастополь. 1998. С.20-25.
6. М а к л а к о в, Г. Ю. Дидактические принципы формирования творческого мышления при подготовке специалистов в области новых информационных технологий. // В кн.: Образовательная система как технологический комплекс - шаг в XXI век. Сб. Статей по матери- лам докладов VI международной научно-методической конференции 24-28 мая1999г.- Севастополь: СевГТУ, 1999г. С.38-41.
7. М а к л а к о в, Г. Ю. Принципы формирования творческого мышления при подготовке специалистов в области экономики. // В кн.: Образование и бизнес: российская практика и зарубежный опыт. Материалы 5 секции X Международного Банковского Конгресса и Международной научно-практической конференции. (8 июня 2001. С. Петербург).- СПб. МБИ, 2001. С. 240-241.
8. С м о р к а л о в, А. Ю. Реализация образовательных инструментов в виртуальных 3D-средах с использованием потоковых процессоров. //Образовательные технологии и общество.– 2011.– Т. 14.– N 3.– С. 409-425.
9. Р ы ж е н к о в, М. Е., М о р о з о в М. Н., Г е р а с и м о в А. В. Генерация и редактирование 3D-контента в виртуальных образовательных средах. //Образовательные технологии и общество.– 2011.– Т. 14.– N 3.– С. 425-439.

# CURRENT STATUS AND ACTIVITIES OF SATELLITE GROUNG-BASED SYSTEM EUPOS AND EUPOS-BG

**Georgi Milev[1], Keranka Vassileva[2], Ivo Milev[3], Rumen Pelovski[4], Ivailo Andreev[4], Gergana Gerova[5]**

[1]*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
[2]*National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences*
[3]*Technet, Berlin*
[4]AI POS
[5]*Sofia University St. Kl. Ohridski*

***Abstract:*** *The project EUPOS is briefly presented. The state of the BULiPOS stations network in Bulgaria and the problems associated with it are outlined. The activities related to EUPOS-BG as projects CERGOP, EUMETNET, Geodynamics of the territory of Bulgaria, Current projects - Archaeology, Floods, Engineering projects and other activities are summarized.*

# АКТУАЛНО СЪСТОЯНИЕ И ДЕЙНОСТИ НА СПЪТНИКОВАТА ЗЕМНО-БАЗИРАНА СИСТЕМА EUPOS И EUPOS-BG

**Георги Милев[1], Керанка Василева[2], Иво Милев[3], Румен Пеловски[4], Ивайло Андреев[4], Гергана Герова[5]**

[1]*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
[2]*Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките*
[3]*Technet, Berlin*
[4]AI POS
[5]*Софийски университет „Св. Климент Охридски”*

## 1.General

EUPOS (EUropean POsitioning determination System) is already established, recognized and used within Central and Eastern Europe and new countries from Eastern Europe gradually integrate to it. Configuration and the number of stations in particular countries have been little changed. Cross-border stations operate successfully between neighboring countries. The use of network and system for solving scientific and applied problems and projects is extremely versatile and effective. Here the project EUPOS is briefly presented and the state of the BULiPOS stations network in Bulgaria and the problems associated with it are outlined. The activities related to EUPOS-BG as projects CERGOP, EUMETNET, Geodynamics of the territory of Bulgaria, Current projects - Archaeology, Floods, Engineering projects and other activities are summarized.

## 2.Current status of *EUPOS*

### 2.1. Description

*EUPOS* ground-based system covers about 25% of the territory of the European Union and more than 60% across Europe. The *EUPOS* reference network consists of about 900 stations (Fig. 1).

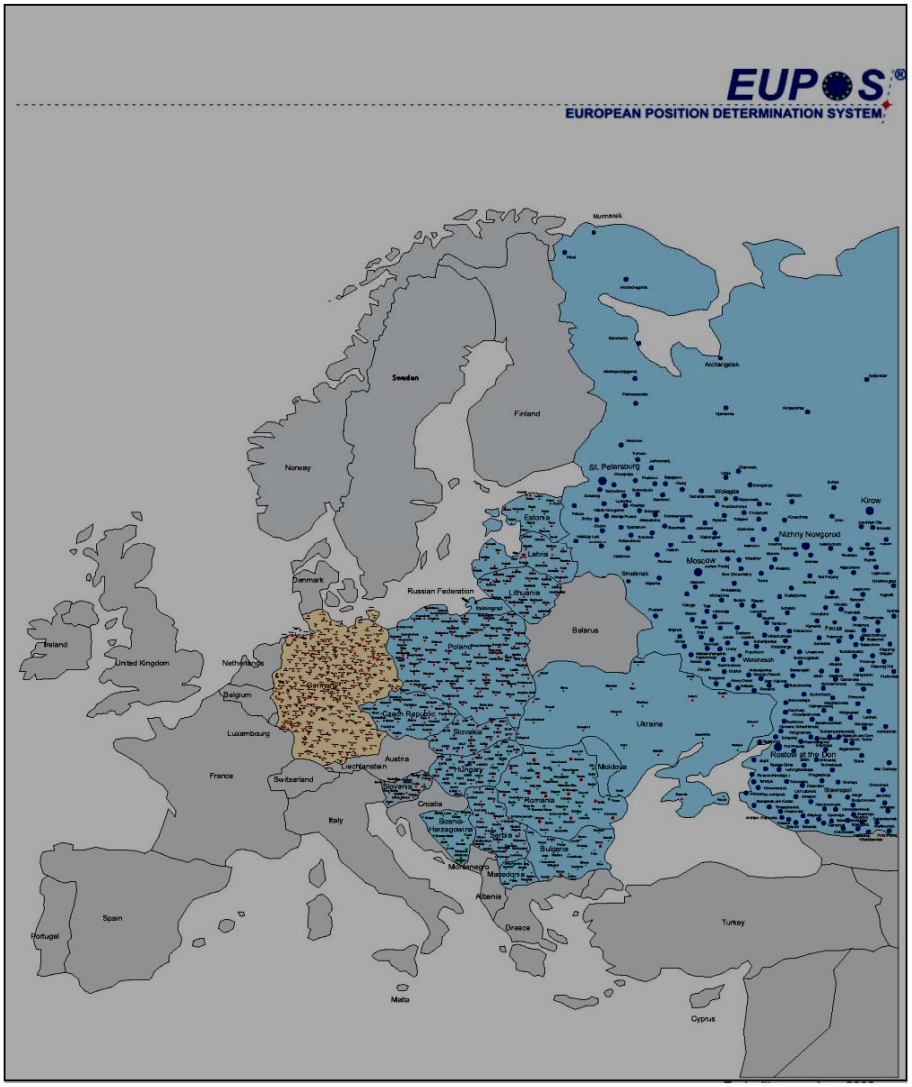



Fig. 1. *EUPOS* reference stations

Country – members of *EUPOS* are 20 by March, 2012 :

| | |
|---|---|
| Bosnia &Herzegovina, | Moldova, |
| Bulgaria, | Montenegro, |
| Czech Republic, | Poland, |
| Estonia, | Romania, |
| Georgia | Russian Federation, |
| Hungary, | Serbia, |
| Kazakhstan | Slovakia, |
| Latvia, | Slovenia, |
| Lithuania, | Ukraine. |
| Macedonia, | German Land Berlin. |

Some other countries like Azerbaijan and Kirgizstan have interest to become members of *EUPOS*.
*EUPOS* provides *DGNSS* correction information and observation data for real time positioning and navigation and for post-processed position determination.
*EUPOS* transmitted correction models are as follows:

*FKP* – area modeled corrections,

*VRS* – Virtual Reference Station,

*MAC* – Master Auxiliary Concept.

### 2.2. Technical specifications

*EUPOS* uniform standards, guaranteed compatibility and further development give same possibilities and security for industry, users and providers. *EUPOS DGNSS* corrections are obtained in uniform coordinate system – in European Terrestrial Reference System 1989. Uniform standard environment for all subservices – internet and optimum radio environment for *EUPOS* services in real time are used. For all *EUPOS* stations are used only individual calibrated GNSS antennas. Corrections are transmitted in uniform format: *RTCM-EU*. Cross-border reference stations provide corrections for the area relief (*FKP*).

*EUPOS*® Services proposed are:

*EUPOS*® *DGNSS*

*DGNSS* corrections in real time or for post processing from code or code-phase observations with accuracy of 3.0 – 0.5 m and higher.

*EUPOS*® *RTK* networking

*DGNSS* corrections for precise positioning in real time from phase observations with accuracy of about 2 cm.

*EUPOS*® Geodetic

*DGNSS* static and kinematic applications from post processing of phase observations with centimetre up to millimetre accuracy.

International Steering Committee - *ISC* has been established. *ISC* established two Working Groups:

- *EUPOS* Working Group on Technical Cooperation with the Industry (*TCI*),
- *EUPOS* Working Group on System Quality, Integrity and Interference Monitoring (*SQII*).

*EUPOS ISC* established close cooperation with other organizations: International Committee on Global Navigation Satellite Systems (*ICG*); United Nations Office for Outer Space Affairs (*UNOOSA*); *EUREF* Technical Working Group; Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee 104 (*RTCM SC 104*). *EUPOS* and *EGNOS* have an agreement for cooperation**.**

Except *EUPOS* which is the largest *DGNSS* in Europe many other *DGNSS* exist usually on national level, e.g. *SWEPOS* (Sweden), United Kingdom and Ireland etc.

### 2.3. Applications

Potential applications of *GNSS* as well as *DGNSS* are all branches of the social life.

- Surveying and mapping
- Transport systems, fleet management, systems of management of:
- Building logistics (trucks – management of large objects (projects), reducing the heavy traffic and its optimization, management of excavators and cranes).
- Insurance of the land property by realization of the property documentation (cadastre of real estates and property register).
- Radio measurements from vehicles and helicopters.
- Water economy.
- Environmental protection (ecology of water basins, coordination in soil examination, etc.).
- Geoinformation systems (cadastre of underground facilities, systems for environmental protection, streets and roads state).
- Photogrammetry (topographic survey, 3D models in urban regions).
- Full proof of the military resources.
- Measurements in construction and engineering (deformation investigations, monitoring of buildings and constructions).
- Dangerous heavy transport.
- General transport controlling systems.
- Precise time reference
- Emergency services.
- *GPS* Tracking systems - *GNSS* are used to determine the location of a vehicle, person, pet or freight, and to record the position at regular intervals in order to create a log of movements.
- Weather Prediction Improvements — Measurement of atmospheric bending of *GNSS* satellite signals by specialized *GNSS* receivers in orbital satellites can be used to determine atmospheric conditions such as air density, temperature, moisture and electron density.
- Marketing — some market research companies have combined *GIS* systems and survey based research to help companies to decide where to open new branches, and to target their advertising according to the usage patterns of roads and the socio-demographic attributes of residential zones.
- Social network- a growing number of companies are marketing cellular phones equipped with *GPS* technology, offering the ability to pinpoint friends.

### 3. Current status of *EUPOS-BG* (*BULiPOS)*

*EUPOS-BG* segment in Bulgaria is *BULiPOS* (*BUL*garian intelegent *PO*sitioning *S*ystem) network of reference stations established in 2008 and the present configuration is shown in *Figure 2*.




Fig. 2. Recent BULiPOS stations coverage

Numbers of cross-border stations was increased as well. Total number of *BULiPOS* stations at present is 13. The most used services are in real time.
*BULiPOS* provides additional information for data correction in case of use of GPS and GLONASS. Total 26 reference stations on the territory of the country and surrounding neighbors provides more than 90% real territorial coverage.

### 4. Activities related to *EUPOS-BG*

#### 4.1. CERGOP

The main purpose of CERGOP (Central European Regional Geodynamic Project) is investigation of zones with intraplate movements on the base of processing of data from permanent and epoch stations over the territory of Central and Eastern Europe. A particular region of study of this project is Balkan Peninsula [Milev, Dabovski, 2006].

30 seconds data from five *BULiPOS* and two *CERGOP* permanent stations continue to be downloaded to the OLG Data centre for post-processing. Their horizontal velocity vectors (*Figure 2*) with respect to the stable Eurasia plate have been obtained using data since 2010 [Stangl, 2011].

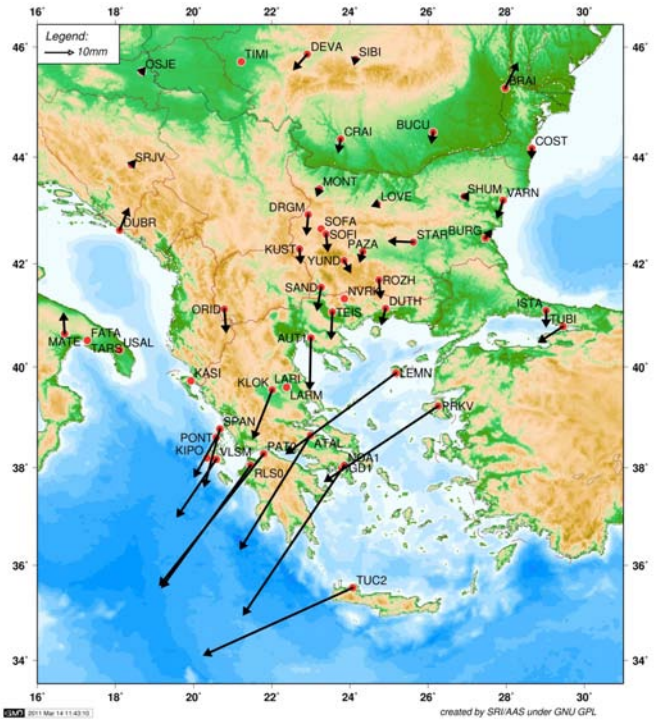



Fig. 3. Balkan Peninsula horizontal velocities with respect to stable Eurasia (after Stangl, 2011)

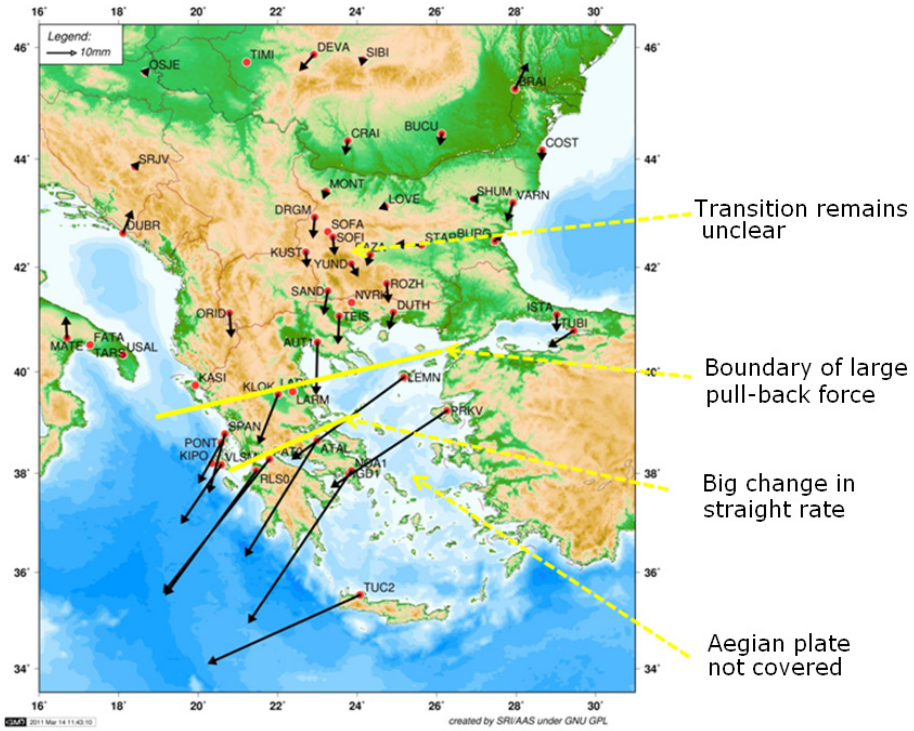



Fig. 4. Balkan Peninsula boundaries of movements (after Stangl, 2011)

The results obtained for the territory of Bulgaria show that the plate transition remains unclear [Stangl, 2011] although more stations in Bulgaria have been involved (*Figure 4*).

### 4.2. Geodynamics of the territory of Bulgaria

For geodynamical study of the territory of Bulgaria all *BULiPOS* stations have been processed and the results have been analyzed.

### GPS data processing of BULiPOS station network

One week GPS data from three years (2009, 2010 and 2011) of *BULiPOS* station network have been processed with Bernese software, version 5.0 in ITRF2005. Estimated coordinates and velocities of the network stations have been obtained by applying the least squares method with minimum constraint conditions for coordinates and velocities of selected reference IGS stations. Eight IGS reference stations (*Figure 4*) with their coordinates and velocities in ITRS realization ITRF2005, referred to the epoch 2000.0 have been used in the combined solution. For representation the local movements of the stations the horizontal station velocity vectors (*Figure 6*) have been obtained in ETRF2000 by applying ETRF components of the Eurasia plate rotation pole to the obtained ITRF2005 velocity vectors (Boucher, Altamimi, 2008).




Fig.5: Location of BULiPOS network stations (in red) and IGS reference stations introduced (in black)




Fig. 6: ETRF2000 horizontal velocities of BULiPOS network stations

The magnitude of the obtained *BULiPOS* horizontal station velocities varies from 0,2mm/yr up to 3,8mm/yr. Such small magnitudes of movements of points over the territory of the country have been also obtained by other researchers (Burchfiel et al., 2006; Kotzev et al., 2006).
The effect of datum definition changes on the estimated station horizontal velocities has been also studied. Six slightly more or less different datums defined by different number of the involved IGS reference stations have been applied in the combined solutions of three year's one week solutions of the network as follows:

1) Case 1 - GLSV, GRAZ, ISTA, MATE, POLV, ZIMM;
2) Case 2 - GLSV, ISTA, MATE, POLV, SOFI, WTZR;
3) Case 3 -ISTA, MATE, POLV, SOFI, WTZR, ZIMM;
4) Case 4 - ISTA, MATE, POLV, SOFI, ZIMM;
5) Case 5 - GLSV, GRAZ, ISTA, MATE, SOFI;
6) Case 5 - GLSV, GRAZ, ISTA, MATE, ORID, PENC, SOFI, POLV, WTZR, ZIMM.

### Comparison and analysis of the station horizontal velocities

Obtained horizontal velocities from all six cases have been compared for the identical stations. Comparisons of the horizontal velocities of the *IGS* stations and *BULiPOS* stations are shown for all stations in Figure 7. Differences between all six cases are almost with the same magnitude of 0,2÷0,4mm/yr for the majority of the stations. For some stations BURG, LOVE, SHUM, SRED) the differences are comparable to the magnitude of the station velocities themselves. Only for station SOFI in Case 1 the estimated velocity deviates (1mm/yr) a lot from the velocity estimations in other cases. In this Case 1 station SOFI is not included as reference station and in all other cases it participates in datum definition.

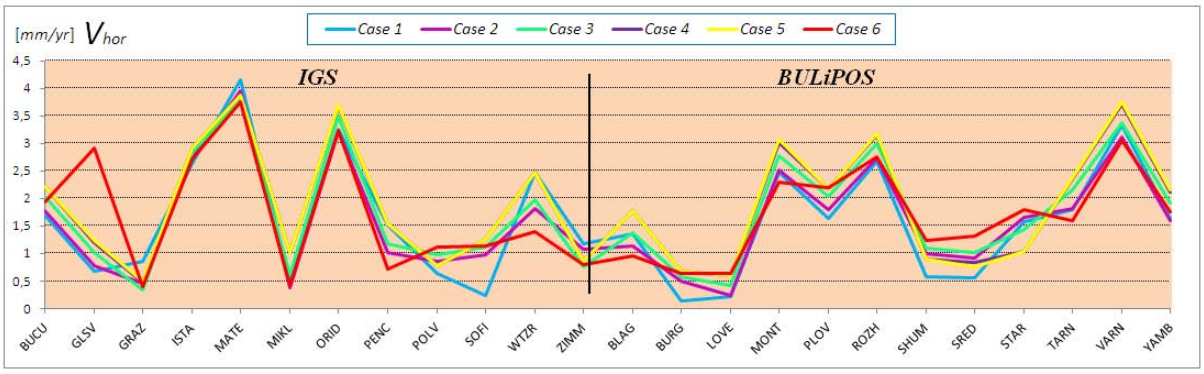



Fig. 7: Comparison of the horizontal velocities of the IGS and BULiPOS stations in ETRF2000

The obtained differences of amount 0,4÷0,6mm/yr for the horizontal velocities of stations with slow movements (0,2÷0,6mm/yr) show that the effect of the datum definition changes is considerable. The problem arises due to the similarity of the magnitudes of differences and velocities themselves. For the other stations this effect is not significant regarding their velocity magnitudes. A reason for that is the less or more symmetric distribution of the introduced IGS reference stations around the territory of the country in all six cases. The effect would be greater if the reference stations are on only one side of the region. By this reason they are selected preferably symmetric to the study region but it is not always the case. Nevertheless it is not correct to be compared directly velocities of identical stations from different studies. Otherwise the results obtained will be not reliable and correctly usable for further applications. In Milev et al., 2010 it is also mentioned that the reason for velocity differences of identical stations is the selection of different IGS reference stations in datum definition

The case study of the Bulgarian *GNSS BULiPOS* network processed by applying the least squares method with minimum constraint conditions to several IGS reference stations shows that changes in datum definition result different estimations of the station velocities and the effect is very important and significant in combined use of velocities from different sources as input data in geotectonic and/or in geophysical investigations and interpretations. For reliable comparison and validation of horizontal velocity estimations from different studies it is necessary to be taken into account datum definitions.

The horizontal velocities estimated from processing of *GNSS* data in different studies are usually obtained with respect to the stable part of Eurasia plate but not always the introduced IGS stations for reference are given and further combined used of the velocities can affect not correct results.

### 4.3. EUMETNET

At the 20th Conference of the International *EUPOS* Steering Committee in Berlin, Germany, 2011 Bulgaria proposed *EUPOS* to be integrated to the system of *EUMETNET* and for this purpose to be prepared a Memorandum of Understanding between *EUPOS* and *EUMETNET*. The proposal was approved by the Steering Committee and included in the resolutions of the *EUPOS* symposium held at the same time in Berlin. At the 21th Conference of the International *EUPOS* Steering Committee in Bratislava, Slovakia, 2012 Bulgaria proposed a Memorandum of Understanding (MoU) for collaboration with EUMETNET, which was voted and adopted by the *EUPOS* member countries. Since then the main achievement is the signed MoU (May 2013) by both bodies – *EUPOS* and *EUMETNET*. In this respect Bulgaria intends to realise transfer of GNSS data from several *BULiPOS* stations to *EUMETNET* data centre.

Application of ground-based GNSS tropospheric products in operational meteorological and climate observing systems in Bulgaria/Southeast Europe was initiated in 2011 with development of the Sofia University Atmospheric Data Archive (SUADA). The motivation is to use the synergy between independent ground-based observations from GNSS and radiosonde to establish an archive for long-term monitoring of atmospheric water vapour. This archive will: (1) serve as a reference for the validation of numerical weather prediction models and satellite data; (2) facilitate the cross-validation of ground-based observations and derivation of systematic instrumental biases; (3) facilitate the evaluation of the present climate of Bulgaria/Southeast Europe of state-of-the-art climate models. SUADA was developed in close collaboration with the Institute of Applied Physics, University of Bern (IAP-UniBe) Switzerland.

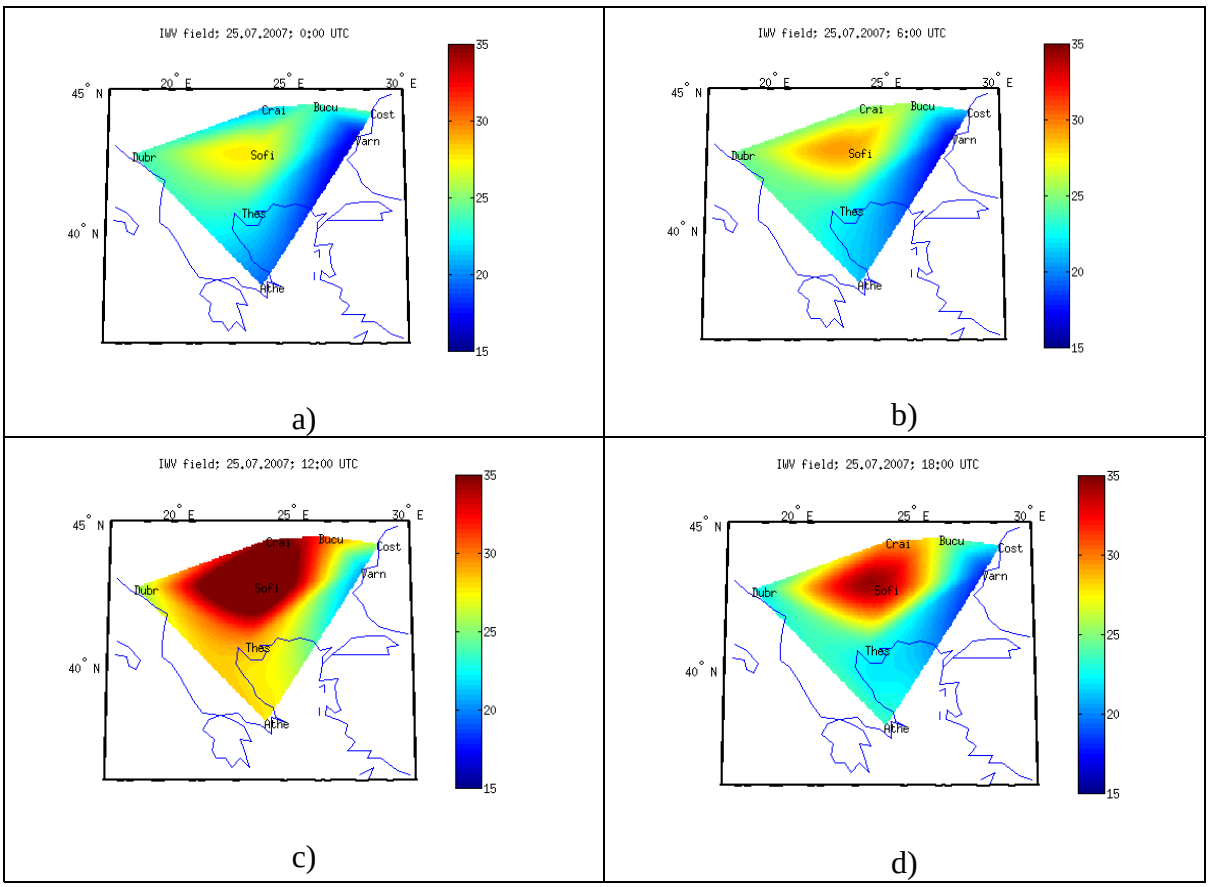



Fig. 8. 2D maps of IWV in Southeast Europe on July 25 2007 at: a) 00 UTC, b) 06 UTC, c) 12 UTC and d) 18 UTC

The first application of *SUADA* is a study of water vapour dynamic during the July 2007 (*Figure 8*) heat wave in Bulgaria. Heat waves have become a common summer feature in the Southeast Europe. Monitoring water vapour during the heat waves is critical as the combination of high temperature and water vapour is lethal. The atmospheric circulation leading to the heat wave is characterized by subtropical African air mass reaching the Southeast Europe. In the period 19 to 25 July 2007 a hot air tongue spreads over the Mediterranean Sea and the Southeast Europe. For this study GPS data from 19 GNSS permanent stations (AUT1, NOA1, BUCU, COST, DUBR, GLSV, GRAZ, MATE, ORID, PENC, POLV, ROZH, SOFI, SULP, MIKL, WTZR, ZIMM, VARN, CRAI) from Central and Eastern Europe were processed with the Bernese software, version 5.0. Tropospheric products and IWV for 8 stations in Southeast Europe are uploaded in the SUADA and used to prepare two dimensional (2D) maps of IWV distribution in the region. The temporal variation of IWV in Southeast Europe on July 25 2007 each 6 hours at 00, 06, 12 and 18 UTC is presented in *Figure 7*. As expected the diurnal variation of IWV follows closely the increase of the temperature and has a maximum at 12 UTC. The IWV derived from GNSS is very suitable to study the diurnal cycle of IWV as it provides observations with hourly resolution. In Europe, in the framework of the EUMETNET E-GVAP project (http://egvap.dmi.dk), GNSS tropospheric products from over 2 400 GNSS stations are available for monitoring water vapour dynamic in real time. Hourly tropospheric delays delivered by 11 GNSS processing centres are used for model validation and assimilation at 10 European national meteorological services and at ECMWF. The participation of East and Southeast Europe in the EUMETNET E-GVAP project is expected to be fostered by the signature in May 2013 of the EUPOS-EUMETNET Memorandum of understanding. Initiated in 2012 by Prof. Georgi Milev and Prof. Keranka Vassileva this agreement is very timely and will be very beneficial for the new COST Action ES1206 ”Advanced GNSS tropospheric products for severe weather events and climate application (GNSS4SWEC)”. One of the objectives of the Action is improving the data processing in East and Southeast Europe. Establishment of new GNSS analysis centers is a second important objective, which is well allied with the EUPOS plans. A National agreement for data exchange between the *BULiPOS* and the newly established Sofia University GNSS Analysis Centre (SUGAC) has been drafted. It is expected to be signed by the end of 2013. For processing the *BULiPOS* GNSS data for tropospheric products the NAPEUS software will be used. A software license application is sent to

ESA. In addition, computer resources for SUGAC processing were allocated at the Physics Faculty Linux cluster.

### 4.4. Current Projects

Brief information about several current projects related to Archeology, Flooding, Engineering and other projects is presented here.

#### Underwater Archeology

Significant project related to underwater archeology was implemented in an area of 100 km2 at the Black Sea coast. For this purpose airborne laser scanning on land and underwater topography was carried out, using EUPOS-BG stations respectively BULiPOS (Figures 8, 9).
As a result, digital terrain models of land and underwater topography were created. GIS was created for the purpose of archeology. The data can also be used if necessary to solve other problems except for the purposes of the project, led by the Centre for Underwater Archaeology and funded by the Ministry of Education - Fund "Scientific Research". Project implementation continues with a tendency to develop other projects for Underwater Archaeology in the same area.

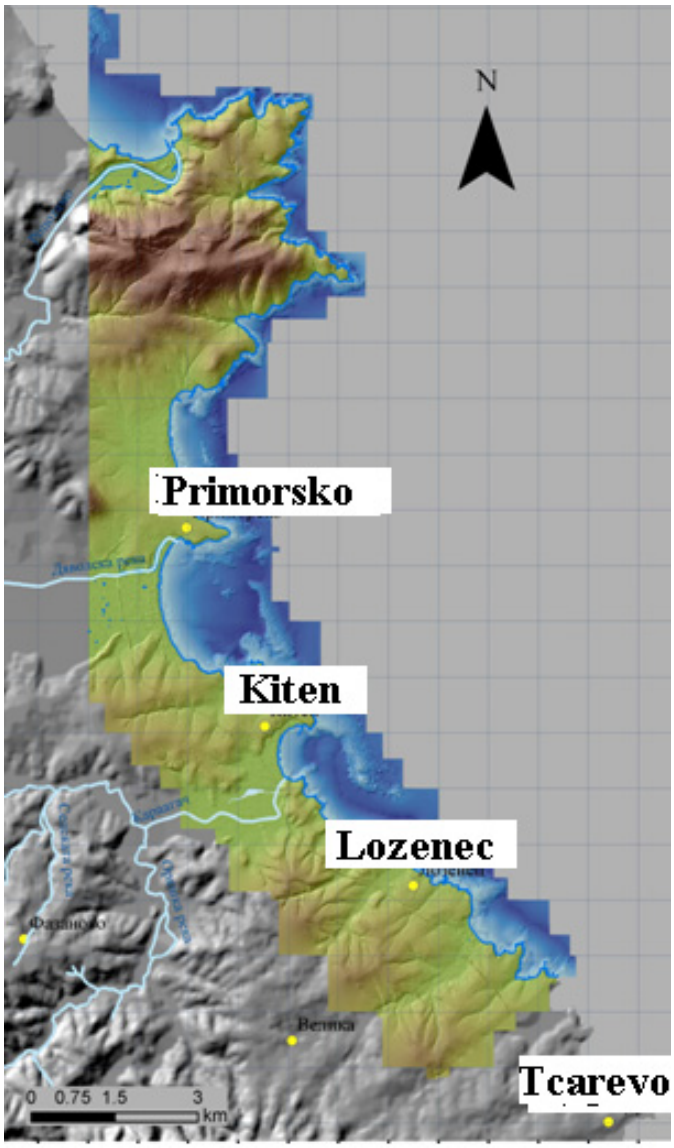
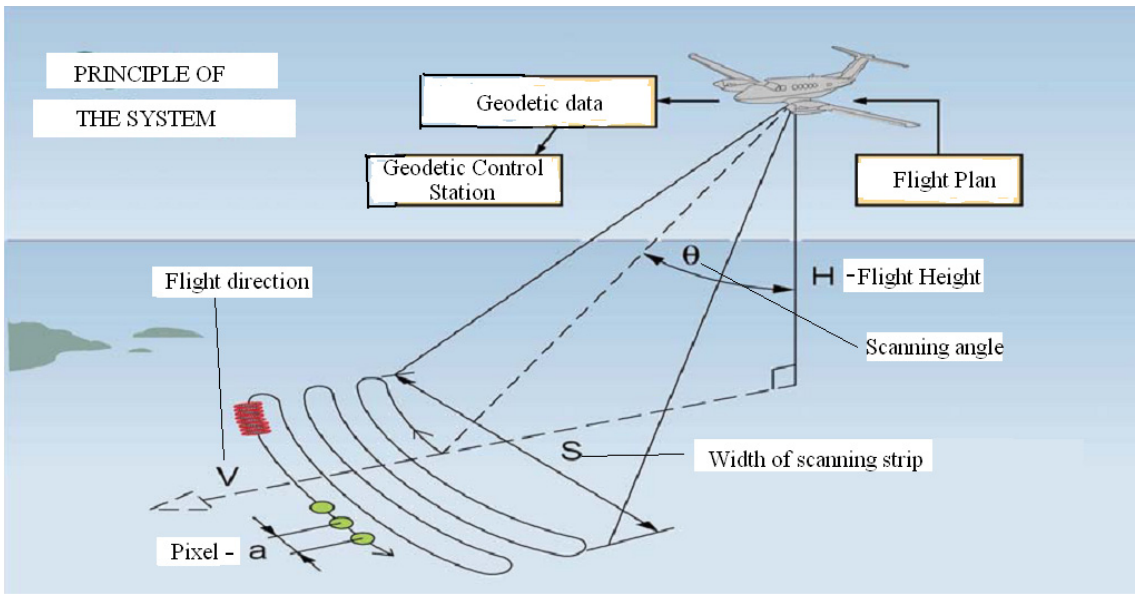



Fig. 9. Scanned region at the Black Sea coast



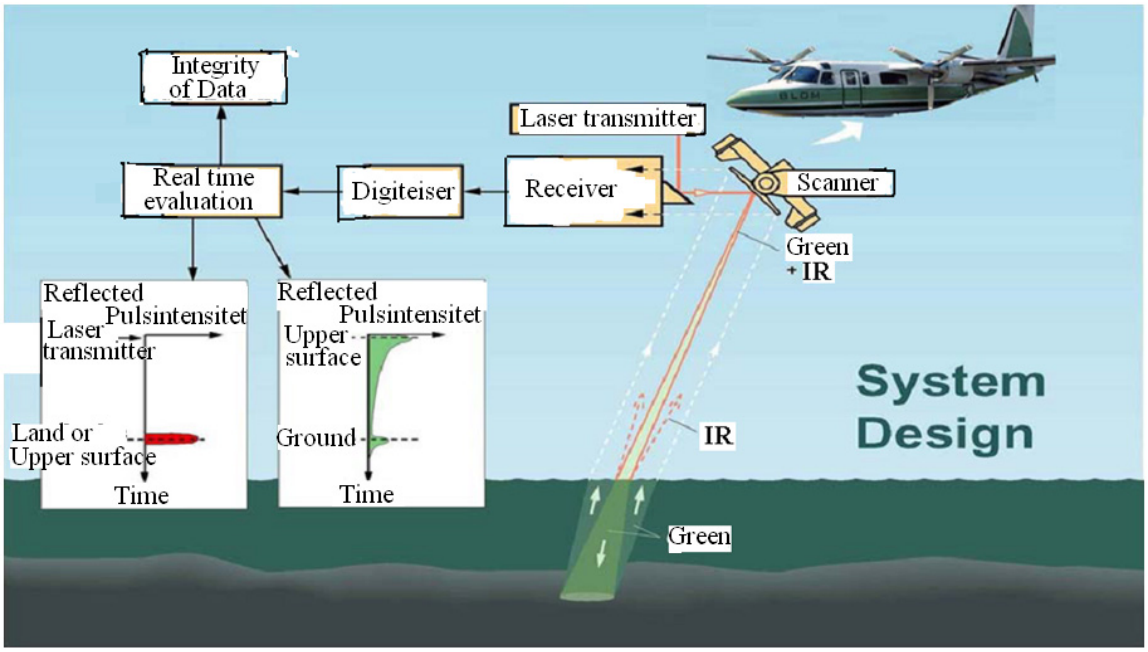




Fig.10. System for simultaneous scanning of underwater topography and land BLOM]

### Floods

Floods on the territory of Bulgaria are a national problem and problem of the neighbouring countries as well. A relevant methodology was developed and adopted in 2012/2013 to assess the flood risk making appropriate forecasts and projects for their emergence and development of measures to reduce their impact. The methodology is valid for the whole country. For creation of topographic base and digital terrain models and their requirements the airborne laser scanning was chosen as the most appropriate survey method combined in case of need by other methods, including the underwater topography. To illustrate the methodology the laser scanning information from already implemented archaeological project for the region of the Black Sea coast was used.

### Engineering and other Projects

A number of other engineering projects have been implemented mainly related to linear objects on the territory of Bulgaria. They concern for example documenting and designing of railways, power supply high voltage network, pipelines and more. The EUPOS-BG, respectively BULiPOS network has been

used. The system has a wide application in solving problems of the cadastre of the country and many others.

## 5. Conclusion

The presented current status and applications of EUPOS-BG shows that BULiPOS is maintained and used effectively. It also shows the diversity of this use for scientific, applied and other purposes. The EUPOS-BG segment BULiPOS and the whole system and network EUPOS demonstrate the correctness and the vision of the idea of its establishment.

## References:


1. B o u c h e r, C., Z. A l t a m i m i. (2011). Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign. Version 8: 18-05-2011.
2. B u r c h f i el, B. C., R. W. K i n g, A., T o d o s o v, V., K o t z e v, N., D u r m u r d z a n o v, T., S e r a f i m o v s k i, B., Nurce (2006). GPS results for Macedonia and its importance for the tectonics of the Southern Balkan extensional regime, Tectonophysics, 413, 239–248.
3. G u e r o v a, G., J o n e s, J., D o u s a, J., D i c k, G., H a a n, S. de, P o t t i a u x, E., B o c k, O., P a c i o n e, R., E l g e r e d, G., V e d e l. H. (2013). Advanced Global Navigation Satellite Systems tropospheric products for monitoring severe weather events and climate (GNSS4SWEC), Proceedings of the 4th International Colloquium - Scientific and Fundamental Aspects of the Galileo Programme, ESA Prague, Czech Republic.
4. K o t z e v, V., R. N a k o v, Tz. G e o r g i e v, B. C. B u r c h f i e l, R. W. K i n g, (2006). Crustal motion and strain accumulation in western Bulgaria, Tectonophysics, 413, 127–14.
5. M a t z a r a k i s, A., de F r e i t a s, C., & S c o t t, D. (2007). Developments in tourism climatology (Commission Climate, Tourism and Recreation, International Society of Biometeorology), 289.
6. M i l e v, G., Ch. D a b o v s k i. Eds. (2006). Geodynamics of the Balkan Peninsula. Monograph. Report on Geodesy, Warsaw University of Technology, No. 5 (80), 650 p.
7. M i l e v, G., K. V a s s i l e v a, I. M i l e v (2009). Development and applications of DGNSS in Bulgaria. Proceedings of the International symposium on GNSS, Space-Based and Ground-Based Augmentation Systems and Applications, 73-77.
8. M i l e v, G., M. B e c k e r, K. V a s s i l e v a, G. S t a n g l, I. M i l e v. (2010). Investigation of Geodynamics of Central and Eastern Europe, Balkan Peninsula and Bulgaria, In Monograph “Intelligent Data Analysis in Global Monitoring for Environment and Security”, ITHEA, Kiev-Sofia, 92-108.
9. S i m e o n o v, Tzv., K. V a s s i l e v a, G. G u e r o v a. (2013). Application of ground-based GNSS meteorology in Bulgaria/Southeast Europe: case study 2007 heat wave. Annual of University of Sofia, Volume 106, 88-100.
10. S t a n g l, G. (2011). Velocity Fields from Geodesy to Geodynamics. Presentation at the University of Vienna.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ЧОВЕШКИЯТ ФАКТОР – ОСНОВЕН ЕЛЕМЕНТ ПРИ ДЕКОМПОЗИЦИЯ НА МОДЕЛА 5 x M ЗА ПРИЧИНИТЕ ЗА АВИАЦИОННИ ПРОИЗШЕСТВИЯ

**Николай Загорски**

*Технически университет – София, филиал Пловдив*
*e-mail: nzagorski_bbc@abv.bg*

***Ключови думи:*** *авиационни произшествия, човешки фактор*

***Резюме:*** *Представен е обобщен модел на причините за авиационни произшествия. Извършена е декомпозиция на модела и са разгледани физиологическите и психологическите елементи на човешкия фактор в обощения модел. Посочени са примери за проявявата на тези елементи при различни полетни ситуации и тяхното влияние върху изхода на полета.*

# HUMAN FACTOR - ESSENTIAL ELEMENT IN DECOMPOSITION MODEL 5 X M OF THE REASONS FOR THE ACCIDENT

**Nikolay Zagorski**

*Technical University – Sofia, Plovdiv Branch*
*e-mail: nzagorski_bbc@abv.bg*

***Keywords:*** *aviation accidents, human factor*

***Abstract:*** *Presented a general model of the reasons for aviation accidents. Decomposition is performed on the model and examined the physiological and psychological elements of human factors in generalized model. Mentioned are examples of these elements occurs in different flight situations and their impact on the outcome of the flight.*

## Въведение

Много рядко едно авиационно произшествие е резултат на една единствена причина. Като правило, произшествията са резултат от комбинацията на няколко различни причини.

В процеса на функциониране върху авиационния комплекс действат различни фактори, които могат да се разделят на статични и динамични. Статичните фактори са относително постоянни и не се променят в процеса на функциониране. Към статичните фактори се отнасят надеждността на системите на въздухоплавателните средства (ВС), несъвършенствата в нормативно-техническата документация, надеждността на земните аеронавигационни и информационни системи, организацията и управлението на въздушното пространство и др.

Към динамичните фактори се отнасят управляващите въздействия на екипажа посредством органите за управление на ВС, командите към екипажите, подавани от екипите на органите за РВД, недостатъците в професионалната подготовка на екипажите и на земния персонал (в най-голяма степен – от РВД), неблагоприятни психофизиологични прояви в полет (внезапно заболяване, травми, стрес, преумора, хипоксия, алкохолно и наркотично опиняване, отравяне, десинхронизация на денонощния цикъл, неблагоприятен биоритмичен фактор и др.), външни активни въздействия (сблъсък с единична птица, с ято птици, с други тела в атмосферата, електрически разряд, опасно движение и опасни градиенти (“порив”) на вятъра, интензивна атмосферна турбулентност, интензивно обледеняване) и др.

На фиг.1 е представен систематизираният модел 5 x M на причините за авиационни произшествия. Използван е моделът на причини за авиационни произшествия, разработен за в

началото на 90-те години на миналия век от швейцарския професор по авиационна психология Анчард Зеелер [1, 5].




Фиг. 1: Общ модел на причините за авиационни произшествия

Моделът включва следните фактори:
1. ***MAN* = ЧОВЕК** (човешки фактори)
2. ***MATERIAL* = МАШИНА** (технически фактори)
3. ***MEDIUM* = ВЪНШНА СРЕДА**
4. ***MENAGEMENT* = МЕНИДЖМЪНТ**
5. ***MISSION* = ПОЛЕТНА ЗАДАЧА** (цел на полета)

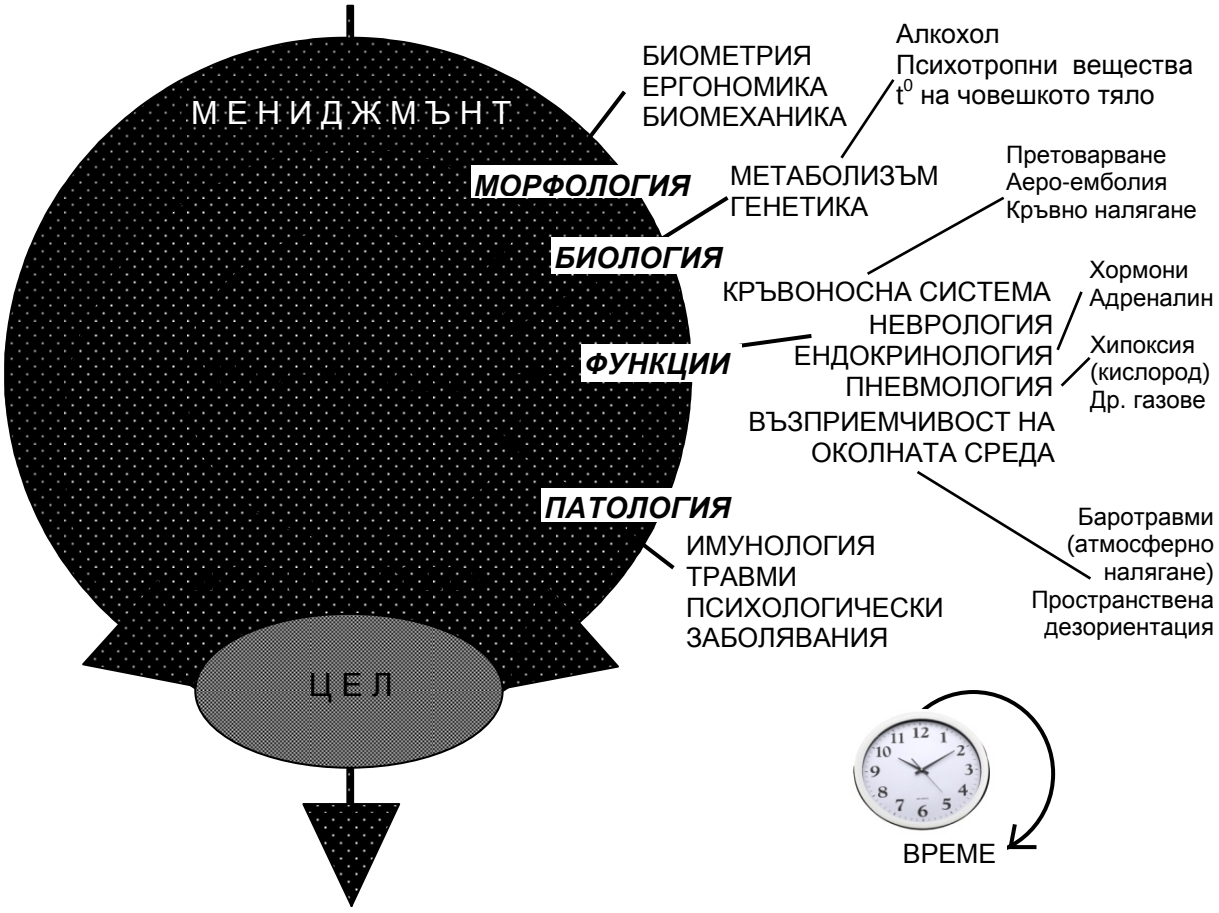
Разбира се факторът „Време“ е изключително важен и поради тази причина всеки един от отделните фактори се разглежда в непосредствена връзка с времето.

Декомпозицията на модела 5 x M и разкриване на отделните елементи, които влияят върху безопасността ще бъде направено на два големи дяла: човешкият фактор с неговите физиологични дадености (елементи) и човешкият фактор с неговите психологически особености.

**Физиологически елементи на „Човешкия фактор“**

На фиг.2 е представена декомпозиция на „Човешкия фактор“ по отношение на физиологическите елементи и особености на организма на човека, а фиг.3 – декомпозицията на „Човешкия фактор“ по отношение на психологическите особености на отделния човек.

Понижението на парциалното налягане на кислорода във вдишвания въздух води до смущения в човешкия организъм, наричани най-общо височинна болест. В авиационната физиология е приет терминът хипоксия като по-точен, свързан с летателната дейност на човека. Характерни белези на хипоксията са обща отпадналост, трудно съсредоточаване на вниманието, забавено протичане на мисловните процеси, неправилно оценяване на обстановката, снижаване на работоспособността, нарушаване на координацията на движенията, загуба на навиците при пилотиране. Понякога се наблюдава еуфория – състояние на повишено настроение и самочувствие, наподобяващо леко опиянение. Както при еуфория, така и при лошо самочувствие, в условията на хипоксия не е изключена възможността за внезапна загуба на съзнание.

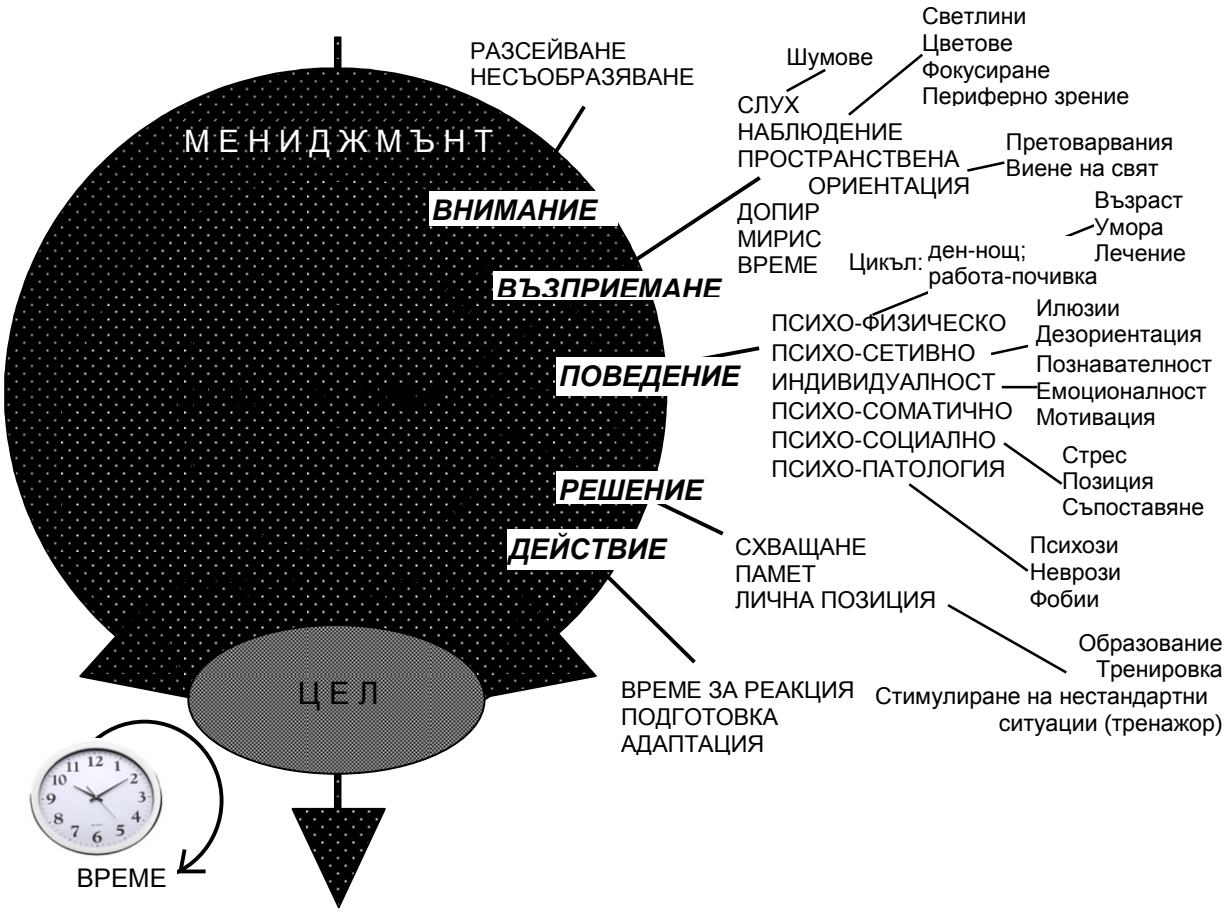



Фиг. 2: Физиологически елементи на „ЧОВЕШКИ ФАКТОР“

Най-голямата опасност на хипоксията е нарушеното протичане на психичните процеси, при които човек не може трезво и критично да преценява собственото си състояние и околната обстановка.

Действително, анализът на всеки от военните конфликти през последните 60 години (Северна Корея, Виетнам Близкоизточните конфликти, Афганистан) свидетелства, че факторът “заплаха за живота” за летателните екипажи от воюващите страни, като правило, е съществувал на етапа на бойното използване. В същото време условията в Афганистан, от гледна точка на психоемоционалното въздействие върху летателния състав, представлявали уникална ситуация. Във връзка с високата активност на противника в борбата с въздушни цели (зенитни установки, ПЗРК от типа „Стингър“ и „Блоупайп“ и т.н.) факторът “Заплаха за живота” присъствал през време на целия полет и бил най-вероятен в района на летището. Потвърждение за това е факта, че най-често поразявани са летателни апарати на етапите излитане, набор на зададения ешелон, снижение, заход за кацане и кацане. Това обстоятелство довело до необходимостта от промяна в тактиката за бойното използване на армейската авиация. Това е ярък пример за връзката между професионалното здраве и тактиката на авиацията, превърнала се в опасен фактор за безопасността на полетите и пряка заплаха за живота на екипажите.

Проблемът е в това, че започвайки от 1986 г. височината на полета за вертолетите съставлявала H = 4000 ÷ 6000 m, за военнотранспортната авиация H = 6500 ÷ 8000 m, за Су-25 H = 6000 ÷ 10000 m. Отчитайки нехерметичността на кабините този факт довел до поява на проблеми с хипоксията. Посочените височини са усреднени и в повечето случаи те са били много по-големи, доколкото това е бил единственият и най-ефективен способ за избягване на поражение от ПЗРК „Стингър“. Продължителността на престоя в нехерметична кабина на височини повече от H = 4500 m е достигала повече от 1 – 2 часа. При това около 40 % от летците, особено първите 2÷3 месеца от престоя в Афганистан, са съобщавали за неблагоприятното влияние на хипоксията, включително и случаи на загуба на съзнанието, много силно главоболие, придружено с повръщане. Бордовата кислородно-дихателна апаратура не се използвала, а на всички вертолети тя била въобще демонтирана поради липса на медицински кислород.




Фиг.3: Психологически елементи на „ЧОВЕШКИ ФАКТОР“

Трябва да се отбележи недопустимо ниското ниво на безопасност при превоза на хора в нехерметичните товарни отсеци на самолетите Ан-12. Прелитанията се осъществявали на височини H = 6100÷6700 m с продължителност от 1,5 часа и повече. При това в отсека отсъствали даже минимални запаси кислород за използване в особено екстремални случаи. В резултат, само за периода от декември 1981 г. до юли 1986 г., това причинило смъртта на трима военнослужещи – пътници и снемане от летателна работа на двама пилоти, след прекарано състояние на тежка хипоксия [2, 3].

Твърде значими и ярко изразени се оказали височинните фактори на полета за летателния състав от щурмовата авиация в Афганистан. Самолет Су-25 притежава нехерметична кабина е разчетен за полети на височини до H = 7000 m. Поради това полети на височини H =7000÷10000 m, дори при използването на кислород, в 60÷80 % от летателния състав се съпровождало с развитие на симптомите на височинно-декомпресионна болест, с различна степен на изразеност на болки в ставите и в гърдите [4, 7].

Взривна декомпресия се получава при ситуации, при които внезапно се нарушава херметичността на кабината (изпадане на капака на кабината, разрушаване на остъклението и др.). В такъв случай протича рязко изравняване на високото налягане в кабината с това на околната атмосфера. Известно е, че на колкото по-голяма височина се е случила взривната декомпресия, толкова по-голяма е разликата между двете налягания. Силата и изразеността на декомпресията зависят и от бързината, т.е. от времето на изравняване на наляганията.

Настъпилото внезапно, рязко повишаване на налягане на газовете във всички “кухи” органи на тялото (белите дробове, средното ухо, кръвоносните съдове, стомаха и червата) представлява всъщност една “газова експлозия”, един мощен “газов удар” отвътре навън. Ефектът на въздействието в някои случаи води до разкъсване на тъканите на вътрешните органи.

Най-значителни са увреждания на белите дробове, които съдържат повече въздух от който и да е друг орган. В резултат на удара на белите дробове по вътрешната стена на гръдния кош, в сърцето, големите кръвоносни съдове, а през диафрагмата- и в черния дроб,

може да настъпят различни по изразеност увреждания: от леки натъртвания и кръвонасядания до по-масивни разкъсвания.

Взривната декомпресия оказва въздействие и върху сърдечно-съдовата система. В началния момент в повечето случаи се наблюдава ускоряване на пулса и повишаване на кръвното налягане, което по-късно спада по-ниско от изходните стойности.

При взривна декомпресия на голяма височина най-опасна за екипажа и пътниците е острата кислородна недостатъчност, която настъпва непосредствено след декомпресията. За броени секунди може да настъпи загуба на съзнание, с което опасно да се застраши сигурността на полета.

Защита на организма от взривната декомпресия се осъществява практически едновременно със защитата му от острата кислородна недостатъчност.

Всеки член от екипажа, както и всеки друг човек, разполага с точно определени анализатори- зрителен, слухов, вестибуларен, тактилен, температурен, обонятелен, сетивен, усещане за болка. Периферните части на анализаторите представляват специфично устроени рецептори, включително и точковидни, разположени в различни участъци на човешкото тяло. Чрез техните „датчици“ информацията за външната среда постъпва в централната нервна система. Те имат определен диапазон на чувствителност, различаваща способност и далечина на възприятието. Чифтните системи притежават и насоченост на възприятието. Те могат с определена точност да преценяват посоката и да създават пространствена представа за положението на човешкото тяло.

Зрителният анализатор в сложната летателна дейност е от изключително значение. Посредством зрението се възприемат формата, размерите и цветът на предметите, получава се представа за тяхното взаимно разположение, придвижване и отдалечаване в пространството. По този начин се осъществява в най-голяма степен пространственото ориентиране на човека. Светлинните условия имат съществено значение за зрителното ориентиране в полет. В най-общ вид светлинните условия се характеризират с понятията осветеност и яркост, които функционално са взаимно зависими.

При полети на малка височина и при кацане с голяма скорост особено значение има способността на окото да различава движещи се обекти, т.н. динамична острота на зрението.

При дишането на чист кислород, т.н. хипероксия, могат да настъпят зрителни смущения, изразяващи се във влошаване качеството на пространственото и периферно зрение, на качествата на зрителното възприятие.

В летателната практика понякога се срещат и зрителни илюзии. Те са доста разнообразни. Някои от тях възникват по-често и имат значение за безопасността на полетите.

Автокинетична илюзия възниква, ако човек се намира в тъмно помещение и се взира в неподвижен, слаб източник на светлина, след няколко секунди започва да му се струва, че светлината се движи. Аналогични илюзии могат да възникнат и в полет, когато летецът фиксира погледа си за по-продължително време върху определен неподвижен обект, разположен на еднородно оцветен фон. Има случаи при групов нощен полет, когато летецът, като фиксира погледа си към някоя звезда, да я възприеме като контролна светлина на водещия самолет. Такива илюзии са опасни, защото могат да доведат до сблъсъкване на самолетите във въздуха.

Илюзията за увеличаване размерите на телата е свързана с бързото приближаване на ВС към даден обект. Идва момент, когато на летеца му се струва, че този обект е увеличен и неподвижен. Това следва да бъде сигнал за незабавна смяна на курса за да се избегне сблъскването. Илюзията за намаляване размерите на телата се получава при разнопосочно движение на самолетите и има същия физиологичен механизъм.

Илюзия за перспектива може да възникне при нощен полет, когато в полезрението на пилота попада редица от светлини, разположени по крива или под ъгъл, което може да се възприеме илюзорно като линия на естествения хоризонт. Илюзия за завой се появява при хоризонтален полет по права, когато два самолета летят успоредно, но с различна скорост.

Съществуват и други зрителни илюзии. Например, един светлинен източник се възприема за друг; сигналните светлини на два далечни самолета се възприемат като светлини на един по-близък самолет; изолирани земни светлини- като звезди, и обратно, звезди- за земни светлини.

Най-важната и най-съществената разлика на летателната дейност в сравнение с всички други дейности на човека е, че тя се осъществява изцяло в пространството, с бързи промени на посоката и скоростта на придвижване на летателния апарат и много често в условия на ограничена видимост- нощем, в облаци. Това затруднява пространственото ориентиране на екипажите, особено на тези, които летят на скоростни и високо маневрени самолети.

Вестибуларният анализатор е този, който дава информация за положението на тялото в пространството. Ориентирането на човека в пространството е сложен психофизиологичен

процес, резултат на интегративната дейност на централната нервна система. В този процес участват зрителният и вестибуларният анализатори, дълбоката мускулно-двигателна сетивност, усещанията от вътрешните органи, кожата и др.

Посочените анализатори е необходимо да функционират правилно и съгласувано, възбудите в тях да се възприемат, анализират и осъзнават своевременно и точно в централната нервна система.

При обичайните условия на земята дейността на цялата тази сложна функционална система от анализатори е така устроена и интегрирани, че осъществява успешно пространственото ориентиране на човека. Това е съвсем естествено, като се има пред вид, че тя се е изработила в процеса на еволюционното развитие на всички живи организми, включително и на човека, под въздействието на гравитационното поле на Земята.

В полет нещата обаче се променят. Човекът вече няма под себе си твърда, неподвижна опора. Опората (самолетът), на която се намира човекът, е подвижна и има възможност да се придвижва свободно в трите равнини на пространството. Самолетът изпълнява полета по траектория, която не зависи от земното привличане. При това положение се създават условия, при които може да се наруши нормално изградената дейност на функционалната система за ориентиране на човека в пространството. Причината за това е, че отпада или се изопачава един друг поток от постъпващата информация.

Най-голяма опасност за сигурността на полетите в сложни метеорологични условия е възникването на илюзии за пространственото положение на самолета и собственото тяло. Под това се разбира неправилно, изопачено, лъжливо възприятие и отражение в съзнанието на летеца на собственото положение (на самолета) в пространството. Съществуват различни по вид и изразеност вестибуларни илюзии: за пространствено положение на тялото, за праволинеен полет, за набиране на височина- “кабриране”, преобърнато положение, за ляв и десен наклон- т.н. „крен“, противовъртене и др.

При илюзията за пространствено положение на тялото летецът, като не вижда естествения хоризонт и като не следи авиохоризонта във ВС, се отклонява по вертикала, т.е. изменя височината на полета. Този вид илюзия е свързана с физиологичните особености на отолитовия апарат във вътрешното ухо, който не може да възприема някои подпрагови дразнения, свързани с отклонение в посоката на придвижване на тялото в пространството по вертикалата.

При илюзията за праволинеен полет независимо, че ВС се намира в крен (наклон), поради изпълнението на завой, летецът в един момент, като се ръководи от усещанията си, започва да „чувства“, че ВС е излязъл от завоя и започва да лети по права линия. Това усещане, разбира се, е лъжливо, защото завоя продължава.

Обективно съществуват и други илюзии в полет, като: илюзията за кабриране, за крен, за противовъртене, за преобърнато положение и др.

Биологичните ритми като свойство на живите организми, включително и на човека, са възникнали под влиянието на синхронизиращото въздействие на външните, ритмично повтарящи се физически цикли на Слънчевата система, свързани с въртенето на Земята около собствената й ос и около Слънцето, с фазите на Луната и др. В това отношение те са вродени и неизменни.

Много показателен и добре проучен е, например, денонощният цикъл, който обхваща 24-часовите промени в човешкия организъм, засягащи всички органи и системи. Нарича се още циркаден (от латинските думи *circa* - около и *dies* - ден). Например, в ранните сутрешни часове обемът на кръвта в кръвообращението е най-малък, след това постепенно се увеличава и в края на деня отново намалява. Телесната температура сутрин е най-ниска, към 17:00 часа – най-висока, а след това отново намалява. Черният дроб произвежда най-много захар към 2:00 ÷ 4:00 часа след полунощ, а разгражда най-много към 18:00 часа. Съдържанието на водата в кръвната плазма и в кръвните клетки се увеличава през нощта, обмяната на веществата намалява към 17:00 часа, а се увеличава към 4:00 часа. Броят на червените кръвни клетки в денонощието се колебае с половин милион. Този ритъм се проявява и в произвеждането на различни хормони. Той може да се влияе от годишните времена.

Циркадните ритми са наследствено обусловени и имат важно приспособително значение за организма на човека. Те се отличават с ярко изразена стабилност. Правени са интересни експерименти за разрушаване на този цикъл – доброволни участници са поставяни в условия на постоянна тъмнина или светлина, като са изолирани в дълбоки пещери, провеждани са експерименти със слепи хора и т.н., но резултатите са били безуспешни. Продължителността на циркадния цикъл може да бъде съкратена до 18 часа и удължена до 28 часа, когато човек се постави в изкуствен цикъл светлина – тъмнина. Преминат ли се обаче посочените граници на минимум и максимум, физиологичната адаптация се нарушава и организмът започва да живее по своя обичаен, 24-часов цикъл. Цикълът на бодърстване и сън

не се променя даже при продължителни пребивавания в постоянна светлина или тъмнина (в полярните зони, в Космоса).

Това показва, че психофизиологичните, биохормоналните и всички други промени в организма, свързани с циркадния ритъм, имат безспорно значение за психичното състояние и работоспособността на летателните екипажи. В едно проучване на авиационните произшествия е установено, че две трети от тежките произшествия денем в сложни метеорологични условия са станали в следобедните часове – след 13:00 часа. Половината от нощните произшествия в сложни метеорологични условия – след полунощ. Трябва да се има предвид, че количеството на пролетените часове сутрин и преди полунощ са били винаги много повече, отколкото тези съответно след обед и след полунощ. В случая значение могат да имат и други фактори, като натрупаната умора и пр., но влиянието на циркадните ритми е безспорно. [6, 8, 9]

Извършени са експериментални изследвания на различни хормони у човека и са наблюдавани сезонни различия. Например, нивото на тестостерона е най-високо през септември – октомври, според други автори- в периода юни – август. Сезонност се наблюдава не само при нормалните функции на организма, а също при проявите на някои заболявания, например, при язвената болест съществува изразено сезонно изостряне на болестта през пролетта и есента, а при астмата- през летните месеци.

Установено, че с промените в атмосферното налягане се променя количеството на разтворените газове в кръвта, а оттам и киселинно-алкалното равновесие в кръвта. Когато съставът на кръвта се променя към алкален (основен) се появяват спазми (чревни, жлъчни), тромбози, стенокардни, астматични пристъпи, повишава се съдържанието на вода в тъканите, спада кръвното налягане, намалява обмяната на веществата, забавят се мисловните процеси и пр. И обратно, когато съставът на кръвта се променя в кисела посока, преобладават други симптоми – кръвното налягане се повишава, тъканите отдават по-лесно водата, засилва се обмяната на веществата, повишава се възбудимостта на нервната система, намалява се рефлексното време, понижава се способността за концентрация на вниманието, появява се склонност към депресивни, меланхолни изживявания и пр.

**Заключение**

В заключение може да се отбележи, че разгледаните физиологически и психологически елементи на „ЧОВЕШКИЯ ФАКТОР“ са обективни и неизменно съществуващи дадености на човека. За преодоляването им или за намаляване на тяхното въздействие най-значителна роля може да окаже използването на симулатори на полета.

Най-голям успех в тренировките се постига по пътя на последователното отработване на учебни програми. Вместо дългото и уморително отработване на аварийни ситуации е практично и целесъобразно тренирането на полети по голям брой маршрути в типов район, като при това се постига отлично сработване между членовете на екипажа. Аварийните ситуации и нарушенията в управлението за по-голяма правдоподобност се въвеждат не циклично, а спонтанно, предизвиквайки в трениращите се чувство за реална обстановка при редовен полет.

В тази посока съществена роля имат и специалните програми за усъвършенстване на работата на екипажа в екип (т.нар. Cockpit Resource Management), които са особено актуални през последните години.

**Литература:**


1. З а г о р с к и, Н., Св. А с е н о в. Развитие на отношението към безопасността в авиационната безопасност: еволюция и усъвършенстване на модела за причините за авиационни произшествия, XVI Международна научно-техническа конференция по транспортна, строително-пътна и подемно-транспортна техника и технологии, trans &MOTAUTO'09, стр. 96 – 99.
2. М а д ж а р о в, Б. Безопасност на полетите, София, ВИ, 1981.
3. Безопасность полетов летательных аппаратов, под редакцией Лысенко Н.М., КВВАИУ, 1989.
4. Руководство по расследованию авиационных происшествий, четвертое издание – 1970 г., Doc 6920-AN/855/4.
5. Accident Prevention Manuel, Doc 9422-AN/923, ICAO, First Edition – 1984.
6. K a n n, C. F., For the record, National Aeronautics Associations Newsletter, Washington (DC), 1987.
7. L e d e r e r, J. F., E n d e r s J. H., Aviation Safety – the global conditions and prospects, Flight safety Foundation, Inc., June, 1987, p.p. 1-14.
8. Д о н о в, Г., С о т и р о в Г. Автоматизирана локализация на неизправности в авиационното радиоелектронно оборудване. Сборник доклади от Научно-приложна сесия на международната изложба ХЕМУС- 1996, стр.227-234.
9. Z a f i r o v, D., The Aircraft's Lifecycle Management, International Congress Mechanical Engineering Technologies '04, September 23-24, 2004, Varna

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ВЪНШНАТА СРЕДА – ОСНОВЕН ЕЛЕМЕНТ ПРИ ДЕКОМПОЗИЦИЯ НА МОДЕЛА 5 x M ЗА ПРИЧИНИТЕ ЗА АВИАЦИОННИ ПРОИЗШЕСТВИЯ

**Николай Загорски**

*Технически университет – София, филиал Пловдив*
*e-mail: nzagorski_bbc@abv.bg*

***Ключови думи:*** *авиационни произшествия, външна среда*

***Резюме:*** *Представен е обобщен модел на причините за авиационни произшествия. Извършена е декомпозиция на модела и са разгледани факторите на природната среда като даденост на физическата среда, в която се провежда авиационната дейност и на външната среда, като резултат от дейността на човека.*

# EXTERNAL ENVIRONMENT - ESSENTIAL ELEMENT IN DECOMPOSITION MODEL 5 X M OF THE REASONS FOR THE ACCIDENT

**Nikolay Zagorski**

*Technical University – Sofia, Plovdiv Branch*
*e-mail: nzagorski_bbc@abv.bg*

***Keywords:*** *aviation accidents, external environment*

***Abstract:*** Presented a general model of the reasons for the accident. Decomposition is performed on the model and examined the factors of the environment for granted the physical environment in which it conducts aviation operations and the external environment as a result of human activity.

## Въведение

Много рядко едно авиационно произшествие е резултат на една единствена причина. В процеса на функциониране върху авиационния комплекс действат различни фактори, които могат да се разделят на статични и динамични. Статичните фактори са относително постоянни и не се променят в процеса на функциониране. Към динамичните фактори се отнасят управляващите въздействия на екипажа посредством органите за управление на ВС, командите към екипажите, подавани от екипите на органите за РВД, недостатъците в професионалната подготовка на екипажите и на земния персонал (в най-голяма степен – от РВД), неблагоприятни психофизиологични прояви в полет, външни активни въздействия (сблъсък с единична птица, с ято птици, с други тела в атмосферата, електрически разряд, опасно движение и опасни градиенти на вятъра, интензивна атмосферна турбулентност, интензивно обледеняване) и др.

Като правило, произшествията са резултат от комбинацията на няколко различни причини. В модела за причините за авиационни произшествия на проф. Зеелер са включени следните фактори:

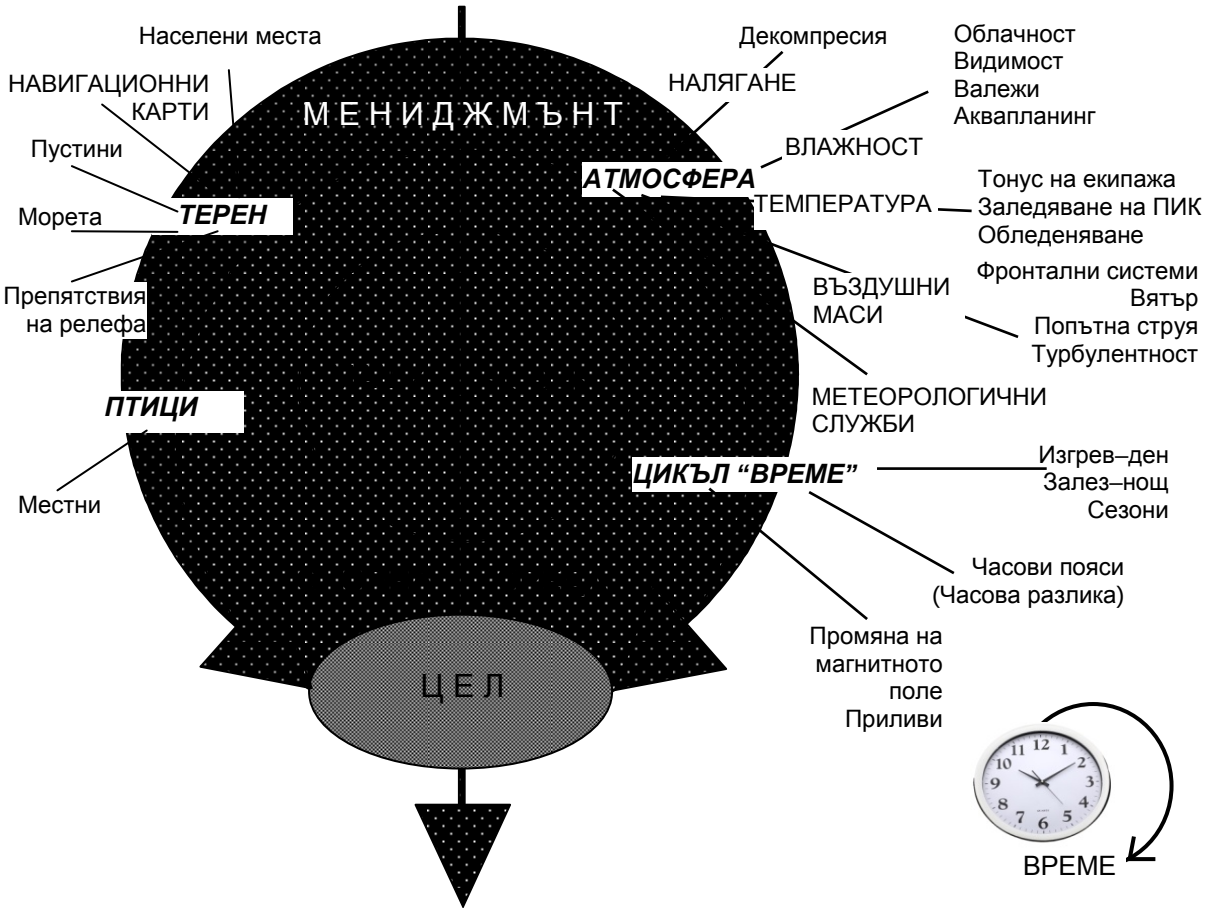
1. ***MAN* = ЧОВЕК** (човешки фактори)
2. ***MATERIAL* = МАШИНА** (технически фактори)
3. ***MEDIUM* = ВЪНШНА СРЕДА**
4. ***MENAGEMENT* = МЕНИДЖМЪНТ**
5. ***MISSION* = ПОЛЕТНА ЗАДАЧА** (цел на полета)

Разбира се факторът „Време“ е изключително важен и поради тази причина всеки един от отделните фактори се разглежда в непосредствена връзка с времето [1, 3].

Декомпозицията на модела 5 х М по отношение на външната среда е извършен в две посоки: по отношение на природната среда и спрямо влиянието на околната среда като резултат от дейността на човека.

**Влияние на външната среда и на околната среда като резултат от човешката дейност**

На фиг.1 са показани основните елементи на фактора „Природна среда“, а на фиг.2 е представена декомпозицията на елементите по отношение на околната среда като резултат от човешката дейност.




Фиг.1: Основни елементи на фактор „ПРИРОДНА СРЕДА“

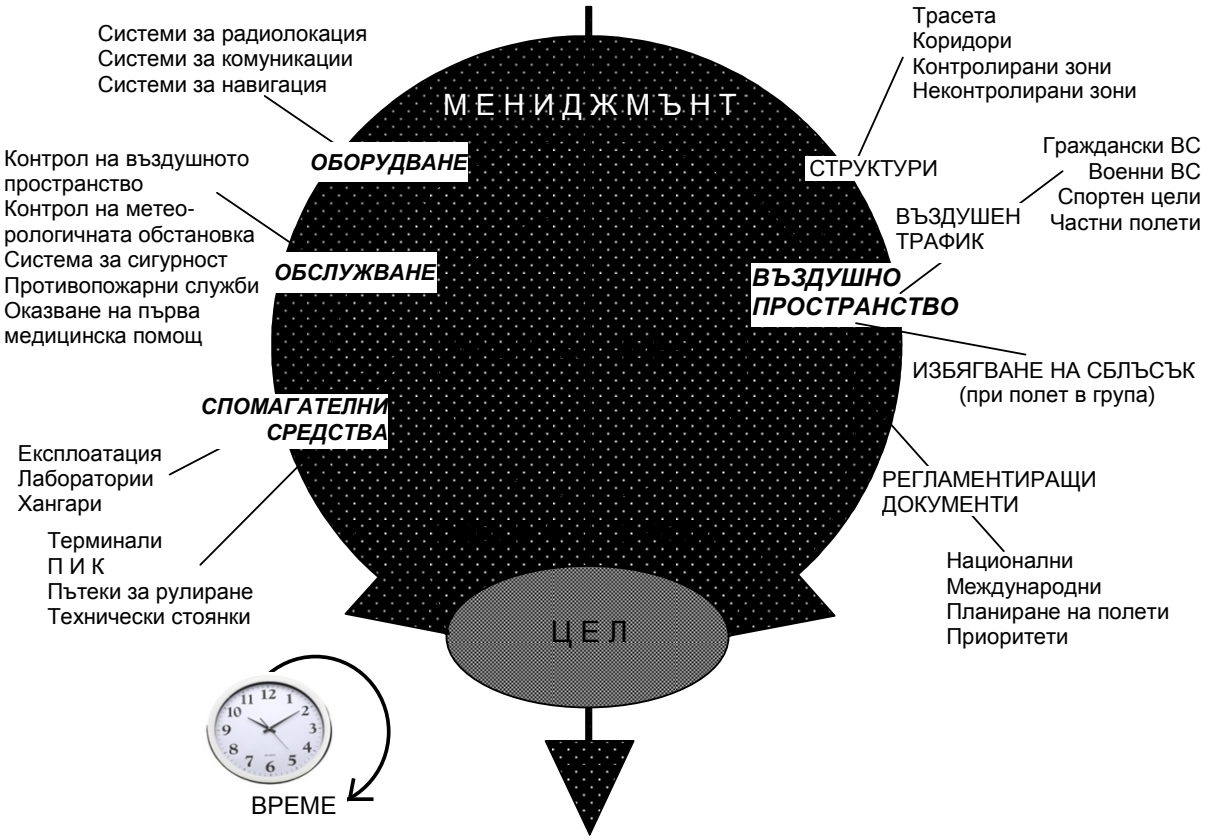
Обледеняване на ВС е възможно при температура на въздуха от $+5^0$ до $-20^0$С при полети в облаци, мъгла, дъжд и други подобни условия. Обледеняването е възможно както на земята, така и в полет, в широк диапазон от скорости и височини. Лед по повърхностите се образува при попадане и престой на ВС в зона с наличие на преохладени капки, пари или ледени кристали, когато температурата на несмутения въздух е равна или по-ниска от температурата на замръзване, или частите на ВС са с температура под тази на замръзване. Най-често лед се образува по атакуващите части на ВС: атакуващите ръбове на крилата, стабилизаторите, тялото, въздухозаборниците на двигателите, антените и др. В резултат на обледеняването се изменят аеродинамичните характеристики, влошава се аеродинамичното качество, снижават се пилотажните свойства и се влошават характеристиките по устойчивост и управляемост. При обледеняване намалява секундният масов разход на въздух през двигателите, а заедно с това намалява и теглителната сила, възможна е неустойчива работа. При попадане на лед в компресорите могат да се получат побитости и други повреди по лопатките им [2, 5].

При полет в зона на обледеняване е необходимо да се спазват следните правила:

- да не се допуска прелитане през зони с опасност от обледеняване на ВС, които не са оборудвани с противообледенителни системи;

- на всички етапи от полета противообледенителните системи се включват преди навлизането в зоните с опасност от обледеняване;

- ако мерките на екипажа срещу обледеняването са неефективни и не осигуряват безопасното продължаване на полета, след подаване на сигнал и съгласувано с ръководителя на полетите, екипажът променя височината или маршрута до излизане в район, където е възможно безопасното продължаване на полета, или полета се прекратява [4, 7].




Фиг.2: Основни елементи на „ОКОЛНАТА СРЕДА“ като резултат на човешката дейност

В условията на наземно обледеняване безопасността на полетите се осигурява с правилно и своевременно използване на противообледенителни средства и течности, използване на противообледенителните системи на ВС и двигателите, непрекъснат контрол на повърхностите на ВС и контрол за параметрите на двигателя (двигателите).

При вземането на решение за прелитане през район с гръмотевична дейност екипажът трябва да отчита характера на буреносните облаци, разположението и преместването им, възможните маршрути за обход, необходимостта от допълнително количество гориво [5, 6].

Опасност при полет в буреносна зона представлява и поразяването на ВС от мълния. При такова явление силата на тока превишава няколко десетки хиляди ампера поради това нерядко отказват бордовите радиотехнически средства за комуникация и навигация, разрушават се металически повърхности на ВС. Анализът показва, че най-често тези събития се проявяват през пролетно-летния сезон на височини до 5000 m.

Полетът в турбулентна среда се характеризира със случайни външни въздействия, в резултат на които параметрите на движение на ВС и положението му в пространството се изменят по случаен начин, затруднява се управлението на полета, а при по-значителна интензивност може да се излезе на критически ъгли на атака, да се превишат пределните значения на претоварването, да се превишат пределните ъглови скорости и т.н.

Турбуляризацията на въздушните течения в атмосферата възниква поради неоднородност в термичните полета и скоростта на вятъра. Към естествените причини за турбуляризация на атмосферата се отнасят следните:

- триенето на въздушните потоци в повърхността на земята и създаването по такъв начин на значителен вертикален градиент в профила на скоростта на вятъра;

- различният екран на постилащата повърхност на земята, който от своя страна поради различното нагряване поражда различни температурни полета и скорости на вятъра, в различна степен поглъщане и отразяване на падащата радиация, предизвикващо различна термична конвективност;

- процесите на образуване на облаци и изменение на температурното поле и скоростта на вятъра в резултат на отделената топлина при кондензацията и кристализацията;

- взаимодействието на въздушните маси близо до атмосферните фронтове и височинните фронтални зони, където се наблюдават хоризонтални контрасти на температурата и скоростта на вятъра;

- загубата на устойчивост на въздушните течения в интензивните слоеве между тропосферата и тропопаузата;

- деформацията на въздушните течения от препятствия, например- от планински склонове, и възникване на вълнови смущения и ротационни движения от към подветрената страна.

Всички тези процеси може да се проявят обособено или съвместно. Общото в тях е, че въздействието им върху ВС се характеризира с променливи, случайни, положителни или отрицателни изменения на нормалното претоварване. Много интензивните пориви в турбулентна среда могат да предизвикат превишаване на пределните значения на претоварването, вследствие на което ВС може да получи остатъчни деформации, да се разруши или да излезе в режими на „сваляне“ [1, 6].

При порив на вятъра (големи хоризонтални и вертикални градиенти на скоростта на вятъра в определени слоеве на атмосферата) в условията на полет близо до земята също се застрашава безопасността му. Най-опасно е това явление, когато се проявява на височини от 10 до 25 m, тъй като практически не може да се измерва от земята и носи голяма заплаха за излитащите и кацащи ВС (големи хоризонтални и вертикални градиенти на вятъра при малки скорости на полета на ВС).

При полети в планински райони интензивността и степента на развитие на въздушната турбулентност много зависи от формата, хоризонталните и вертикални размери на планинския масив, от скоростта и вертикалната структура на вятъра. Планинските склонове и хребети изкривяват обтичащия ги въздушен поток, като при срещната – наветрена страна се появява възходяща компонента на скоростта, а на подветрената страна – низходяща.

Смущенията на въздушния поток при обтичането на планинските хребети има колебателен характер, образува се система от стоящи вълни, предизвикващи големи вертикални градиенти на вятъра. Зоната на турбулентност в планински район се разпростира на височини 4-5 пъти по-големи от височината на хребета и на разстояния до 20 km след подветрената страна.

Характерна особеност на полетите над пустини и водни пространства е трудността за навигация, сравнение на картата с ориентири на местността, воденето на ориентировката. При подготовката за полети над пустини и местности, които съдържат малко ориентири, екипажът трябва да провери запасите от питейна вода, аварийните радиостанции и сигналните устройства, да отбележи евентуалните ориентири като плата, русла на реки, езера.

При осъществяване на полети над полярни райони и райони, които не се поддържат постоянна връзка с органите на РВД (без радиолокационен контрол и метеорологично осигуряване), т.е. в неконтролираното въздушно пространство, действат специфични изисквания към подготовката и провеждането на полета. Най-съществената особеност на такива полети са слабите възможности за оказване на помощ, за търсене и спасяване на екипаж, търпящ бедствие.

Ударите с птици са сред най-често срещаните особени случаи, прерастващи в авиационни произшествия и инциденти. Характерът на пораженията при стълкновението с отделни птици или с птичи ята е различен и зависи от скоростта на полета на ВС, от якостта на конструкцията и мястото на удара, а така също и от размера и масата на птицата (птиците). Ударите даже с малки птици предизвикват сериозни повреди. Анализът на няколко стотици случая показва, че 96 % от стълкновенията с птици стават на височини до 1000 m. Като събития, сблъсъците с птици зависят от сезона, от времето в денонощието и от метеорологичната обстановка. Сблъсъците нарастват през пролетните месеци, намаляват в периода на гнездене, значително нарастват през есента и намаляват през зимата. Най-чести са сблъсъците при кацане, около три пъти повече, отколкото при излитане..

Най-голяма е опасността от попадане на птици във въздухозаборниците на двигателите или в кормилните плоскости, което може да доведе до спиране на двигателя или до частична загуба на управляемост.

Много куриозен е случаят с катастрофата на един от най-бързите и най-модерни самолети на своето време- четиримоторния „Локхийд Електра“, вечерта на 4 ноември 1960 г. Шест секунди след отлепянето, при скорост 283 km/h, полетът на самолета е пресечен от ято с около десет хиляди скорци. Секунда след срещата единия двигател излиза от строя, а мощността на останалите три значително спада. Самолетът се наклонява към лявото полукрило, а мощността продължава рязко да спада. Левият вътрешен двигател започва да

изпуска син димен воал. Самолетът се сгромолясва като камък от височина четиридесет метра в морския залив на разстояние по-малко от два километра от пистата за излитане и кацане.

Равносметката е трагична: загинали са екипажа и шейсет и двама пътници, спасени са само две стюардеси и десет пътници. На упоритите въпроси на журналисти специалистите отговарят още същата вечер, че според всички данни причина за катастрофата е срещата на самолета с ято скорци. Но вестниците не се оставят да бъдат убедени толкова лесно и започват яростна кампания срещу самолета "Локхийд Електра". Дори тогавашния вицепрезидент на САЩ Линдън Б. Джонсън, който първоначално наема за пътуването по време на предизборната си кампания "Електра", за по-сигурно предпочита "Конвейр".

Решаващо значение за разследването на катастрофата имат резултатите от демонтирането на намерените турбовитлови двигатели. Не само във всмукващите отвори, но и вътре в двигателите отново са намерени десетки птичи тела. Последвалите опити в концерна „Дженерал Моторс", където се произвеждат двигателите за „Електра", потвърждават, че ако срещата на мотора с една или две птици не е опасно, то сблъсъкът му с четири до шест птичи тела вече представлява сериозна заплаха. Тогава двигателят значително намалява оборотите си, не прониква достатъчно въздух и в крайна сметка той спира [2, 5].

В края на същата година се случва още едно произшествие. Този път виновникът е добре известен- отново ято скорци. За щастие тази авария не взема никакви човешки жертви.

Как всъщност „Електра" привлича скорците? И тази загадка бива разгадана. По време на разговор с пилоти на самолетите „Електра" специалистите д-р Стенли Молър и д-р Джон Свернинген от Авиационния медицински институт в Оклахома разбират, че при определени обороти звукът на двигателите непреодолимо привлича цели ята скорци. Интересно е, че звукът на други двигатели въобще не вълнува скорците, но щом на пистата се появи „Електра" и зареват двигателите й, скорците веднага се събират на пистата за излитане.

След дълги изследвания двамата учени установяват, че турбовитловите двигатели на „Електра" при определени обороти на старта издават особен звук, в който съвсем ясно се чува цвърченето на полски щурци. А те са любимата храна на скорците… И загадката е разрешена.

Самолетите „Локхийд Електра" продължават да летят успешно още дълги години. Звукът на двигателите е видоизменен с помощта на специалисти, така че той вече не носи гибел за самолета.

**Заключение**

В заключение може да се отбележи, че разгледаните компоненти на външната среда и на околната среда, като резултат от човешката дейност оказват значително влияние върху нивото на авиационна безопасност. За намаляване на тежките последствия, в резултат на авиационни злополуки поради влиянието на околната среда, е необходимо да се извършва непрекъснат и задълбочен мониторинг на факторите на средата и на скоростта на изменение на техните параметри.

От друга страна е необходимо да се познават детайлно признаците за проява на неблагоприятните условия и за скоростта на задълбочаване на заплахите за безопасността на полета. В тази посока съществена роля имат и специалните програми за усъвършенстване на работата на екипажа в екип (т.нар. Cockpit Resource Management), които са особено актуални през последните години.

**Литература:**


1. Безопасность полетов летательных аппаратов, под редакцией Лысенко Н.М., КВВАИУ, 1989.
2. Руководство по расследованию авиационных происшествий, четвертое издание – 1970 г., Doc 6920-AN/855/4.
3. Accident Prevention Manuel, Doc 9422-AN/923, ICAO, First Edition – 1984.
4. K a n n, C. F., For the record, National Aeronautics Associations Newsletter, Washington (DC), 1987.
5. L e d e r e r, J. F., E n d e r s J. H., Aviation Safety – the global conditions and prospects, Flight safety Foundation, Inc., June, 1987, p.p. 1-14.
6. Д о н о в, Г., С о т и р о в Г. Автоматизирана локализация на неизправности в авиационното радиоелектронно оборудване. Сборник доклади от Научно-приложна сесия на международната изложба ХЕМУС- 1996, стр.227-234.
7. Z a f i r o v, D., The Aircraft's Lifecycle Management, International Congress Mechanical Engineering Technologies '04, September 23-24, 2004, Varna

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ТЕХНИЧЕСКИТЕ ФАКТОРИ – ОСНОВЕН ЕЛЕМЕНТ ПРИ ДЕКОМПОЗИЦИЯ НА МОДЕЛА 5 x M ЗА ПРИЧИНИТЕ ЗА АВИАЦИОННИ ПРОИЗШЕСТВИЯ

**Светлозар Асенов[1], Николай Загорски[2], Ангелина Чожгова[3]**

*Технически университет – София, филиал Пловдив*
*e-mail:[1]asenov49fish@abv.bg, [2] nzagorski_bbc@abv.bg*, [3] ani_angeliq@abv.bg

***Ключови думи:*** *авиационни произшествия, технически фактори*

***Резюме:*** *Представен е обобщен модел на причините за авиационни произшествия. Извършена е декомпозиция на модела и са разгледани елементите на техническите фактори в обощения модел. Посочени са примери за проявявата на тези елементи при различни полетни ситуации и тяхното влияние върху изхода на полета.*

# TECHNICAL FACTORS - ESSENTIAL ELEMENT IN DECOMPOSITION MODEL 5 X M OF THE REASONS FOR THE ACCIDENT

**Svetlozar Asenov[1], Nikolay Zagorski[2], Angelina Chozhgova[3]**

*Technical University – Sofia, Plovdiv Branch*
*e-mail:[1]asenov49fish@abv.bg, [2] nzagorski_bbc@abv.bg*, [3] ani_angeliq@abv.bg

***Keywords:*** *aviation accidents, technical factors*

***Abstract:*** *Presented a general model of the reasons for the accident. Decomposition is performed on the model and examined the elements of technical factors in the generalized model. Mentioned are examples of these elements occurs in different flight situations and their impact on the outcome of the flight.*

## Въведение

Много рядко едно авиационно произшествие е резултат на една единствена причина. В процеса на функциониране върху авиационния комплекс действат различни фактори, които могат да се разделят на статични и динамични. Статичните фактори са относително постоянни и не се променят в процеса на функциониране. Към динамичните фактори се отнасят управляващите въздействия на екипажа посредством органите за управление на ВС, командите към екипажите, подавани от екипите на органите за РВД, недостатъците в професионалната подготовка на екипажите и на земния персонал (в най-голяма степен – от РВД), неблагоприятни психофизиологични прояви в полет, външни активни въздействия (сблъсък с единична птица, с ято птици, с други тела в атмосферата, електрически разряд, опасно движение и опасни градиенти на вятъра, интензивна атмосферна турбулентност, интензивно обледеняване) и др.

Като правило, произшествията са резултат от комбинацията на няколко различни причини. В модела за причините за авиационни произшествия на проф. Зеелер са включени следните фактори:

1. ***MAN* = ЧОВЕК** (човешки фактори)
2. ***MATERIAL* = МАШИНА** (технически фактори)
3. ***MEDIUM* = ВЪНШНА СРЕДА**
4. ***MENAGEMENT* = МЕНИДЖМЪНТ**
5. ***MISSION* = ПОЛЕТНА ЗАДАЧА** (цел на полета)

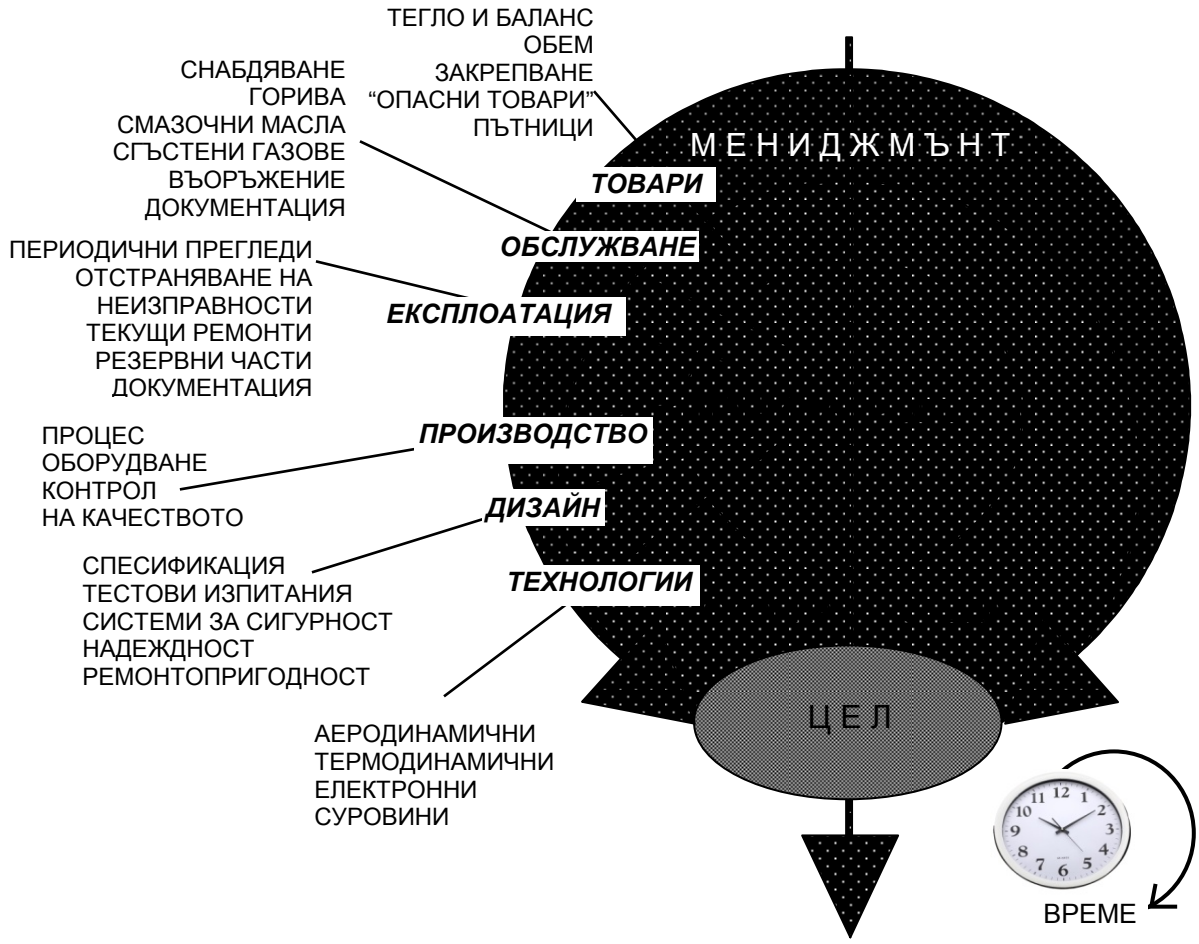
Разбира се факторът „Време“ е изключително важен и поради тази причина всеки един от отделните фактори се разглежда в непосредствена връзка с времето.

Декомпозицията на модела 5 x M по отношение на техническите фактори е извършена по отношение на няколко обособени групи елементи: товарите, намиращи на се на борда на ВС; провежданото обслужване на ВС; правилата на техническа експлоатация; производство; проектиране (дизайн) и ниво на технологиите към момента на проектирането [1, 3, 7].

**Технически фактори и тяхното влияние върху нивото на авиационна безопасност**

Към техническите фактори се отнасят множество фактори, проявяващи се на различни етапи от жизнения цикъл на въздухоплавателното средство (ВС), започвайки още в началото при зараждане на идеята за новия тип ВС, преминавайки през процесите на проектиране и конструиране, производство, експлоатация и техническо обслужване и използване по предназначение [2, 4].

Нивото на съществуващите и разработваните нови технологиите оказват съществено влияние при проектиране на ВС за установяване на ниво на авиационна безопасност, което в по-нататъшните етапи от жизнения цикъл се проявява със значителна тежест за количеството авиационни произшествия и инциденти. От съществено значение са аеродинамичните и термодинамични технологии, които до голяма степен определят нивото на съвършенство на ВС, като влияят основно върху икономичността на двигателите (чрез челното съпротивление, съвършенството на горивния процес и т.н.). Електронните технологии оказват влияние при разработването на принципно нови апаратури за бордовата авионика, както и за земните източници за информация, комуникация и локация. Не на последно място съществено влияние оказва и нивото на технологиите в областта на суровините и материалите за производство и експлоатация на нови видове ВС.




Фиг. 1. Основни елементи на „Технически фактори“

При проектиране и конструиране от изключително значение е нивото на качество на спецификациите и изготвянето на задължителната производствена документация. Друг важен елемент е планирането и провеждането на тестови изпитвания за отделните агрегати, функционални системи и на ВС като цяло [5, 6, 8]. В това направление влиза и проектирането

на системи за сигурност, както и извършване на оценка на надеждността и на ремонтната приспособеност на отделни възли, агрегати и на ВС като цяло.

При разработването и изпитването на ВС е необходимо да се отчита:

- цялостният ресурс на ВС до спирането му от експлоатация поради изработване на допустимото количество часове (нальот), количество кацания (цикли) или срок за използване;

- допустимата интензивност на експлоатация за година в количество полети или в пролетени часове;

- общият технически ресурс на ВС, ресурсът до първия капитално-възстановителен ремонт, междуремонтният ресурс, до първите регламентни работи (базово техническо обслужване);

- общият технически ресурс на двигателя (двигателите), ресурсът до първия капитално-възстановителен ремонт, междуремонтният ресурс;

- ресурсът на комплектуващите изделия, агрегати, екипировка;

- видовете техническо обслужване в съответствие с действащия регламент за техническо обслужване.

При производството влияние оказва нивото на технологично оборудване на производствения процес и съществуващите процедури за проследимост на всеки етап от създаване на съответните авиационни агрегати, възли и детайли. Контролът на качеството при производството оказва пряко влияние за количеството на авиационните произшествия [1, 4, 8].

При експлоатацията на ВС оказват влияние сроковете (периодите) на провеждане на дейностите от техническото обслужване (различни форми на проверки), пълнотата за изследване и отстраняване на проявили се или открити в процеса на експлоатация неизправности и откази и изпълнение на текущи ремонти. Съществен елемент за нивото на авиационна безопасност оказва логистиката в авиационния оператор, свързана с определяне и поддържане на доставчици на оригинални и качествени резервни части. Друг елемент е наличието, поддържането и актуализирането на оригинална експлоатационна и ремонтна документация.

В процеса на техническо обслужване от изключително значение за авиационната безопасност е снабдяването с горива и смазочни масла. Използваните сгъстени газове трябва да бъдат в съответствие с предписаните норми за кондиционност. Особено значение имат използваните авиационни средства за поразяване, нормативната и техническа документация и нейната актуалност, свързана с дейностите по техническо обслужване на ВС.

Техническото обслужване включва следните дейности:

- организиране и провеждане на работите, определени в регламента за техническо обслужване на типа ВС;

- изпълнение на допълнителни към регламента работи, свързани с отстраняване на откази и неизправности, появили се в полет или при техническото обслужване на авиационната техника, изпълнение на доработки и еднократни прегледи, текущ ремонт, подмяна на агрегати с изтекъл ресурс и т.н. [6, 9].

Пряко влияние върху авиационната безопасност оказват обема, теглото и баланса на превозваните товари, както и тяхното закрепване. Превозът на „опасни товари“ е поставен под специален режим, но са известни случаи на авиационни произшествия, поради неспазването им. През 1993 г. самолет на компанията „Валюджет“ претърпява катастрофа в блатата на Маями поради възникнал пожар на борда на ВС. Разследването на авиационното произшествие установява, че пожарът на борда е започнал от товарното отделение на самолета, където са били превозвани неразредени (неизпразнени) бутилки за аварийно подаване на кислород. Нарушението в конкретния случай е, че в главите на бутилките не са били поставени задължителни предпазни щифтове.

Летателна годност на ВС се осигурява на всички етапи от жизнения цикъл на авиационната система чрез изпълнението на следните дейности:

- проектиране и построяване на ВС в съответствие с изискванията на действащите норми за летателна годност;

- изпълнение на земни и летателни изпитвания, изпълнение на технически доработвания на конструкцията и сертификация на ВС, съгласно изискванията на действащите норми за летателна годност;

-организиране на техническо обслужване и летателна експлоатация за поддържане на летателната годност.

За необходимите качество, обем и периодичност на техническото обслужване на ВС се определя комплекс от работи, изпълнявани от авиационния инженерно-технически персонал за своевременната подготовка на ВС за полети и за поддържане на нивото на летателна годност през установените за експлоатация срокове (ресурси).

Основни документи за организиране и провеждане на техническото обслужване са редица документи, разработени от производителя (конструктора) на ВС. Такива документи са, например, ръководствата за техническа експлоатация, регламентите за техническо обслужване, технологиите (технологичните указания) за технологическо обслужване и др.

**Заключение**

Значителна част от авиационните произшествия са свързани с технически фактори. Разгледаните основни елементи на „Техническите фактори“ могат да подпомогнат процеса на своевременното разкриване, идентифициране и отстраняване (намаляване на степента на опасност) на рисковете в авиационната дейност, свързани с функционирането на функционалните системи на въздухоплавателните средства.

**Литература:**


1. З а г о р с к и, Н., Св. А с е н о в. Развитие на отношението към безопасността в авиационната безопасност: еволюция и усъвършенстване на модела за причините за авиационни произшествия, XVI Международна научно-техническа конференция по транспортна, строително-пътна и подемно-транспортна техника и технологии, trans &MOTAUTO’09, стр. 96 – 99.
2. М а д ж а р о в, Б. Безопасност на полетите, София, ВИ, 1981.
3. Безопасность полетов летательных аппаратов, под редакцией Лысенко Н.М., КВВАИУ, 1989.
4. Руководство по расследованию авиационных происшествий, четвертое издание – 1970 г., Doc 6920-AN/855/4.
5. Accident Prevention Manuel, Doc 9422-AN/923, ICAO, First Edition – 1984.
6. K a n n, C. F., For the record, National Aeronautics Associations Newsletter, Washington (DC), 1987.
7. L e d e r e r, J. F., E n d e r s J. H., Aviation Safety – the global conditions and prospects, Flight safety Foundation, Inc., June, 1987, p.p. 1-14.
8. Д о н о в, Г., С о т и р о в Г. Автоматизирана локализация на неизправности в авиационното радиоелектронно оборудване. Сборник доклади от Научно-приложна сесия на международната изложба ХЕМУС- 1996, стр.227-234.
9. Z a f i r o v, D., The Aircraft’s Lifecycle Management, International Congress Mechanical Engineering Technologies '04, September 23-24, 2004, Varna

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ОЦЕНКА НА ЕКСПЛОАТАЦИОННАТА НАДЕЖДНОСТ НА ГАЗОТУРБИННИ ДВИГАТЕЛИ НА ВЕРТОЛЕТИ СРЕДЕН КЛАС

**Светлозар Асенов[1], Ангелина Чожгова[2], Николай Загорски[3]**

*Технически университет – София, филиал Пловдив*
*e-mail: [1]asenov49fish@abv.bg, [2] ani_angeliq@abv.bg, [3]nzagorski_bbc@abv.bg*

***Ключови думи:*** *техническа експлоатация, газотурбинен двигател, експлоатационна надеждност*

***Резюме:*** *Техническата експлоатация (ТЕ) е най-важният стадий от жизнения цикъл на едно изделие. В експлоатацията се разкриват способностите на изделието, заложени в него при проектирането и производството. Авиационният газотурбинен двигател (ГТД) е сложна динамична система с голямо количество взаимодействащи елементи и подсистеми. По тази причина изборът на система от параметри, най-пълно разкриващи отказите на вертолетните ГТД, е изключително важна и актуална задача за експлоатиращите организации. Решаването и може да се осъществи чрез усъвършенстване на техническата система за обслужване и ремонт.*

# AN EVALUATION OF OPERATIONAL RELIABILITY OF THE GAS-TURBINE ENGINES OF THE MIDDLE CLASS HELICOPTERS

**Svetlozar Asenov[1], Angelina Chozhgova[2], Nikolay Zagorski [3]**

*Technical University – Sofia, Plovdiv Branch*
*e-mail: [1]asenov49fish@abv.bg, [2]ani_angeliq@abv.bg, [3]nzagorski_bbc@abv.bg*

***Keywords:*** *technical operation, gas-turbine engine, operational reliability*

***Abstract:*** *Technical operation ( TE) is the most important stage in the life cycle of a product. In operation reveal the capabilities of the product, set it in the design and production. An aero gas turbine engine (GTE) is a complex dynamic system with plenty of interactive elements and subsystems. For this reason, the choice of system of parameters revealing at full the helicopter GTE failures is extremely important task about the operational organizations. Solving it can be achieved by improving the technical system for maintenance and repair.*

## Въведение

Вертолетните ГТД работят в относително неголям диапазон от скорости и височини на полета (скоростта, като правило е в диапазона 250…400 km/h, височина – не повече от 5000…6000 m). Ориентировъчните значения на техническите параметри на вертолетните ГТД са следните: мощност – 200…8500 kW, относителна маса – 0,11…0,55 kg/kW, относителен разход на гориво – 0,22…0,40 kg/kW.h. С цел постигане на по-висока безопасност на полета, по-широко приложение са получили схемите с два ГТД, работещи за един общ редуктор.

Надеждността е способност на обекта да изпълнява зададените функции, като запазва във времето стойностите на определени показатели, съответстващи на зададени режими и условия на използване, техническо обслужване, ремонт, съхранение и транспортиране [5].

Техническата експлоатация (ТЕ) е най-важният стадий от жизнения цикъл на едно изделие. Именно в експлоатацията изделието реално е в съприкосновение с околната среда и с нейните дестабилизиращи фактори, с обслужващия персонал и с други фактори. В експлоатацията се разкриват способностите на изделието, заложени в него при проектирането и производството. Способностите на изделието се проявяват чрез неговите свойства, които са пасивна или активна реакция при функционирането му. Към свойствата на техническите

изделия се отнасят: *здравина, издържливост, функционалност, адаптивност, устойчивост и други* [10].

Основен показател на надеждността на авиационната техника (АТ) е вероятността за безотказна работа за времето на изпълнение на полетното задание P(т) определен съгласно [4, 6].

(1) $$P(\tau) = \exp[-\omega^*(\Delta t).T]$$

където:

$\omega^*(\Delta t)$ - средната стойност на параметъра на потока на отказите за целия парк от авиационната техника от даден тип (N броя ВС) за времето на изпълнение на полетно задание, отк/h;

$\Delta t$ - интервал за статистическо изследване, h;

$\tau$ - време за изпълнение на полетното задание, h.

Във формула (1) средната стойност на параметъра на потока на отказите се определя статистически за определен календарен период $\Delta t$ (1 година) съгласно (2):

(2) $$\omega^*(\Delta t) = \frac{\sum_{i=1}^{n} r_i(\Delta t)}{\sum_{i=1}^{n} t_i(\Delta t)}$$

където:

$r_i(\Delta t)$ - сумарен брой откази (възстановяеми и невъзстановяеми) в интервала $\Delta t$ ;

$t_i$ - пролетяно време на i-тото ВС за интервала $\Delta t$ ;

N – брой наблюдавани ВС за интервала $\Delta t$ .

Друг показател на надеждност, подходящ за ТЕ на ВС и показващ влиянието на тази или друга система на ВС върху общата вероятност на безотказна работа е коефициентът на отказите $K_{oi}$ , определен съгласно (1):

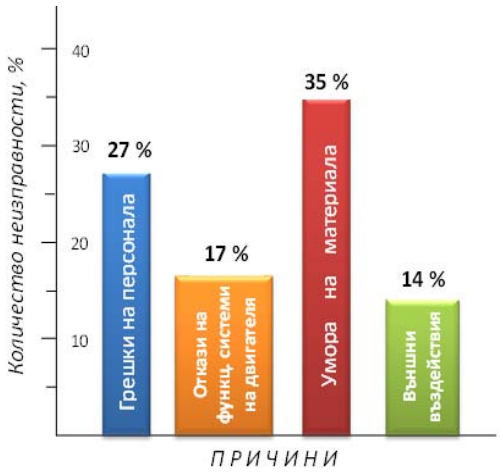
(3) $$K_{oi} = \frac{r_i(\Delta t)}{r_{\Sigma}(\Delta t)}$$

където:

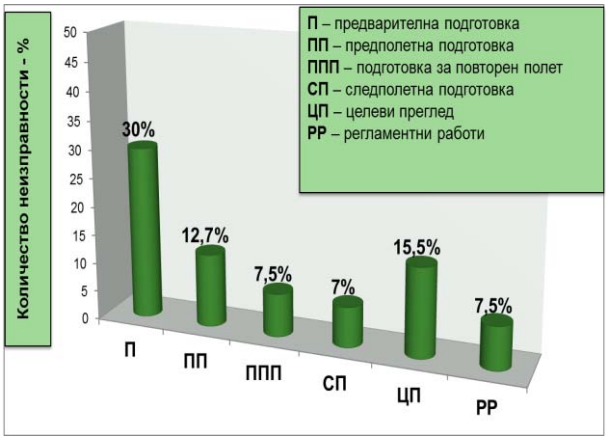
$r_i(\Delta t)$ - откази (възстановяеми и невъзстановяеми) по съответната специалност или система за интервал $\Delta t$ ;

$r_{\Sigma}(\Delta t)$ - сумарен брой откази по всички специалности и системи на ВС.

Авиационният газотурбинен двигател (ГТД) е сложна динамична система с голямо количество взаимодействащи елементи и подсистеми. В процеса на продължителна експлоатация възникват дефекти от различен характер в различни агрегати и по множество причини. Резултатите от обработката на обобщения статистически материал предоставен от ВВС и български авиокомпании (АК) за експлоатацията на вертолетните двигатели по причини на възникване са показани на фиг. 1. Данните са обобщени за периода 1985÷2010 год. за 250 броя двигатели от типа ТВ2-117 и ТВ3-117 експлоатирани в България . Неизправностите открити на земята на видовете подготовки (линейно обслужване) и регламентни прегледи (базово обслужване) са представени на фиг. 2.




Фиг. 1



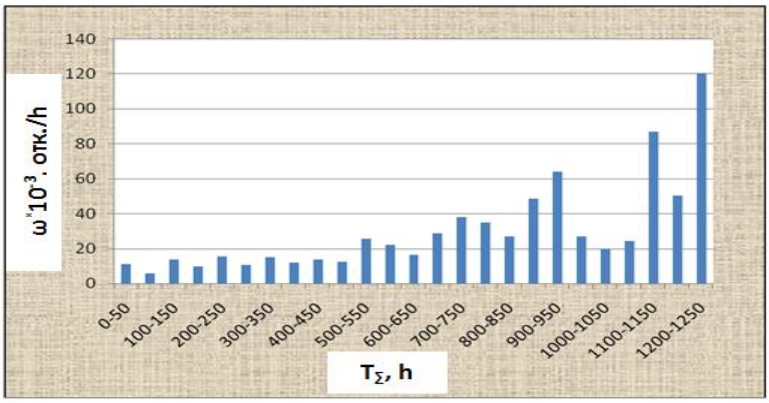

Фиг. 2

В таблица № 1 е представено сумарното количество откази на планера, двигателите, авионията на вертолетите Ми-8 и Ми-17 и техния относителен дял. Статистиката е събрана и обобщена за периода1988-2011 години.

Таблица № 1

| Години | Планер | Двигател | Авионика | Общо | % | % | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1988-1989 | 14 | 6 | 107 | 127 | 11 | 5 | 84 |
| 1990-1991 | 7 | 1 | 79 | 87 | 8 | 1 | 91 |
| 1992-1993 | 5 | - | 108 | 113 | 4 | 0 | 96 |
| 1994-1995 | 8 | 1 | 66 | 75 | 11 | 1 | 88 |
| 1996-1997 | 14 | 5 | 73 | 92 | 15 | 5 | 79 |
| 1998-1999 | 15 | 3 | 82 | 100 | 15 | 3 | 82 |
| 2000-2001 | 11 | 4 | 77 | 92 | 12 | 4 | 84 |
| 2002-2003 | 12 | 2 | 75 | 89 | 13 | 2 | 84 |
| 2004-2005 | 12 | 4 | 68 | 84 | 14 | 5 | 81 |
| 2006-2007 | 11 | 1 | 71 | 83 | 13 | 1 | 86 |
| 2008-2009 | 8 | 5 | 65 | 78 | 10 | 6 | 83 |
| 2010-2011 | 10 | 2 | 63 | 75 | 13 | 3 | 84 |
| Общо | 127 | 34 | 934 | 1095 | 12 | 3 | 85 |

Пресметнати са основни надеждностни характеристики на вертолетите: $\omega^*(\Delta t)$ - средна стойност на параметъра на потока на отказите, резултатите са представени на фиг.3.



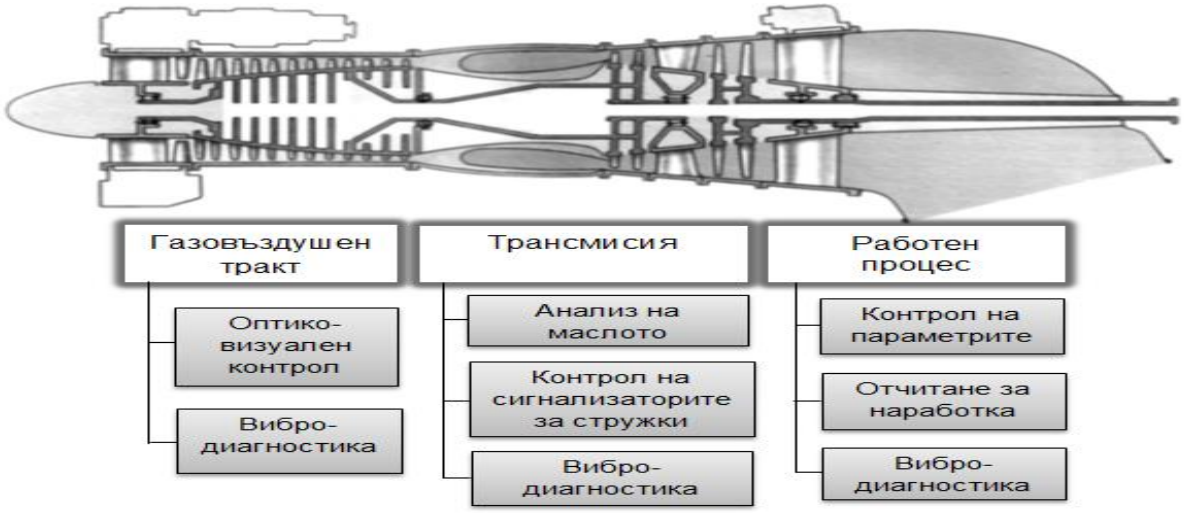

Фиг. 3

Един от основните пътища за икономична експлоатация на авиационната техника е усъвършенстването на техническата система за обслужване и ремонт на основата на внедряване на информационно-диагностични системи и перспективни методи за безразрушителен контрол [1, 3, 8, 9, 11].

Диагностиката на газовъздушния тракт на двигателя по газодинамичните параметри е основана на анализа на тенденциите на отклоненията на параметрите, диагностичните признаци и специални параметри (времето за спиране на ротора, ръста на температурата при запуск, времето на сработване на механизмите на компресора) определени като причина за развитието на неизправностите и отклоненията от еталонните значения (технически условия). Този подход позволява в експлоатацията да се открият прогаряния, изкорубвания на жаровите тръби на горивните камери и сопловите апарати на турбината, остатъчни деформации, корозионни и ерозионни повреди на лопатките на турбокомпресора, разрушения на елементи и много други неизправности [5].

Вибродиагностиката на ГТД позволява да се констатира в процеса на тяхната експлоатация увеличаването на неуравновесеността на ротора поради откъснати лопатки, разрушаване на елементите на опорите или повишено износване на лагерите на опорите на ротора.Тясна връзка съществува между скоростта на износване на детайлите на ГТД смазвани с масло и натрупването в него на физико-химическите свойства, което превръща маслото в носител на ценна диагностична информация [2].

Една от основните задачи на експлоатиращите и ремонтни органи е поддържането на определено ниво на експлоатационна надеждност на ГТД и осигуряване безопасността на полетите, чрез своевременно търсене и отстраняване на скритите дефекти за ГТД, като сложен технически обект. Практиката показва, че най-много време се разходва за търсене на неизправностите им. В момента за определяне на техническото състояние на вертолетните двигатели се използват различни методи за контрол и диагностика, които са представени на фиг. 4.




Фиг. 4

Следващите поколения вертолетни ГТД, рязко ще увеличат своя ресурс: междуремонтен до 4000 - 5000 h (8000...10000 цикъла за двигателите на бойните вертолети и 6000...7500 цикъла за военно-транспортните вертолети), пълен технически - до 12000...15000 h (за основните детайли, които не се подменят в процеса на ремонта). Залагат се и следните надеждностни характеристики – увеличаване на пролетяното време до отказ - 20000 h за двудвигателен вертолет и 50000 h за еднодвигателни, и съкращаване на трудоразходите до 0,25...0,3 h на час полет.

Информацията от ГОСНИИЕРАТ – МО Русия обобщава разпределението на инцидентите по видове откази на системите за вертолетите Ми-24 и Ми-8 [12]. За силовата установка те са съответно 29,4% (за Ми-24) и 37% (за Ми-17) от общият брой откази за посочените типове вертолети. Причините за преждевременно им снемане от експлоатация са: повредите на лопатките на компресора, а за двигател ТВ2-117 отказите открити на земята (увеличен разход на маслото, нехерметичност на опорите на двигателя) – 68,4% [12]. Поради голямото количество инциденти, свързани със СУ на вертолета, в таблица №2 са посочени най-характерните откази на двигателите и системите, осигуряващи тяхната работа.

Таблица № 2

| Функционални системи на двигателя | Откази, % | |
|---|---|---|
| | ТВ3 - 117 | ТВ2 – 117А |
| Система за регулиране на двигателя | 47,3 | 53,3 |
| Компресор | 18,4 | 13,3 |
| Система за смазване | 13,2 | 13,3 |
| Средства за контрол работата на СУ | 7,9 | 13,3 |
| Приводи на агрегатите | 7,9 | 6,8 |
| Изходящо устройство | 5,3 | - |

Газовъздушният тракт на вертолетните ГТД в условията на експлоатация се контролира чрез регистрираните от датчиците вибрации, визуалния и с оптически прибори контрол. По данните от полета и при проба на земята може да се констатира повишеното ниво на вибрации над допустимите норми. Чрез приборите за визуален контрол се откриват деформациите на компресора и състоянието на лопатите на турбината.

**Заключение**

Газовъздушният тракт на вертолетните ГТД в условията на експлоатация се контролира чрез регистрираните от датчиците вибрации, визуалния и с оптически прибори контрол. По данните от полета и при проба на земята може да се констатира повишеното ниво на вибрации над допустимите норми. Чрез приборите за визуален контрол се откриват деформации на компресора и състоянието на лопатите на турбината.

**Литература:**


1. А т а н а с о в, М., Д. Л а л о в. Тенденции и перспективи в развитието на авиационната техника, Сб. От доклади на научна сесия на научна сесия на факултет „Авиационен“ към НВУ, Д. Митрополия, 24-25.04.2003 г., стр. 281-285.
2. Б е д ь і П. И., Дефектоскопия деталей при эксплуатации авиационной техники, М., Воениздат, 1978, 230 с.
3. Д е р к а ч, О. Я., Формирование систем технического обслуживания самолетов при их создании. М., Машиностроение, 1993, 223 с.
4. Д о р о ж к о, С. М., Контроль и диагностирование технического состояниягазотурбинных двигателей по вибрационным параметрам. М., Транспорт, 1984, 128 с.
5. К е б а, И. В., Диагностика авиационных газотурбинных двигателей. М., Транспорт, 1980, 345 с
6. Л о з и ц к и й, Л. П. и др., Оценка технического состояния авиационных ГТД. М., Транспорт, 1982, 160 с.

7. С м и р н о в, Н. Н., Ч и н ю ч и н Ю. М. Эксплуатационная технологичность летательных аппаратов. М.: Транспорт,1994.256 с.
8. С м и р н о в, Н. Н., И ц к о в и ч А. А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. – 2-е изд.- М.: Транспорт, 1987.
9. С о т и р о в, Г, Г. Д о н о в, Прогнозиране на възможностите за удължаване на техническия ресурс на авиационната радиоелектронна апаратура. Сборник доклади от Научно-приложна сесия на международната изложба ХЕМУС-1996, стр. 221-227
10. П е т р о в, Н., С. А с е н о в, Е. П е т р о в. Управление на техническата експлоатация на летателните апарати и авионни системи. DIGITALPRINT, Бургас, ISBN 978-954-92-761-5-2, 2012.
11. Z a f i r o v, D., The Aircraft's Lifecycle Management, International Congress Mechanical Engineering Technologies '04, September 23-24, 2004, Varna.
12. АО «Мотор Сич». Модернизация силовой установки вертолёта Ми-8. Презентация. 2013.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА САМОЛЕТИ С ВОЕННО ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ

**Ангелина Чожгова[1], Светлозар Асенов[2], Николай Загорски[3]**

*Технически университет – София, филиал Пловдив*
*e-mail: [1]*ani_angeliq@abv.bg*, [2] asenov49fish@abv.bg*, [3] *nzagorski_bbc@abv.bg*

***Ключови думи:*** *въздухоплавателно средство, техническо обслужване и ремонт, експлоатационна технологичност*

***Резюме:*** *Една от най-важните експлоатационно-технически характеристики на съвременните въздухоплавателни средства (ВС) е експлоатационната технологичност. Качеството на системата за техническо обслужване и ремонт (ТОР) съществено зависи от степента на пригодност на конструкцията на въздухоплавателното средство и функционалните му системи за изпълнение на задачите по предназначение. От качеството на системата за ТОР в значителна степен зависи обемът на разходи за комплексното техническо обслужване на ВС през жизнения му цикъл – разходи за персонал, горива и смазочни материали, резервни части, стойността на средствата за обслужване на земята, за доработки и модернизация на ВС.*

# COMPARATIVE ANALYSIS OF PERFORMANCE OF AIRCRAFT ON MILITARY SERVICE

**Angelina Chozhgova[1], Svetlozar Asenov[2], Nikolay Zagorski [3]**

*Technical University – Sofia, Plovdiv Branch*
*e-mail: [1]*ani_angeliq@abv.bg*, [2] asenov49fish@abv.bg*, [3] *nzagorski_bbc@abv.bg*

***Keywords:*** *aircraft, maintenance and repair service, manufacturability*

***Abstract:*** *One of the most important operational and technical characteristics of modern aircraft is operational workability. Quality system maintenance and repair significantly depends on how the airplane structure and functional systems are suitable for tasks as directed. To a great extent it depends on the cost of complex maintenance life cycle - staff costs, fuel and lubricants, spare parts, maintenance and cost of funds to service the land adjustments and modernization of aircraft.*

## Въведение

Една от най-важните експлоатационно-технически характеристики на съвременните въздухоплавателни средства (ВС) е експлоатационната технологичност (ЕТ). Под експлоатационна технологичност се разбира съвкупност от зададени и конструктивно реализирани свойства, определящи приспособеността на ВС към извършване на целия комплекс от дейности по техническото и технологичното обслужване и ремонт с използване на икономически най-изгодните технологични процеси (с минимални разходи на време, труд и материални средства). Качеството на системата за техническо обслужване и ремонт (ТОР) съществено зависи от степента на пригодност на конструкцията на ВС и функционалните му системи за изпълнение на задачите по предназначение. От качеството на системата за ТОР в значителна степен зависи обемът на разходи за комплексното техническо обслужване на ВС през жизнения му цикъл – разходи за персонал, горива и смазочни материали, резервни части, стойността на средствата за обслужване на земята, за доработки и модернизация на ВС. Тези разходи за повечето от ВС значително превишават цената за придобиването им. Практически, всички елементи на тези разходи в една или друга степен са свързани с конструктивните особености на ВС и се формират още на най-ранните етапи при проектирането им. В условията на експлоатация тези свойства се проявяват и

усъвършенстват (повишават) с отчитане на реалните потребности и възможности на типовите технологични процеси. Така например, преминаването на ВС към експлоатация по техническо състояние налага преоценка на съдържанието на всички свойства на ЕТ на конструкциите на отделните изделия и на функционалните системи като цяло [7, 8, 10].

**Експериментална част**

На сегашния етап на развитие на самолетостроенето за извършване на задълбочен анализ и оценка на конструкциите на ВС, не е достатъчно използването на експлоатационната технологичност да се ограничи единствено с качествена сравнителна характеристика на две или повече изделия. Реалните свойства на изделията се съпоставят с редица специфични изисквания, на които трябва да отговаря конструкцията на ВС при изпълнение на типови работи (регулировки, зареждане, смазване, и др.). Необходим е количествен анализ на ЕТ, който се съпровожда с определяне и изчисляване на определени показатели.

Такава необходимост възниква в следните случаи:

- при разработване на техническите изисквания към нов образец ВС;
- при избор на най-добрия от няколко възможни конструктивни варианти;
- при сравняване на няколко „конкурентни“ проекти на изделия с еднакво предназначение;
- при изследване на макета и провеждане на изпитвания на прототипа (опитния образец) на ново изделие ВС.

Номенклатурата на показателите на ЕТ се определя преди всичко от структурата и показателите на ефективността на процеса на техническа експлоатация на ВС, а също и за изпълнение на изискванията за поддържане на нивото на безопасност на полетите, редовност на полетите, интензивност на използване и икономичност на експлоатацията [4].

Показателите на ЕТ трябва да изпълняват следните изисквания:

- максимално да отчитат факторите, определящи ЕТ и да притежават достатъчна чувствителност към тяхната промяна;
- да осигуряват възможност за изчисляване и представяне в числен вид на техническите изисквания към новите типове изделия;
- да осигуряват удобство за практическо използване на показателите при оценка на ЕТ на етапите на създаване, изпитване и експлоатация на ВС.

За извършване на количествен анализ на експлоатационната технологичност на ВС се използва съвкупност от обобщени (основни) и единични (допълнителни) показатели.

Значенията на обобщените показатели се определят от съвкупността на единичните свойства на конструкциите на отделните изделия (достъпност за контрол, унифицираност, взаимозаменяемост, лесен демонтаж и монтаж и др.). Тези свойства характеризират съответната съвкупност от единични показатели [4, 6].

Структурните съставляващи на експлоатационната и ремонтна технологичност – обслужване , способност за контрол и възстановяване, а следователно и тяхното ниво зависи от редица частни свойства, които в крайна сметка определят продължителността, трудоемкостта и качеството на ТОР. Към частните свойства се отнасят - удобство за работа, достъпност и защитеност от допускане на грешки. На фиг.1 е отразена структурата и факторите, определящи нивото на експлоатационната и ремонтна технологичност на ВС.




Фиг. 1

За всеки конкретен тип ВС, функционална система и група от структурни елементи се изчисляват и използват следните единични показатели на експлоатационната технологичност:

1) Коефициент на достъпност $К_{Д_i}$ до отделното *i*-то изделие от конкретна функционална система на ВС. Определя се по формулата:

(1) $$K_{Д_i} = 1 - \frac{\eta_{1_i} \cdot T_{Доп_i}}{T_{Доп_i} + T_{Осн_i}},$$

където: $Т_{Доп_i}$ е средната трудоемкост на изпълняваните допълнителни работи, човекочасове;

$Т_{Осн_i}$ – средната трудоемкост на основните работи, човекочасове;

$\eta_{1_i}$ – коефициент, отчитащ сложността при изпълнение на основната и допълнителната работи на ВС (характеризира достъпа до зоната за извършване на основната работа – мястото на монтаж на *i*-тото изделие на ВС).

Към допълнителните работи ($Т_{Доп_i}$) се отнасят такива, като демонтажа и монтажа на люкове, капаци, обтекатели, топло- и звукоизолация; демонтаж и монтаж на съседни елементи, монтирани и подлежащи на принудителен демонтаж; блокове от оборудването и други работи, провеждани в зоната на *i*-тото изделие.

За основни работи се считат всички операции по контрол на състоянието, регулировка, смазване, зареждане, демонтаж и монтаж на подлежащи за замяна изделия на ВС.

След изчисляване на стойностите на $Т_{Осн_i}$, $Т_{Доп_i}$ и $\eta_{1_i}$ за отделните изделия се определят стойностите на $K_Д^С$ за цялата функционална система, състояща се от *n* изделия.

(2) $$K_Д^С = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} T_{Доп_i}}{\sum_{i=1}^{n} (T_{Доп_i} + T_{Осн_i})}$$

2) Коефициент на взаимозаменяемост $K_{В_i}$ на *i*-тото изделие от самолетна система или елемент от конструкцията на ВС. Определя се по формулата

(3) $$K_{В_i} = 1 - n_{2_i}^С \left( \frac{n_{1_i} \cdot T_{подг_i}}{T_{подг_i} + T_{ДМ_i}} \right),$$

където: $T_{подг_i}$ е средната трудоемкост на работите за довършване, проверка и настройка при замяна на *i*-тото изделие, човекочасове;

$T_{ДМ_i}$ – трудоемкост на демонтажно-монтажните работи на *i*-тото изделие, човекочасове;

$n_{2_i}^С$ – коефициент, отчитащ допълнителните разходи за извършване на проверки на работоспособност на функционалната система като цяло при замяна на *i*-тото изделие.

По стойностите за $T_{подг_i}$, $T_{ДМ_i}$ и $n_{2_i}^С$ за отделните елементи може да се определи значението на $K_{В_i}$ за изследваната функционална система като цяло по формула (4):

(4) $$K_В^С = 1 - \eta_{2_i} \left( \frac{\sum_{i=1}^{n} T_{подг_i}}{\sum_{i=1}^{n} (T_{подг_i} + T_{ДМ_i})} \right)$$

3) Коефициент за лесен демонтаж $K_{Л_i}$ на *i*-тото изделие от функционална система се определя по формула (5):

(5) $$K_{Л_i} = 1 - \eta_{1_i} \left( \frac{T_{Доп_i} + \eta_{2_i}^С \cdot T_{Осн_i}}{T_{Доп_i} + T_{подг_i} + T_{ДМ_i}} \right)$$

В случаите, когато е известно еталонното (базовото) значение на трудоемкостта на демонтажно-монтажните работи за разглежданото изделие $T_{ДМ_i}^{ет}$ (зададено в изискванията или определено по аналогичен образец изделие, прието за еталон), коефициентът за лесен демонтаж се определя по формула (6):

(6) $$K_{Л_i} = 1 - \frac{T_{ДМ_i} - T_{ДМ_i}^{ет}}{T_{ДМ_i}}.$$

В отделни случаи е целесъобразно да се използва коефициентът за удобство $K_{УД_i}$ за извършване на работите за *i*-тото изделие, който характеризира приспособеността на изделията за

изпълнение на дейности в удобна за изпълнителя поза, което означава и по-висока производителност на труда. Стойностите на $K_{\text{УД}_i}$ се определят по формула (7):

(7) $$K_{\text{УД}_i} = 1 - \frac{K_{\text{ПТ}} \cdot T_{\text{ОСН}_i}}{T_{\text{ОСН}_i}},$$

където:

$K_{\text{ПТ}}$ - коефициент за намаляване на производителността на труда в зависимост от позата на изпълнителя.

Коефициентът, определящ удобството за извършване на работите в някоя от функционалните системи като цяло се определя от следната формула:

(8) $$K^{C}_{\text{УД}_i} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} K_{\text{ПТ}} \cdot T_{\text{ОСН}_i}}{\sum_{i=1}^{n} T_{\text{ОСН}_i}}.$$

Представените единични коефициенти са безразмерни и могат да приемат стойности от 0 до 1. Счита се, че конструкцията напълно отговаря на изискванията за определени свойства в случаите, когато коефициентът, характеризиращ това свойство, е равен или близък към единица.

В таблица №1 са представени резултатите от извършените пресмятания на единичните показатели на ЕТ за еднотипен агрегат – хидравлична помпа на няколко типа самолети. Посочените коефициенти са определени на базата на предоставените от „”ТЕРЕМ-Г.Бенковски” – Пловдив данни за трудоразходите и продължителност на операциите при ремонт на хидравличните помпи НП-34М-1Т (МиГ-21), НП-70 (МиГ-23) и НП-103А (МиГ-29). Получените резултати показват, че по отношение на експлоатационната технологичност, конкретно към процеса на подмяна на хидравличните помпи на посочените типове самолети, те са най-добри за самолет МиГ-29, който е представител на четвъртото поколение въздухоплавателни средства.

Таблица № 1

| № | Тип самолет, тип на хидравличната помпа | Кді | Кві | Куд |
|---|---|---|---|---|
| 1. | МиГ-21 , НП-34М-1Т | 0,87 | 0,89 | 0,81 |
| 2. | МиГ-23, НП- 70 | 0,83 | 0,85 | 0,76 |
| 3. | МиГ-29, НП-103А | 0,94 | 0,95 | 0,91 |

В таблица №2 са представени резултатите от други извършени пресмятания на единичните показатели на ЕТ, за хидравлични усилватели от системата за управление на полета (усилватели на вертикалното кормило) на три различни поколения самолети БУ-210Б (МиГ-21), БУ-270 (МиГ-23) и РП-270 (МиГ-29). Анализът на получените показатели показва, че те са най-добри за самолет МиГ-21, което се обяснява с по опростената конструкция на вертикалния стабилизатор, приложените технологии за закрепване и съкратена технология за проверка след монтажа.

Таблица № 2

| № | Тип самолет, тип на хидравличен усилвател | Кді | Кві | Куд |
|---|---|---|---|---|
| 1. | МиГ-21 , БУ-210Б | 0,91 | 0,94 | 0,96 |
| 2. | МиГ-23, БУ- 270 | 0,87 | 0,89 | 0,91 |
| 3. | МиГ-29, РП- 270 | 0,91 | 0,93 | 0,93 |

Ако се изследва самолет Су-25 на етапите на неговото проектиране, конструиране и изпитване, високите показатели на ЕТ се постигат чрез:

- оптимална стратегия за техническо обслужване и ремонт;
- автономност при обслужване на чуждо летище;
- пригоденост за контрол на функционалните системи и на самолета като цяло;
- самостоятелност, независимост от средствата за обслужване на земята, лесен достъп до кабината от екипажа и техническия персонал;
- оптимално количество информация за обслужващия технически персонал, чрез маркировка върху технологичните капаци, люкове и точки за зареждане на условни обозначения за предназначението им и периодичност на работите [2, 3].

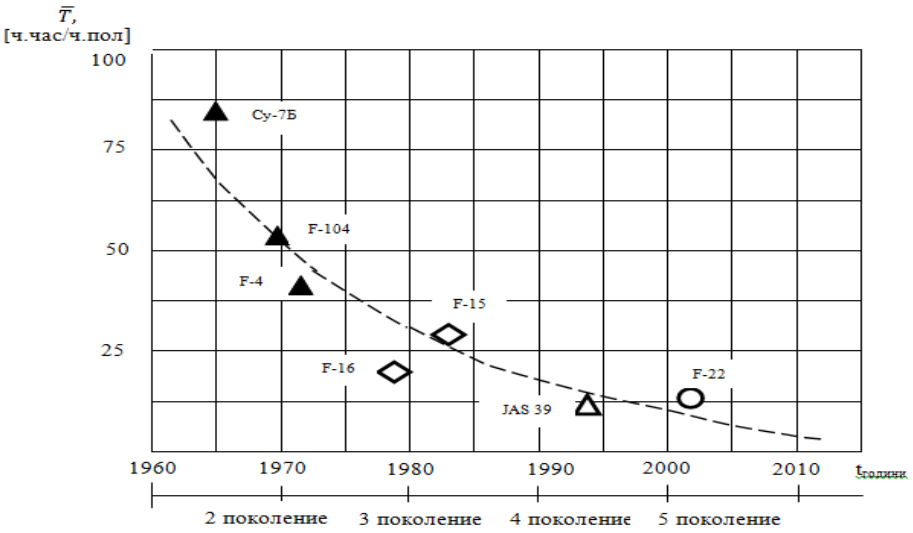
Подобрените експлоатационни характеристики на самолет Су-25 са решени чрез:
- намаляване продължителността и трудоемкостта на линейното и базовото обслужване;
- осигуряване контрол на изправността на системите и оборудването при линейното техническо обслужване без използване на средства за наземен контрол;
- намаляване на трудоразходите при базово техническо обслужване;
- осигуряване автономност на действие;
- подобряване удобството на техническото обслужване.

Изчисленията показват, че при намаляване времето за подготовка за повторно излитане с 5 min се намалява относителната трудоемкост на техническото обслужване с 0,5 [човекочаса/час полет], което съставлява около 4 % от целия обем трудоемкост и се намалява стойността на техническото обслужване за жизнения цикъл на самолет Су-25 с 0,25% [3]. В таблица №3 е отразен броят на точките за зареждане и параметрите на системите, свързани с работата на самолета и двигателя, които подлежат на контрол при различните видове линейно обслужване. За сравнение със самолетите с военно предназначение от второ поколение (МиГ-21), трето (МиГ-23, Л-39) и четвърто поколение (МиГ-29) самолет Су-25 има с около 50÷70% по-малко контролни точки за зареждане и проверки, което е показател за по-висока експлоатационна технологичност [1, 2, 9].

Таблица № 3

| № по ред | Вид линейно обслужване | Брой на контролните точки | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | МиГ-21 | МиГ-23 | МиГ-29 | Л-39 | Су-25 |
| 1. | Предварителна подготовка | 19 | 6 | - | 18 | - |
| 2. | Предполетна подготовка | 18 | 14 | 21 | 15 | 7 |
| 3. | Подготовка за повторен полет | 11 | 9 | 17 | 8 | 6 |
| 4. | Следполетна подготовка | 15 | 11 | 18 | - | 11 |

На фиг. 2 са показани обобщените данни на относителните трудоразходи за техническо обслужване на самолетите с военно предназначение от различни поколения.




Фиг. 2

Пример за високо ниво на експлоатационна технологичност е двуконтурният турбореактивен двигател с форсаж (ТРДДФ) F119-PW-100, монтиран на самолета пето поколение F-22A Raptor, който конструктивно има с около 40% по-малко възли и детайли, отколкото неговия предшественик F100-PW-200, установен на самолета трето поколение F-15 Eagle, като в същото време нивото на надеждност и технологичност са с около *80%* по-високи. Двигател F-119 притежава конструкция, изградена на модулен принцип. Той се състои от 29 модула, всеки един от които може да бъде заменен за около 20 минути, като при това замяната на повечето от модулите се извършва с използване само на ръчен инструмент [11].

Високото ниво на технологичност, като изискване към съвременните самолети с военно предназначение, се реализира чрез усъвършенстване на елементите от конструкцията на планера. Това е постигнато преди всичко чрез използване на композитни материали и перспективни метални сплави. Оптимизирани са и процесите на проектиране и производство. Като цяло, това е оказало съществено значение за намаляване на масата на ВС и за увеличаване на ресурса, за съкращаване на разходите за техническо обслужване и ремонт на самолета.

Перспективните изследвания във водещите компании в САЩ са насочени към разработване на самолет-изтребител с интегрална конструкция, която да позволи значително съкращаване на количеството детайли (до 50÷60%) и на закрепващи елементи (до 30÷40%) [11, 12].

**Заключение**

В съвременните самолети с военно предназначение конструктивно са заложени технически решения, които позволяват те да притежават високи показатели на експлоатационната технологичност. Пример за този извод е самолета Су-25, който е на въоръжение в българските ВВС от 1985г. Практиката показва , че конструктивните решения с цел постигане на висока ЕТ, в процеса на експлоатацията позволяват стабилно нарастване на експлоатационните качества на военните самолети от по-нови поколения.

**Литература:**


1. А с е н о в, С., Избор на основни и частни показатели на експлоатационната и ремонтна технологичност, Юбилейна научна сесия „40 години от първия полет на човек в космоса“, ВВВУ „Г. Бенковски“, 2001 г.
2. А с е н о в, С., Оценка на основните показатели на експлоатационната и ремонтна технологичност на самолет Су-25.
3. А т а н а с о в, М., Д. Л а л о в, Тенденции и перспективи в развитието на авиационната техника, Сборник от доклади на научна сесия на факултет „Авиационен“ към НВУ, Д. Митрополия, 24-25.04.2003г., стр. 281-285.
4. Б е д р е т д и н о в, И., Щурмовик Су-25 и его модификации, Изд. 2-е, переработанное и дополненное, М., Издательская группа Бедретдинов и Ко, 2002.
5. Д а л е ц к и й, С., О. Я. Д е р к а ч, А. Н. П е т р о в, Эффективность технической эксплуатации самолетов гражданской авиации.- М.: Воздушный транспорт, 2002.
6. И л и н, В., Модернизация самолета Су-25. Авиационная и ракетная техника, №20, 1997, с.5-6.
7. С м и р н о в, Н. Н., А. М. А н д р о н о в, Н. И. В л а д и м и р о в, Ю. И. Л е м и н, Эксплуатационная надежность и режимы технического обслуживания самолетов. М:, Транспорт,1974.
8. С м и р н о в, Н. Н., Ю. М. Ч и н ю ч и н, Эксплуатационная технологичность летательных аппаратов. М.: Транспорт,1994.256 с.
9. С м и р н о в, Н. Н., А. А. И ц к о в и ч, Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. – 2-е изд.- М.: Транспорт, 1987.
10. С о т и р о в, Г., Г. Д о н о в, Прогнозиране на възможностите за удължаване на техническия ресурс на авиационната радиоелектронна апаратура. Сборник доклади от Научно-приложна сесия на международната изложба ХЕМУС- 1996, стр.221-227.
11. Z a f i r o v, D., The Aircraft's Lifecycle Management, , International Congress Mechanical Engineering Technologies '04, September 23-24, 2004, Varna.
12. H ü n e c k e, K., Modern Combat Aircraft Design: Technology and Function, Hardcover, 254 Pages, Published 1987.
13. H ü n e c k e, K., Die Technik des modernen Verkehrsflugzeuges, Hardcover, 203 Pages, Published 2008.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СИСТЕМ СКИ «АГАТ» ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДО 500 ºС

**Михаил Владов[1], Дмитрий Добров[1], Петр Гецов[2], Георги Сотиров[2]**

*[1]Молдова. г. Кишинев*
*e-mail: office@comelpro.com*
*[2]Институт космических исследований и технологий – Болгарская академия наук*
*e-mail: office@space.bas.bg*

***Ключовые слова:*** *система контрольного измерения, система принудительного охлаждения*

***Резюме:*** *В работе представлены результаты экспериментальных исследований температурного режима работы систем контрольно-измерительных СКИ «Агат» с системой принудительного охлаждения при температуре окружающей среды до 500ºС.*

# EXPERIMENTAL RESEARCH RESULTS FOR AGAT CONTROL MEASUREMENT SYSTEMS AT AN ENVIRONMENTAL TEMPERATURE OF UP TO 500ºC

**Michail Vladov[1], Dmitrii Dobrov[1], Petar Getsov[2], Georgi Sotirov[2]**

*[1]"Comelpro" SRL, Chisinau, Moldova,*
*e-mail: office@comelpro.com*
*[2]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: office@space.bas.bg*

***Keywords:*** *control measurement systems, maintenance and repair service, manufacturability*

***Abstract:*** *This paper presents experimental researches of Agat control measurement systems at an environmental temperature of up to 500 ºC with a system of compulsory air cooling.*

## Введение

Главной целью настоящей работы является экспериментальные исследования температурного режима работы систем контрольно измерительных СКИ «Агат» с системой принудительного охлаждения при температуре окружающей среды до 500ºС.
Эта работа проводилась в дополнении к экспериментальным работам, проводимым в декабре 2012 года по проверке работоспособности СКИ «Агат» при рабочей температуре до 350 ºС [1]. Внешний вид и характеристики семейства СКИ « Агат» подробно изложены в [2-3]. Для проведения экспериментальных исследований была выбрана СКИ «Агат- 222», которая позволила создать простой термокожух в виде цилиндра. Внешний вид СКИ «Агат- 222» и конструкции термокожуха представлены на рисунках 1 и 2. В качестве термоизоляции использовали листовой асбест толщиной 5 мм. Температурные датчики размещались на внешней поверхности СКИ «Агат-222» в 2-х местах.



Рис. 1. Внешний вид систем СКИ «АГАТ-222»

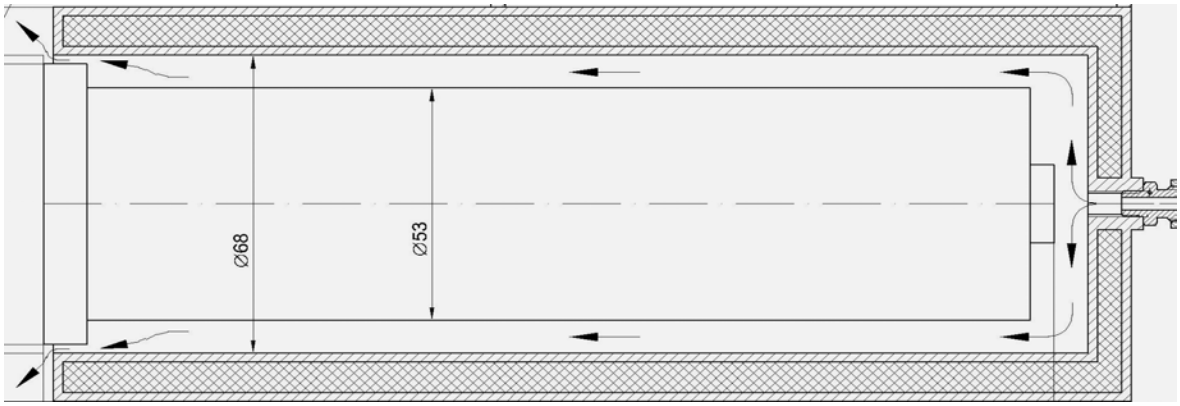



Рис. 2. Внешний вид конструкции термокожуха для СКИ «Агат-222»

Экспериментальные исследования температурных режимов работы СКИ «Агат» проводилась при давлениях охлаждающего воздуха от 4 до 6 атмосфер и его температуре от 18 ºС до 20 ºС, которая зависела от температуры окружающей среды в это время года: с 2 по 3 и 7-го мая 2013 года. Для имитации температуры окружающей среды до 500ºС использовался сушильный электрошкаф СНОЛ-3,5, который позволяет воспроизводить температуры внутри камеры до 350 ºС, автоматически регулировать и поддерживать заданную температуру, кроме того для поднятия температуры внутри шкафа до 500 ºС дополнительно внутри рабочей камеры установили воздушный трубчатый электронагреватель (ТЭН) на 2.5 кВт с системой автоматического регулирования позволяющей регулировать температуру внутри камеры до 500 ºС. На рис.3 представлено фото сушильного электрошкафа СНОЛ-3,5 с установленными ТЭН на 2.5 кВт и СКИ «Агат-222» к которому подведена штатная система воздушного охлаждения от компрессорной станции предприятия.



Рис. 3. Фото камеры сушильного электрошкафа СНОЛ-3,5 с установленными ТЭН на 2.5 кВт и СКИ «Агат-222»

На рис. 4 представлена фотография сушильного шкафа с цифровым индикатором температуры внутри СКИ «Агат» (вверху снимка, показания температуры 50 ºС) и блок цифрового регулирования температуры внутри камеры (показания температуры 500 ºС)

На рис.5 представлены графики зависимости температуры внутри СКИ «Агат-222» при разных давлениях охлаждающего воздуха, термокожух с 1-м слоем асбеста толщиной 5мм, а температура охлаждающего воздуха в это время года составила 19-20 ºС.

Эксперимент показал, что при давлении охлаждающего воздуха в 4 атм. равновесная температура внутри СКИ « Агат-222» установливается выше 100 ºС. При давлении охлаждающего воздуха в 5 атм. равновесная температура внутри СКИ « Агат-222»

установилась около 64ºС. При давлении охлаждающего воздуха в 6 атм. равновесная температура внутри СКИ « Агат-222» установилась около 51ºС.

Для слоя изоляции толщиной в 5 мм и давлении охлаждающего воздуха в 4 атм. равновесная температура внутри СКИ «Агат-222» устанавливается выше 100 ºС, т.е можно сделать вывод, что при использовании микросхем промышленного назначения, давление охлаждающего воздуха должно быть больше 4 атмосфер.



Рис. 4. Фотография сушильного шкафа с цифровым индикатором температуры внутри СКИ «Агат» (вверху снимка, показания температуры 50 ºС) и блок цифрового регулирования температуры внутри камеры (показания температуры 500 ºС)

На рис. 6 представлены графики зависимости температуры внешней поверхности СКИ «Агат-222» при разных давлениях охлаждающего воздуха, термокожух с 2-мя слоями асбеста с суммарной толщиной в 10мм.

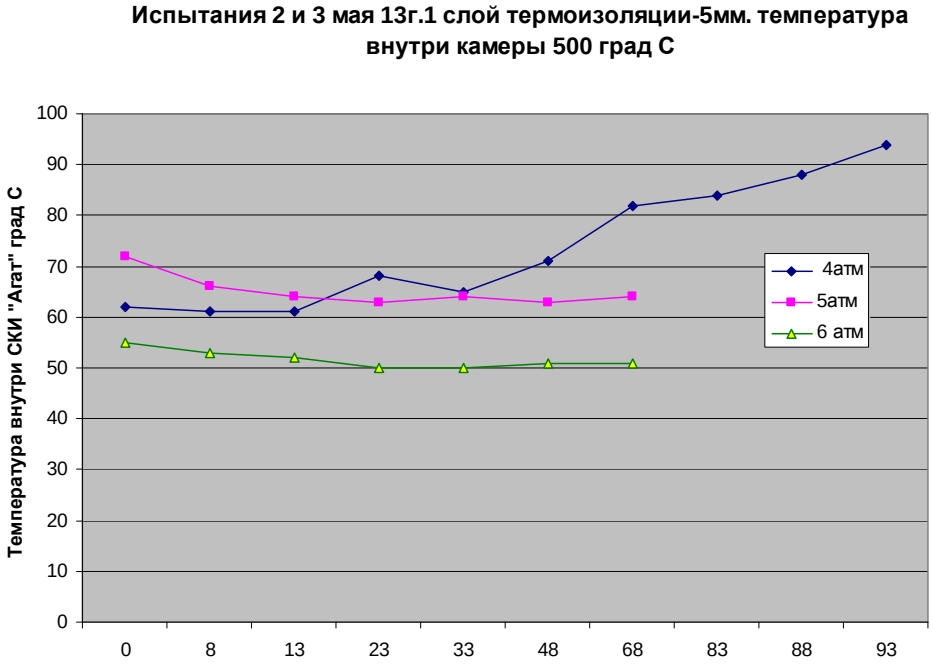



Рис. 5. Графики зависимости температуры внутри СКИ «Агат-222» при разных давлениях охлаждающего воздуха. Термоизоляция 1 слой асбеста -5 мм

На графиках рис. 6 показаны температура внутри СКИ «Агат-222» в зависимости от давления охлаждающего воздуха в 4, 5 и 6 атмосфер, термоизоляционный слой изоляции толщиной в 10мм, температура охлаждающего воздуха в это время года составила 19-20 ºС.

Эксперимент показал, что при давлении охлаждающего воздуха в 4 атм. равновесная температура внутри СКИ « Агат-222» установилась около 50 ºС. При давлении охлаждающего воздуха в 5 атм. равновесная температура внутри СКИ « Агат-222» установилась около 46ºС. При давлении охлаждающего воздуха в 6 атм. равновесная температура внутри СКИ «Агат-222» установилась около 40ºС.

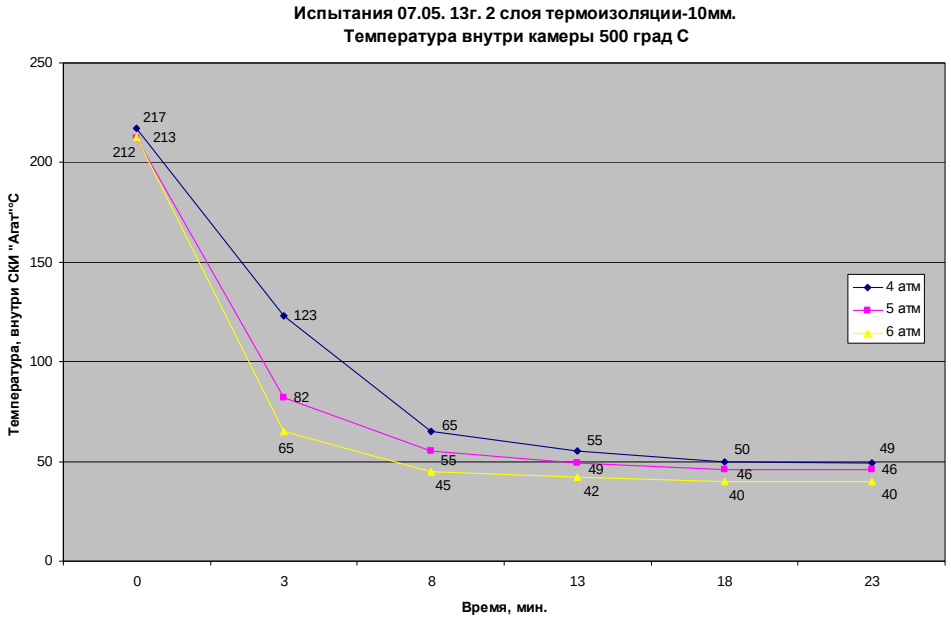



Рис. 6. Графики зависимости температуры внутри СКИ «Агат-222» при разных давлениях охлаждающего воздуха

Компьютерное моделирование тепловых процессов СКИ «Агат-222» было проведено с использованием среды pdetool программы Matlab, где краевую задачу теплопроводности определяли на основе известного распределения температуры в момент времени t и описываемого параболическим уравнением (1):

$$(1) \qquad \rho c \frac{\partial T}{\partial t} - div\left(k \cdot grad\left(T\right)\right) = Q + h \cdot \left(Text - T\right),$$

где ρ – плотность среды, c – удельная теплоемкость среды, k – теплопроводность среды, T – температура границы расчётной области, Q – количество тепло полученное от внутренних источников, h - коэффициент конвективного или кондуктивного теплообмена расчётной области с окружающей средой, Text – температура окружающей среды при бесконечном удалении от расчётной области.

Сходимость результатов компьютерного моделирования с экспериментальными данными оказалась в пределах 5-8% погрешности.

**Выводы:**

1. Для слоя изоляции толщиной в 5 мм и давлении в 4 атм. равновесная температура внутри СКИ «Агат-222» устанавливается выше 100 ºС, т.е можно сделать вывод, что при использовании микросхем промышленного назначения, давление охлаждающего воздуха должно быть больше 4 атмосфер.

2. Проведенные экспериментальные исследования СКИ «Агат-222» подтвердили возможность работы имеющихся СКИ «Агат» при рабочей температуре окружающей среды до 500 ºС с обычными покупными элементами работающими при температурах до +80 ºС, при условии обязательного воздушного охлаждения с давлением охлаждающего воздуха в 5- 6 атм, при этом температура корпуса СКИ «Агат» будет:

- для слоя изоляции толщиной в 5 мм в пределах от 65 ºС до 45 ºС;
- для слоя изоляции толщиной в 10 мм в пределах от 50 ºС до 40 ºС.

3. Сходимость результатов компьютерного моделирования с экспериментальными данными оказалась в пределах 5-8% погрешности.

**Литература:**


1. M i c h a i l, V., G. S o t i r o v, V. K a n t s e r. Experimental research results of control measurement systems "AGAT" at the environmental temperature to 350 ºC. Moldavian Journal of the Physical Sciences № 2, 2013, ISSN 1810-648X, pp. 291-296
2. В л а д о в, М., Д. Д о б р о в. Обзор контрольно-измерительных систем ООО «COMELPRO» для двигателестроительных предприятий РФ. Труды шестой научной конференции с международным участием „Космос, экология, нанотехнологии, безопасность” SENS 2010, София, 2-4 ноября 2010г.
3. В л а д о в, М., Д. Д о б р о в. Обзор контрольно-измерительных систем ООО «COMELPRO» для двигателестроительных пред-приятийРФ.III международная научно - техническая конференция "АВИАДВИГАТЕЛИ XXI ВЕКА". ЦИАМ 30.11.10 - 3.12.10, Москва, ЦИАМ

# НАУЧНО-ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКА РАКЕТА „ОСОГОВО”

**Александър Костовски[1], Димитър Моралийски[2], Томислав Скандалиев[3]**

*[1]Клуб „Космогон”, Куманово, Македония*
*[2]Клуб за Аеро Космически Технологии „Зодиак” - гр.Кюстендил*
*[3]Школа по ракетомоделизъм при ОДК, Кюстендил*
*e-mail: aacccee@abv.bg, zodiac.program@gmail.com*

***Ключови думи:*** *Експериментални ракети, космически технологии, мониторинг на околната среда*

***Резюме:*** *Същността на проект „Осогово” е създаване на действащ експериментален ракетен модел с научно-изследователска мисия от група любители – студенти, докторанти и ученици, представители на няколко ракетомоделни клубове от България и Македония.*

# “OSSOGOVO” SOUNDING ROCKET

**Alexander Kostovski[1], Dimitar Moraliyski[2], Tomislav Skandaliev[3]**

*[1]Club „Cosmogon“, Kumanovo, Macedonia*
*[2]Club of Aerospace Technologies „Zodiac“, Kyustendil, Bulgaria*
*[3]Study group of space modelling, ODK, Kyustendil, Bulgaria*
*e-mail: aacccee@abv.bg, zodiac.program@gmail.com*

***Keywords:*** *Sounding rockets, aerospace technologies, environmental monitoring*

***Abstract*****:** *The aim of the "Ossogovo" project is to be created and launched an experimental sounding rocket with specific research mission by a group of enthusiasts - students and PhD students, representatives of several clubs from Bulgaria and Macedonia.*

## Въведение

Идеята за използване на експериментални ракети за получаване на информация и контрол на различни параметри на околната среда е широко използвана в световната практика от десетилетия насам. Благодарение на своята ниска цена и големи възможности тези ракети са мощен инструмент за измервания, наблюдение и анализ на процеси, протичащи в суборбиталното пространство. Често, те дават навременна информация за замърсявания, природни бедствия и нежелани въздействия върху природата.

В конкретния случай е използвана любителска изследователска ракета, създадена от международен екип, в която е заложен за изпълнение пакет от задачи, свързани с наблюдение на околната среда, усъвършенстване на бордовите системи и укрепване на сътрудничеството между членовете на работната група.

## Цели на проекта

1. Да се изчисли и конструира ракетен модел, който да полети на височина 1500 метра, след което да се приземи безопасно посредством парашутна система. Тази система трябва да осигурява безопасна скорост на снижение на модела не по-висока от 5м/с.
2. Да се подбере подходяща бордова електронна апаратура за измерване параметрите на полета, управление на спасителната система, GPS проследяване, видеозаснемане и запис на данни от външни датчици.

3. Да се направи видеозаснемане от бордовата камера на зоната около площадката за изстрелване (бивше селскостопанско летище) с цел доказване на почвено замърсяване, предизвикано по времето на нормална експлоатация на летището в миналото.
4. Да се проследи траекторията на полета и снижението и да се отчетат посоката и силата на вятъра в местността.
5. Да се анализира и документира получената от полета информация, с цел използването и за последващ контрол, обучение и технологично развитие, както от членовете на този екип, така и от други подобни клубове и заинтересовани организации.

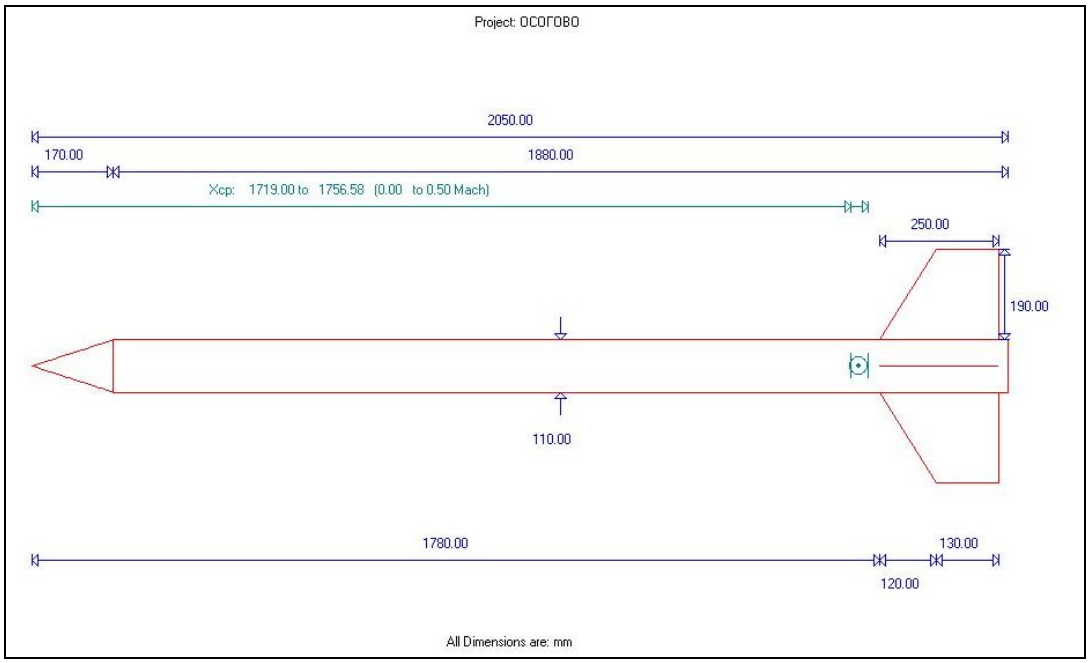
**Финансиране и материално-техническо осигуряване**

Проектът се осъществява с използване на съществуващи широкодостъпни материали и апаратура, придобита по повод предишни подобни разработки. Консумативите и инструментите са осигурени от спонсори, съмишленици и лични средства на участващите в екипа.

**Конструкция на ракетния модел и двигателя**

Пресмятанията, подбора на материалите и симулациите на полета са извършени с помощта на широкодостъпни софтуерни програми като SRM, AEROLAB, LAUNCH, SPACECAD, PROPEP, споделяни свободно в Интернет от различни аматьорски организации .

На фиг.1 е показан чертеж на ракетата с габаритните размери и местоположението на центъра на въдушно налягане (ЦН), направен с програма AEROLAB.




Фиг. 1. Ракета „ОСОГОВО”, размери в мм

Елементи на конструкцията, подбрани и изчислени, според целите на работното задание:

1.Корпус – уякчена хартиена тръба с диаметър 110мм.
2.Стабилизатори – многослоен шперплат, подсилен със стъклоплат.
3.Носов обтекател – стругован от масивна липова дървесина.
4. Двигател – стоманен корпус, стоманено сопло и стоманена заглушка с предвиден обем за димен трасер. Карамелно гориво на базата на калиев нитрат и Изомалт.
5. Бордова електроника – ракетен компютър G-Wiz HCX-50, GPS тракери – 3 различни модела.
6. Бордова видео камера – модел СК808.
7. Парашут – копринен парашут с диаметър 3m и площ 7m$^2$, носещи въжета 12бр.
8. Система за окачване и свързване на елементите при парашутиране, изпълнена с колани за специални натоварвания със сечение 30/4mm.
9. Направляващи ролки – стругован от стомана.
10. Други детайли от вътрешната архитектура на ракетата, направени от дърво и шперплат.

Общи параметри на модела:

Дължина 2050мм.
Диаметър 110мм.
Разпереност на стабилизаторите 490мм.
Товарен отсек с дължина 450мм и диаметър 100мм.
Стартова маса 15кг.

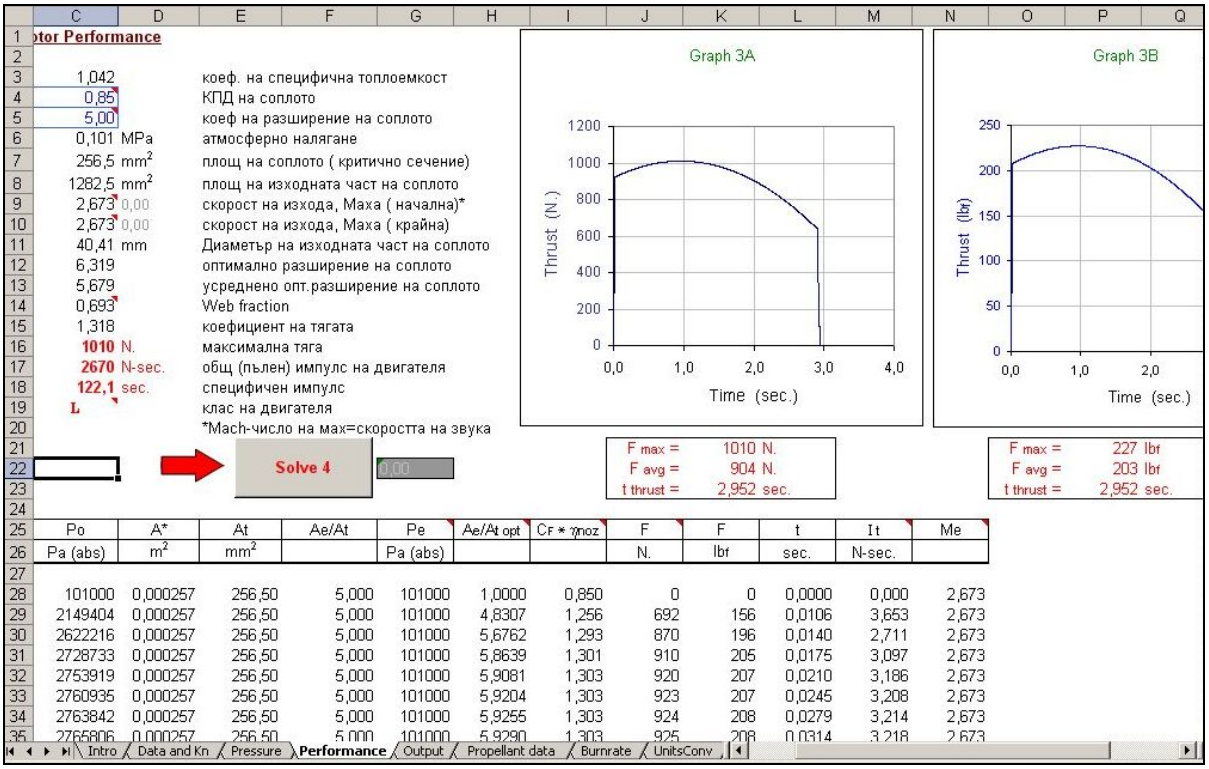
Характеристики на двигателя:

Изчислението на двигателя става с програмата Solid Rocket Motor Design на R.Nakka. Използваното твърдо ракетно гориво е карамелно, състоящо се от следните компоненти:

60% калиев нитрат – основен окислител
5% натриев нитрат - коокислител
30% изомалт – основен горивен елемент и свързващо вещество
3% прахообразен магнезий – висококалорийно гориво и стабилизатор на горенето
2% пропилен гликол - пластификатор
+0,3% двужелезен триокис – катализатор

Горивният заряд е пресметнат и изпълнен като моноблок, скрепен с корпуса на двигателя и горящ по вътрешния канал и допълнително направени звездообразно разположени канали в част от дължината му. Тази конфигурация на горящите повърхности предопределя регресивен профил на тягата с максимум при старта.

Запалителен състав – пресована смес от тефлон 40% + магнезий 60%.



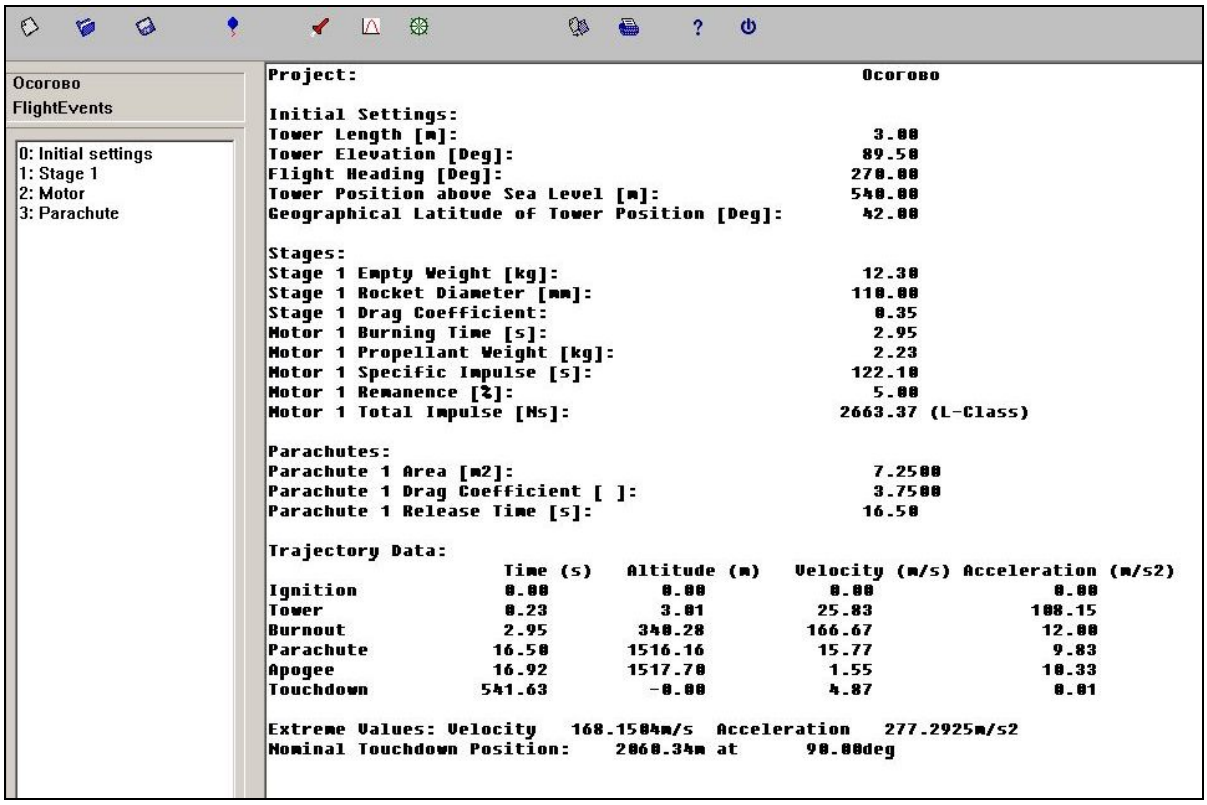

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Po | A* | At | Ae/At | Pe | Ae/At opt | Cf * ηnoz | F | F | t | It | Me | |
| Pa (abs) | m² | mm² | | Pa (abs) | | | N. | lbf | sec. | N-sec. | | |
| 101000 | 0,000257 | 256,50 | 5,000 | 101000 | 1,0000 | 0,850 | 0 | 0 | 0,0000 | 0,000 | 2,673 | |
| 2149404 | 0,000257 | 256,50 | 5,000 | 101000 | 4,8307 | 1,256 | 692 | 156 | 0,0106 | 3,653 | 2,673 | |
| 2622216 | 0,000257 | 256,50 | 5,000 | 101000 | 5,6762 | 1,293 | 870 | 196 | 0,0140 | 2,711 | 2,673 | |
| 2728733 | 0,000257 | 256,50 | 5,000 | 101000 | 5,8639 | 1,301 | 910 | 205 | 0,0175 | 3,097 | 2,673 | |
| 2753919 | 0,000257 | 256,50 | 5,000 | 101000 | 5,9081 | 1,303 | 920 | 207 | 0,0210 | 3,186 | 2,673 | |
| 2760935 | 0,000257 | 256,50 | 5,000 | 101000 | 5,9204 | 1,303 | 923 | 207 | 0,0245 | 3,208 | 2,673 | |
| 2763842 | 0,000257 | 256,50 | 5,000 | 101000 | 5,9255 | 1,303 | 924 | 208 | 0,0279 | 3,214 | 2,673 | |
| 2765806 | 0,000257 | 256,50 | 5,000 | 101000 | 5,9290 | 1,303 | 925 | 208 | 0,0314 | 3,218 | 2,673 | |

Фиг. 2. Теоретично пресметнати параметри на двигателя

Изчисленият двигател е с пълен импулс от 2670N.s и време на работа 2,95s. Максималната тяга, създавана от него е 1010N, а средната 904N. Според международната класификация двигателят се определя като клас L-900.

Софтуерна симулация на полета:

Посредством програма LAUNCH е направена симулация на полета при така получените параметри за конструкцията на ракетата, нейната маса и характеристиките на двигателя.




Фиг. 3. Предвиждания за параметрите на полета от програмата LAUNCH

**Изстрелване и полет**

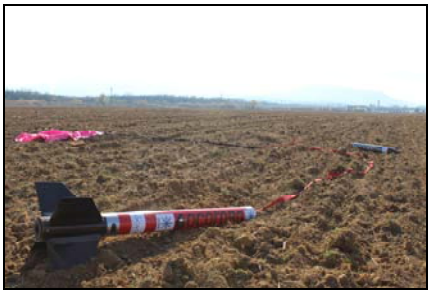
Изстрелването на ракета „ОСОГОВО” е осъществено на 10 ноември 2013г. в 13,00ч. от площадката на бившето селскостопанско летище край гр.Кюстендил. Стартът е мощен, а полетът по права траектория до апогея. След отварянето на парашута, моделът изпълнява свободно снижение в продължение на 8 минути, което завършва с меко приземяване на разстояние 800м от точката на старта, в северна посока.



Сн. 1. Подготовка на модела.



Сн. 2. Момент от старта.



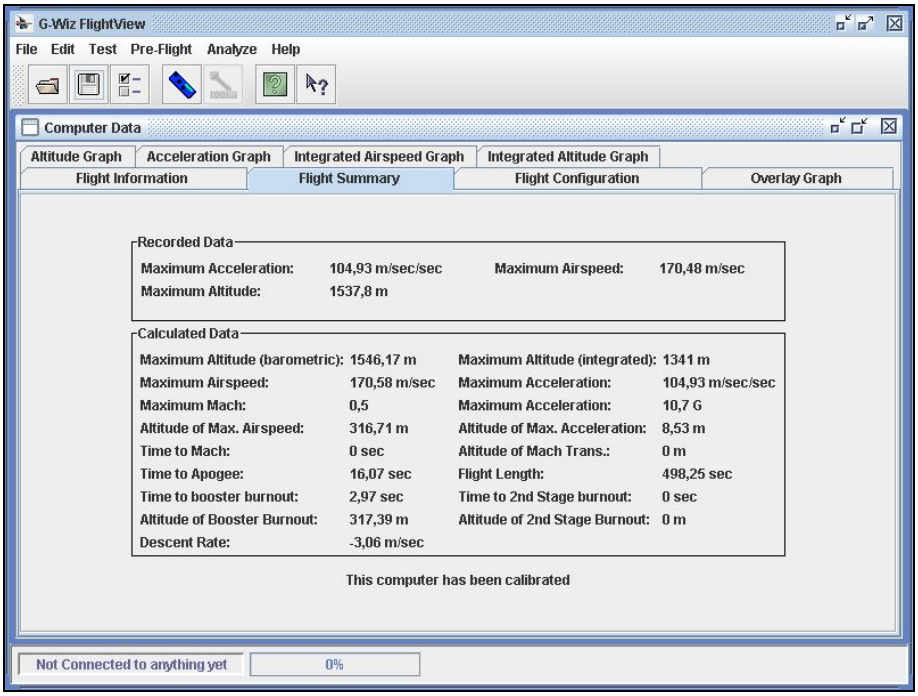
Сн. 3. Приземилата се ракета.

По време на полета движението на модела е проследено в реално време, благодарение на системата за GPS навигация и на базата на тази информация е направено бързо локализиране на мястото на приземяване.

След успешния полет са свалени всички записани данни от бордовата апаратура за подробен анализ и обработка на видеоинформацията.

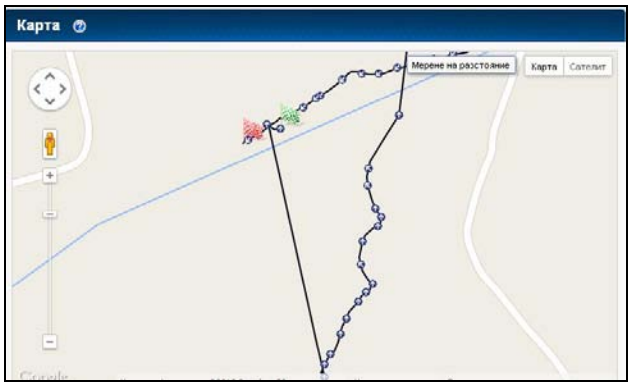
**Анализ на получените резултати**

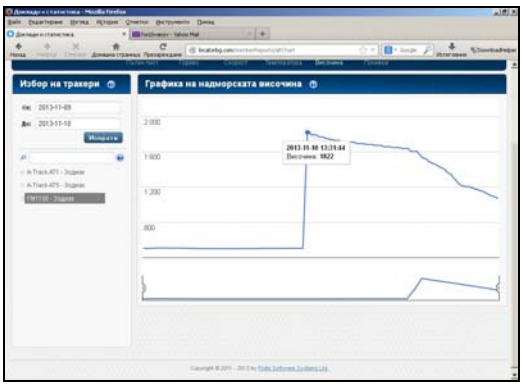
- Достигната е височина от 1537м, което е много близко до зададената стойност от 1500м.
- Скоростта на снижение е 3,06м/с, удовлетворяваща заложеното изискване за ограничение от 5м/с.
- Получени и записани са пълни данни за всички наблюдавани параметри на полета от бордовия компютър, които точно съответстват на проектните стойности от симулациите.




Фиг. 4. Обобщена информация за полета, рапортувана от бордовия компютър G-Wiz HCX-50

- GPS системата е отчела траекторията на целия полет, както и изменението на надморската височина и скоростта на движение по хоризонтала.
- Записаната траектория на полета позволява лесно да се отчете и пресметне посоката и силата на вятъра в местността, която е била със средна стойност 2,6м/с с посока юг-югоизток.




Фиг. 5 и Фиг. 6. Траектория на движението и изменение на надморската височина при ракетния полет

- Бордовият видеозапис е с добро качество и кадрите от него ясно показват местоположението и големината на почвените аномалии в района на площадката. Добре очертани са големи петна, които свидетелстват за някакъв вид почвено замърсяване, непозволяващо развитието на каквато и да било растителност.






Сн. 4 и Сн. 5. Кадри от бордовия видеозапис, показващи почвените аномалии в местността около летището

**Заключение**

Успешно приключилият проект „ОСОГОВО" доказва, че с добра организация и минимални финансови и материални разходи могат да се постигнат ценни научни резултати в областта на аерокосмическите технологии и мониторинга на околната среда. Той се явява уникална за България по своята организация и цели любителска разработка. Работата на екипа е пример за ползотворно трансгранично сътрудничество и предпоставка за изпълнение на още по-значими целенасочени и систематични бъдещи програми.

**Благодарности:**

Екипът изказва своите благодарности на всички членове от Клуб "Космогон", КАКТ "Зодиак", Школата по ракетомоделизъм при ОДК, гр.Кюстендил, Народно читалище "Зора-Кюстендил, Община Кюстендил, фирма "Локатор", София, както и на своите симпатизанти за участието и помощта при успешното реализиране на настоящия трансграничен проект!

**Литература:**

1. Я н к о в, А. С., Ракетомоделизъм. ДИ „Техника", София, 1985
2. М и т р о п о л с к и, В. К., Ръководство по ракетомоделизъм. ДИ „Техника", София, 1972
3. А в и л о в, М., Модели ракет., ДОССАФ, Москва, 1968
4. К а н а е в, В., Ключ на старт., Молодая гвардия, 1972
5. Р о ж к о в, В. С., Строим летающие модели., „Патриот", Москва, 1990
6. Sounding rocket program handbook, NASA, 2001
7. M o n t e n b r u c k, O., GPS Tracking of Sounding Rockets., NAVITEC '2001
8. N a k k a, R., website www.nakka-rocketry.net
9. K o e h l e r, C.,Sounding Rockets – A Next Step., CSGC, 2006
10. J o s l y n, T. B., Siegenthaler K . E., Student Design, Development and Operation of Sounding Rockets at The United States Air Force Academy., ASEE, 2005

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ИЗПОЛЗВАНЕ НА КОНВЕНЦИОНАЛНИ GPS УСТРОЙСТВА ЗА ПРОСЛЕДЯВАНЕ НА ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ РАКЕТИ

**Калин Крумов[1,2], Христофор Скандалиев[2]**

*[1]Химикотехнологичен и металургичен университет – София*
*[2]Клуб за аерокосмически технологии "Зодиак"– Кюстендил*
*e-mail: kalin_krumov@mail.bg; fori2ivanov@yahoo.com*

***Ключови думи:*** *Изследователски ракети, конвенционални GPS устройства*

***Резюме:*** *Проведено е изследване на възможностите за полетно проследяване на траекторията и наземно локализиране на вече приземили се експериментални изследователски ракети посредством конвенционални GPS устройства, които принципно се използват за управление на автопаркове. Направени са наземни и височинни предстартови тествания на системите, последвани от ракетни изстрелвания за събиране на реална полетна информация и локализиране на ракетните компоненти. Анализирани са предимствата и недостатъците на проследяващите системи и са дадени препоръки за тяхната употреба.*

# USING OF CONVENTIONAL GPS DEVICES FOR TRACKING OF EXPERIMENTAL SOUNDING ROCKETS

**Kalin Krumov[1,2], Hristofor Skandaliev[2]**

*[1]University of Chemical Technology and Metallurgy – Sofia*
*[2]Club for aerospace technology "Zodiac" – Kyustendil*
*e-mail: kalin_krumov@mail.bg; fori2ivanov@yahoo.com*

***Keywords:*** *Sounding rockets, conventional GPS devices*

***Abstract:*** *An investigation of the possibilities of flight trajectory tracking and localisation of landed experimental sounding rockets through conventional GPS devices used for fleet management and road vehicles tracking is performed. Ground and altitude pre-testings of the systems were done followed by rocket launches to collect real flight data and to localize the rocket components. The advantages and disadvantages of the tracking systems were analyzed and some recommendations for their use were formulated.*

## Въведение

Изследователските ракети /Sounding rockets/ се използват за събиране на данни чрез полети в суборбиталното пространство, където метеорологичните балони не могат да достигнат – предимно в зоната 40-200 км над морското равнище. От техните полети се получава своевременна информация за атмосферно замърсяване, природни бедствия, климатични промени, УВ радиация, и много други данни често свързани с усъвършенстване системите на самите ракети. Изследователските ракети са сериозен инструмент за обучение и научна дейност, даващ уникални възможности за експерименти във всички области на науката [1].

Един от важните проблеми, свързани с техните полети, е проследяване траекторията в реално време и последващо локализиране на приземилите се компоненти. За целта, в практиката все повече се налагат бордови GPS устройства, които записват, или телеметрично предават данни по време на полет и много точно определят местоположението на ракетата.

По света са разработени специализирани високоточни системи от подобен тип, но масовото им използване е ограничено от високата цена и някои специфични рестрикции, свързани с тяхната употреба [2]. Като алтернативен начин за тракиране на ракети бе изпитан

метод за използване на стандартни GPS устройства, предназначени за управление на автопаркове и следене на пътно-транспортни средства, масово използвани в бита и със значително по-ниска цена.

**Същност на изследването**

Разгледано е изпитанието на три вида GPS устройства за събиране на полетни данни и локализиране на приземили се експериментални ракети, проведено от Клуб за Аеро Космически Технологии „ЗОДИАК" в гр.Кюстендил. Дейността на клуба е свързана с изучаване и охарактеризиране на любителски ракетни системи, които да се използват за граждански и научно-приложни цели [3]. Разглежданите три устройства за GPS проследяване /тракери/ са показани на следните три фигури:




Фиг. 1. GPS тракер ATRACK- AT1, произведен в Тайван




Фиг. 2. GPS тракер ATRACK- AT5, произведен в Тайван




Фиг. 3. GPS тракер FM1100, произведен в Литва от фирма Teltonika

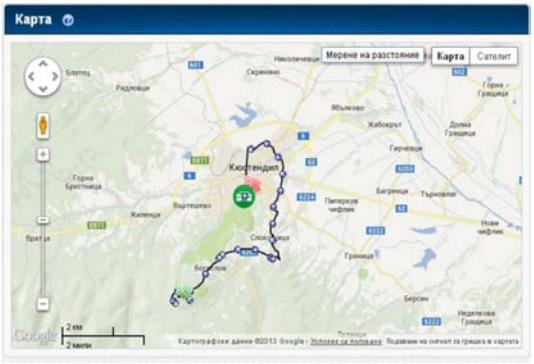
Хардуера и софтуерното осигуряване за изследването са предоставени от фирма „Локатор БГ" ООД, София [4].

1. Наземни проби:

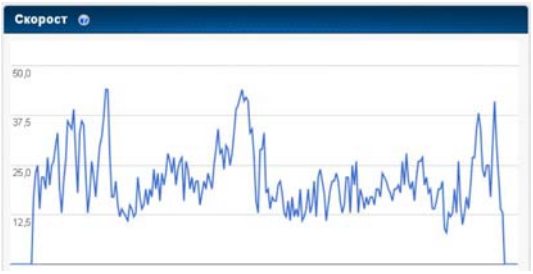
Първоначално бе направено наземно тестване, последователно на трите тракери, чрез стандартен монтаж в автомобил, както и с велосипед, и ходене пеш, за събиране на данни при движението – траектория, скорост и надморска височина. Локализирането на движещия се обект в реално време става чрез web базирана система, предлагана от доставчика на услугите, който ползва телеметрия за събиране на данни и ги предоставя в заключен вид на акаунта на ползвателя. По този начин достъпът до информацията е възможен от всяка точка, с достъп до Интернет и по всяко време на денонощието [4].

2. Полети с парапланери:

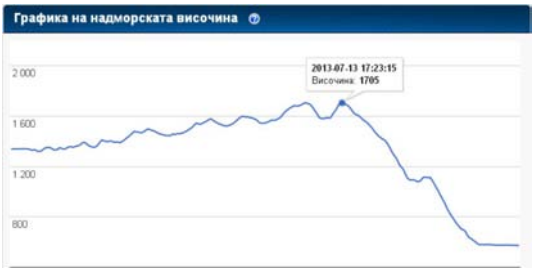
След наземните проби бяха осъществени последващи успешни опити за събиране на полетна информация с помощта на тракерите, качени на парапланери, като междинен етап, преди същинското изследване в реални ракетни полети. Получените данни са много близки до тези, записани при наземните тестове:




Фиг. 4. Траектория на полета на парапланер, записана от GPS тракер Atrack AT-1




Фиг. 5. Изменение на скоростта на летене на парапланер - GPS тракер Atrack AT-1




Фиг. 6. Запис на отчетената надморска височина в полет на парапланер - GPS тракер Atrack AT-1

От графиките е видно, че записите от полетите на парапланер дават много добра картина на измерваните параметри и добра визуализация за траекторията. При различните полети бяха експериментирани няколко вида ориентация на GPS антените на тракерите спрямо земната повърхност с цел да се определи доколко това се отразява върху точността на получените данни.

3.Ракетни полети:

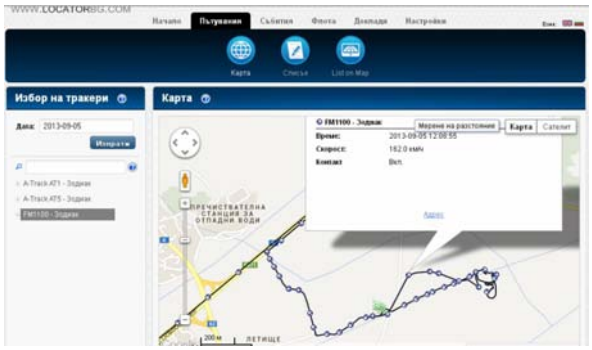
На 05.09.2013г. бе осъществен първият тестов полет с експериментална ракета “BOLIDE-14” с монтирани трите вида GPS тракери на борда, както и специализиран бордови компютър G-Wiz HCX-50 за запис на полетните параметри и управление на спасителната система [5]. Поставянето на три различни тракери в ракетата бе умишлено направено, за да се направи сравнение в показанията им.



Фиг. 7. Старт на ракетата BOLIDE-14 с трите GPS тракери на борда

Предварителните софтуерни симулации на полета [6] предвиждаха полет с височина в рамките на 1300-1400м над стартовата точка, която е с надморска височина 530м.Траекторията на ракетния полет бе проследена посредством системата за GPS тракиране през Интернет на екрана на преносим компютър, разположен на стартовата позиция. Придвижването на маркерите за тракерите в реално време съвпадаше с визуалното проследяване на летящата ракета, снабдена с димен трасер. Приземяването бе в източна посока с отчетена дистанция от старта до точката на кацане 800м.

Прегледът на параметрите, предадени от трите GPS прибори, показа много точно определена траектория на полета, но значително разминаване в данните за скорост и надморска височина, както помежду им, така и спрямо тези от бордовия компютър.




Фиг. 8. Траектория на полета от тракер FM-1100




Фиг. 9. Изменение в скоростта на ракетата според FM1100

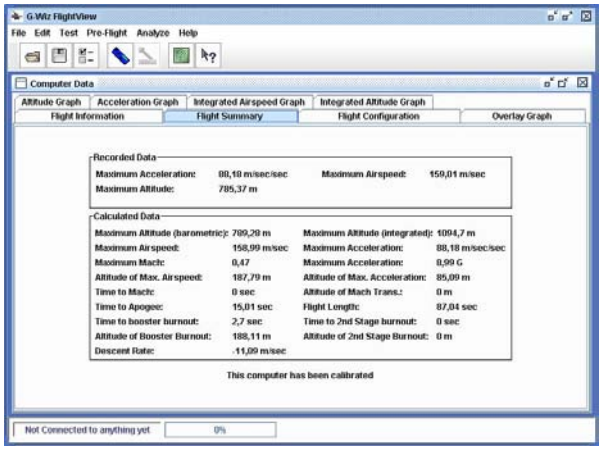



Фиг. 10. Скорост на ракетата според AT-5

На 29.09.2013г. бе осъществен нов полет с експериментална ракета “GRP” и два от тракерите, монтирани в нея – FM1100 и AT-1. Полетът бе по балистична траектория и приземяването на ракетата беше нормално. Тя бе намерена веднага на 1250м. от старта в североизточна посока, благодарение на GPS системата. За разлика от точно показаната траектория, записите за скорост и надморска височина отново съществено се различаваха от тези на специализирания бордови компютър на ракетния модел.



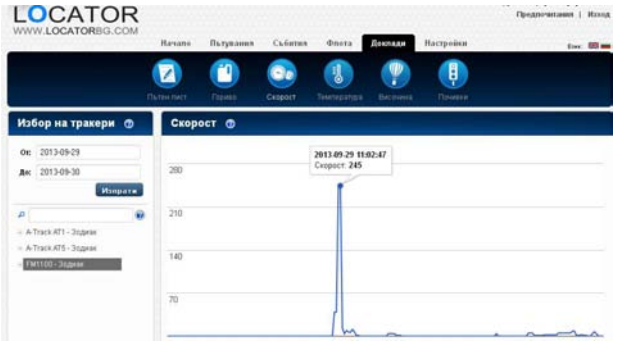
Фиг. 11. Експерименталната ракета “GRP”в момент на излитане



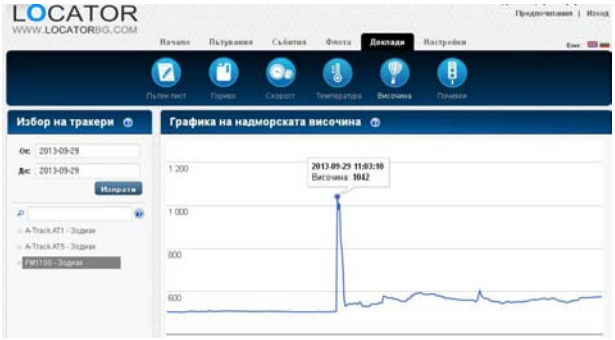

Фиг. 12. Обобщена информация, записана от бордовия компютър на ракетата “GRP”




Фиг. 13. Точки на излитане и приземяване на ракета “GRP” и маркери на тракерите




Фиг. 14. Графика за скоростта на ракета “GRP” от записа на FM1100




Фиг. 15. Височина, достигната от ракета “GRP”, според тракер FM1100

При следващи полетни тестове с ракети „ОСОГОВО” и „ЗЛАТКА” бяха събрани достатъчно нови данни, които допълниха наблюденията от представянето на тракерите. Изясниха се повечето въпроси, свързани с неправилното отчитане на скоростта и надморската височина.

**Заключение**

1. На тестове бяха подложени три различни модели GPS тракери, които показаха добра работоспособност и стабилна работа в различни условия, включително ускорения до 15 пъти надвишаващи земното.
2. За локализиране на експериментални ракети по време на полет и след приземяване могат да се използват успешно и трите изпитвани устройства, като точността на отчитане е напълно задоволителна – между 10 и 20 метра.
3. Данните за скорост и надморска височина при ракетни полети не са достатъчно достоверни и не винаги имат практическо приложение. Това е лесно обяснимо, предвид истинското предназначение на тракерите.
4. Ориентацията на самите устройства и техните антени в интериора на ракетите не оказва съществено влияние за локализирането на обектите, но играе изключително важна роля при отчитане на надморската височина и скоростта на движение.
5. Изисква се добре оразмерено и механически стабилно закрепено бордово токозахранване, съобразено с техническите спецификации на моделите тракери.
6. Габаритните размери на трите прибори позволяват инсталация и използване в изследователски ракетни модели.
7. Препоръчително е, при възможност, разполагане на повече от един тракер на борда за даден ракетен полет с цел да се повиши надеждността на отчитане и издирване.
8. Цената и съответно риска при повреда и изгубване на тези GPS модели е в пъти по-ниска от тази на специализираните ракетни GPS системи, което обуславя възможността за широкото им приложение от любители.

**Благодарности:**

Ръководството на КАКТ „Зодиак” благодари на фирма „Локатор БГ” ООД, гр.София за предоставените GPS устройства и техническа поддръжка, както и на всички свои членове и симпатизанти за оказаното съдействие при извършването на това изследване

**Литература:**

1. G ü n t h e r, S. The History of Sounding Rockets and Their Contribution to European Space Research, ESA Publications Division, HSR-38, November 2006
2. M o n t e n b r u c k, O., M. M a r k g r a f, P. T u r n e r, W. E n g l e r, G. S c h m i t t. GPS Tracking of Sounding Rockets – A Europian Perspective, 1-st ESA Workshop on Satellite Navigation User Equipment Technologies NAVITEC ‘2001, ESTEC Noordwijk, 10-12 Dec. 2001
3. Общество на Българските Експериментатори-Ракетомоделисти, Школа по ракетомоделизъм при ОДК, гр. Кюстендил, Любителска космическа програма „ЗОДИАК”, Кюстендил, 07.11.2011
4. www.LocatorBG.com
5. http://www.gwiz-partners.com
6. http://www.thrustcurve.org/guidepage.jsp

# ИЗСЛЕДВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА ЕКОЛОГИЧНО РАКЕТНО ГОРИВО *КАЛИЕВ НИТРАТ – ИЗОМАЛТ*

**Христофор Скандалиев[1], Калин Крумов[1,2]**

*[1]Клуб за Аеро Космически Технологии „Зодиак" - гр.Кюстендил*
*[2]ХимикоТехнологичен и Металургичен Университет - гр.София*
*e-mail: fori2ivanov@yahoo.com, k.krumov@abv.bg*

***Ключови думи:*** *Ракетно гориво, експериментални ракети, Изомалт*

***Резюме:*** *Описано е изследването на твърда хетерогенна смес от калиев нитрат и изкуствен подсладител Изомалт, проведено с цел доказване на възможността да се използва като леснодостъпно и евтино ракетно гориво за експериментални, научно-приложни и граждански цели.*

# EXPERIMENTAL STUDY OF THE PROPERTIES OF GREEN ROCKET PROPELLANT *POTASSIUM NITRATE – ISOMALT*

**Hristofor Skandaliev[1], Kalin Krumov[1,2]**

*[1]Club of Aerospace Technologies ZODIAC – Kyustendil*
*[2]University of Chemical Technology and Metallurgy – Sofia*
*e-mail: fori2ivanov@yahoo.com, k.krumov@abv.bg*

***Keywords:*** *Rocket propellant, experimental rockets, Isomalt*

***Abstract:*** *Described a study of the solid heterogeneous mixture of potassium nitrate and artificial sweetener Isomalt, conducted to demonstrate the ability to use it as a readily available and inexpensive solid rocket propellant for experimental, scientific and civilian purposes.*

## Въведение

В световната практика от десетилетия се използват ракетни горива, състоящи се от окислители нитрати и различни видове захари в ролята на свързваща съставка и горивен компонент. За окислители най-често служат калиев нитрат и натриев нитрат, или комбинация от двата. Предпочитаните захари са най-различни – обикновена кристална захар, сорбитол, фруктоза, глюкоза, манитол, еритритол, ксилитол, малтитол, лактоза и др.

Получаването на тези горива става предимно чрез стопяване на насипна смес от изходните вещества при темеператури в интервала 100-250°C и последващо изливане и втвърдяване в желаната форма на зарядите. Оттам идва и популярното им название – карамелни.

По-рядко се прибягва до пресоване на изходната прахообразна смес, или до рекристализация от воден разтвор.

Свойствата на карамелните горива са доста близки и те притежават следните предимства - ниска цена, лесно получаване, нетоксични изходни и крайни продукти след изгарянето им, сравнително безопасни за работа и трудно податливи към нестационарни режими на работа в ракетен двигател.

От друга страна, слаби техни страни са – нисък специфичен импулс, висока хигроскопичност, слаби механични показатели.

**Изомалтът като горивен елемент**

Настоящите експерименти са направени с използване на подсладител, получаван от захарно цвекло, наречен Изомалт. Оказва се, че при използването му в ролята на горивна съставка, се запазват предимствата и се редуцират много от недостатъците на карамелните горива.

Според Международния съюз за чиста и приложна химия IUPAC пълното название на Изомалт е (2R,3R,4R,5R)-6-[(2S,3R,4S,5S,6R)-3,4,5-trihydroxy-6-(hydroxymethyl)oxan-2-yl]oxyhexane-1,2,3,4,5-pentol.

Опростената молекулна формула на този полиол е $C_{12}H_{24}O_{11}$, като изграждащи вещества се явяват глюкоза, сорбитол и манитол.

Основните му характеристики са следните:
Моларна маса 344,31.
Плътност, насипна 1,69g/cm$^{3.}$
Температура на топене 145-150°C.
Разтворимост във вода – 28% при 25°C.
Хигроскопичност – под 1% при относителна влажност до 85%.

**Получаване на тестови образци от твърдо гориво *калиев нитрат – Изомалт***

Получаването става чрез стопяване на насипните изходни вещества калиев нитрат /E252/ и подсладител Изомалт /E953/ в тегловно съотношение 65:35 части.

Това съотношение е доказано в други изследвания като оптимално.

Използваните вещества са със следната гранулометрия:

- Изомалт прахообразен с размер на частиците 20-40μm.
- Калиев нитрат кристален с размер на кристалите 100-400μm.

Предварително смесените два компонента се загряват в подходящ съд с незалепващо покритие до температура 150°C.

При достигане на тази температура Изомалтът се стопява, а КН остава в разтвора в твърдо състояние във вид на дребни кристали, поради много по-високата си температура на топене /334°C/. Стопилката е вискозна течност, която трябва да се разбърква за добро хомогенизиране и след това може да се излива в желаните тестови форми.

Получава се дисперсна система, в която:

65% калиев нитрат, $KNO_3$ е в ролята на окислител и дисперсна фаза
35% Изомалт, $C_{12}H_{24}O_{11}$ е горивна съставка и дисперсна среда

Пълното изстиване на получените образци става за период от 30 до 60 минути в зависимост от масата им, околната темепература и формата.

След изстиването се провеждат поредица от тестове за установяване на плътност, механична якост, температура на запалване, хигроскопичност, продукти от изгарянето, както и за снемане на вътрешнобалистични характеристики и полетни качества.

Изследваните свойства и характеристики на горивото са едни от най-важните за реалното му практическо използване.

**Механични и физико-химични свойства на получените образци гориво**

**1. Плътност**

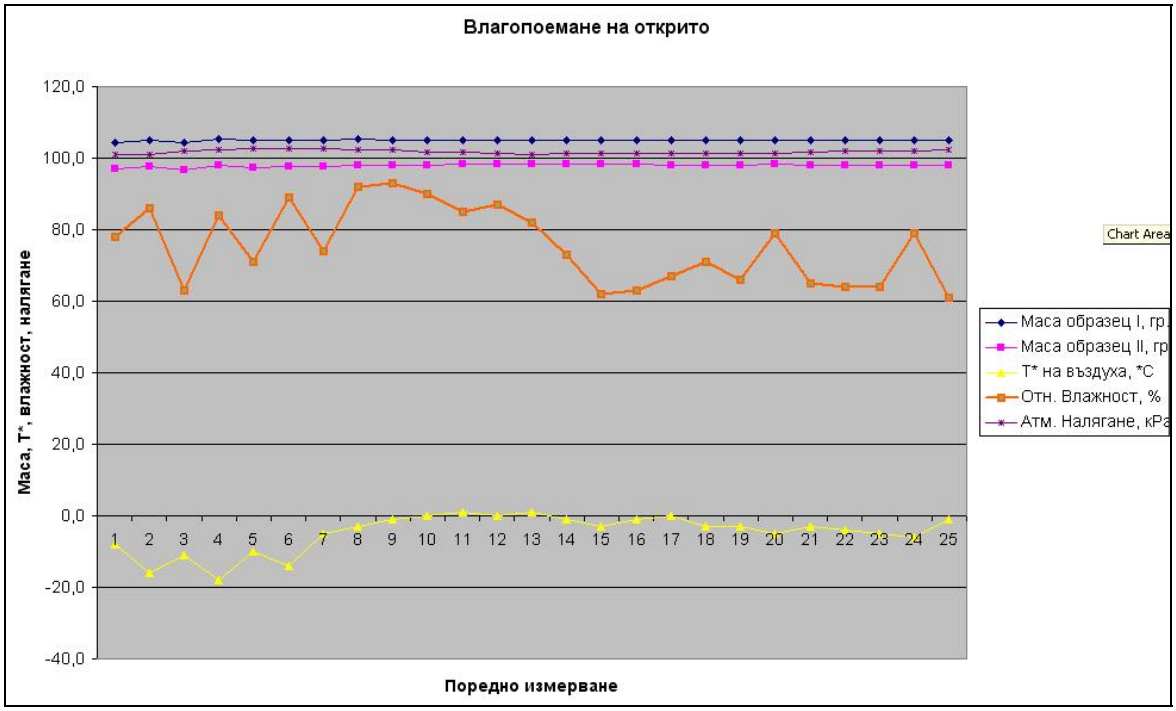
- теоретична **1,948g/cm3**
- реално получена за различните тестови образци **1,885-1,9g/cm3**, или **97%**

**2. Механична якост**

- гранично напрежение на огъване **6,19N/mm$^2$ ; 6,55N/mm$^2$ ; 7,28N/mm$^2$**, изчислени съответно за три от изследваните тестови образци
- модул на еластичност, пресметнат чрез серия от натоварвания на тестова греда, **E=5,81Gpa**

**3. Влагопоемане при престой на открито**

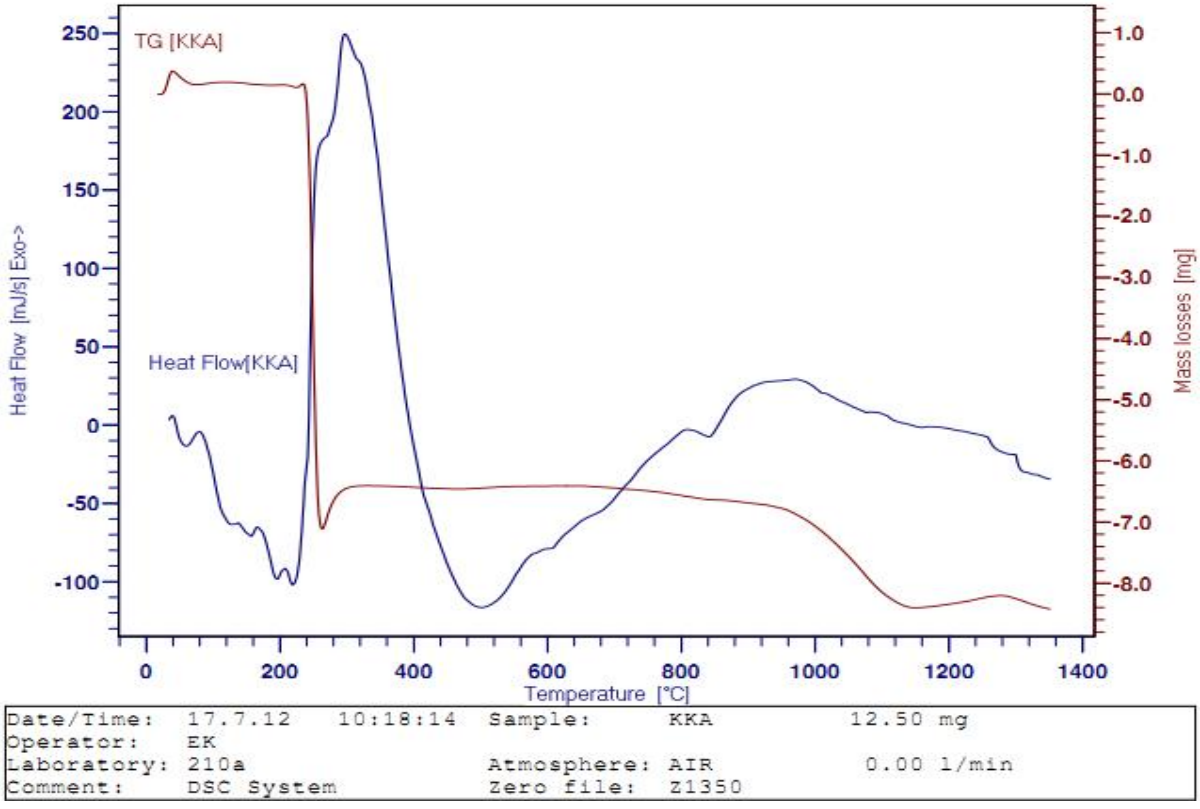
Две мостри от горивото са изследвани за влагопоемане чрез периодично измерване на масите им в продължение на 25 дни при контролирани измервания на температурата, относителната влажност и атмосферното налягане на средата. Получените резултати са обощени в графика (1) и показват незначителни промени на масите в рамките на 1%.




Графика 1. Влагопоемане на образците и изменение на атмосферните условия за период от 25 дни

### 4. Температура на самозапалване

Чрез ДТА е установена температурата на самозапалване на горивото **296°C**, графика (2).




Графика 2. Диференциален термичен анализ на твърдо ракетно гориво *КН-Изомалт*

**5. Продукти, получавани при изгарянето:**

Теоретично, при изгарянето на гориво *КН-Изомалт,* се получават следните вещества:

Таблица 1. – Продукти от изгарянето на гориво *калиев нитрат – Изомалт*, според PROPEP

| Top 12 Exhaust Products in Moles per System Weight | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Product List** | **Mol/ SystemWt** | **MW** | **Weight (g)** | **∆H kcal/ mol** | **∆H Mol/ SysWt Kcal** |
| K2CO3& | 0,321 | 138,211 | 44,423 | -274,900 | -88,356 |
| CO2 | 0,535 | 44,011 | 23,564 | -94,054 | -50,359 |
| H2O | 0,649 | 18,016 | 11,692 | -57,798 | -37,511 |
| CO | 0,363 | 28,011 | 10,156 | -26,417 | -9,578 |
| N2 | 0,321 | 28,016 | 9,004 | 0,000 | 0,000 |
| H2 | 0,570 | 2,016 | 1,149 | 0,000 | 0,000 |
| CH4 | 0,000 | 16,043 | 0,005 | -17,895 | -0,005 |
| KHO | 0,000 | 56,108 | 0,002 | -55,600 | -0,002 |
| NH3 | 0,000 | 17,032 | 0,001 | -10,970 | -0,001 |

Данните са от специализираната софтуерна програма PROPEP ( Propellant Performance Evaluation Program ), използвана за теоретични пресмятания на ракетни горива.

Високото съдържание на твърд калиев карбонат в продуктите на горенето е основната причина за невисокия специфичен импулс на горивото. Неговото термично разлагане настъпва при температури над 1200°C, което е над работната температура на това гориво. Един от начините за повишаване температурата на изгаряне с цел термично разлагане на калиевия карбонат е добавяне на прахообразни метали като алуминий или магнезий. Това обаче би довело до образуване на метални оксиди, които също ще бъдат в кондензирана фаза.

**6. Скорост на горене при атмосферни условия**

Скоростта на горене на открито r, при нормално атмосферно налягане, се определя чрез изгаряне на тестови пръчици от горивото и измерване на времето за тяхното изгаряне по формула (1).

$$r = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1)$$

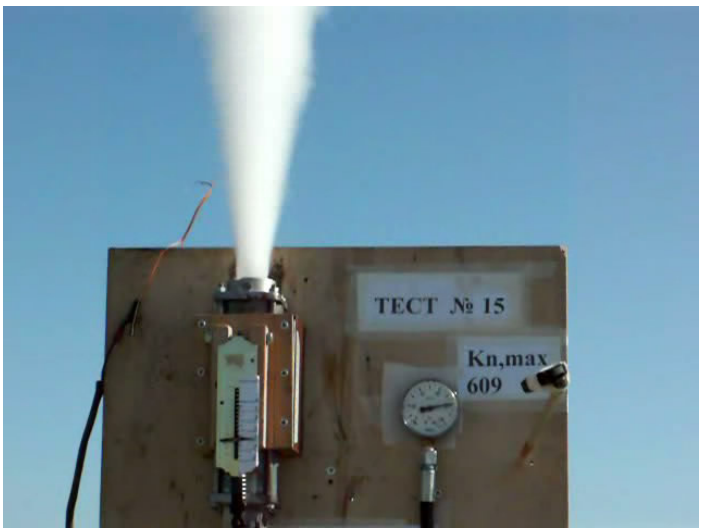
При проведени 10 на брой изгаряния на тестови пръчици с диаметър 10mm. и различни дължини е установена средна скорост на изгаряне **3,3mm/s.** Отделните пръчици са взети от различни партиди гориво за по-добра представителност.

**<u>Балистични качества на твърдо гориво от *калиев нитрат - Изомалт*</u>**

За изследване на вътрешната и външна балистика на горивото са проведени поредица от статични тестове в изпитателен двигател и множество ракетни полети с моделни ракети.

**1. Резултати от статичните тестове**

Постановката за изследване на вътрешните балистични характеристики може да се види на сн.(1). Тестовият двигател е закрепен на специално направена стойка и е насочен със соплото нагоре. Неговата горивна камера е свързана с манометър за измерване на работното налягане. Самият двигател се движи на релси и позволява да се измерва създаваната при неговата работа тяга посредством пружинна везна.




Снимка 1. Опитна постановка за снемане на вътрешнобалистичните характеристики

В поредица от 15 на брой тестове са изгаряни заряди от горивото при различно зададени параметри с цел установяване зависимостта на скоростта на горене от работното налягане. Тя се изразява чрез закона на Виеле (2).

(2) $$r = a\,Po^{n}$$

Различните режими на работа се задават с промяна на отношението между общата горяща повърхност на заряда и площта на критичното сечение на соплото (величина, наричана **клемунг**) (3).

(3) $$K_n = \frac{A_b}{A_t}$$

Получените резултати от всичките статични тестове са обобщени в графика 3.




Графика 3. Крива на зависимостта *работно налягане – скорост на горене*

Чрез измерената тяга и времето на работа при всеки експеримент се изчислява пълния импулс на конкретния двигател по формула (4).

(4) $$I_t = \int_0^{t_b} F dt$$

Специфичният импулс, основна енергетична характеристика на горивото, може да се получи като отношение на пресметнатия пълен импулс и масата на горивния заряд (5).

(5) $$I_{sp} = \frac{I_t}{m}$$

Тази горивна характеристика зависи от различни фактори, като работно налягане, параметри на соплото и други.

При тестовете са получени стойности в рамките на 1100 – 1250 N.s/kg.

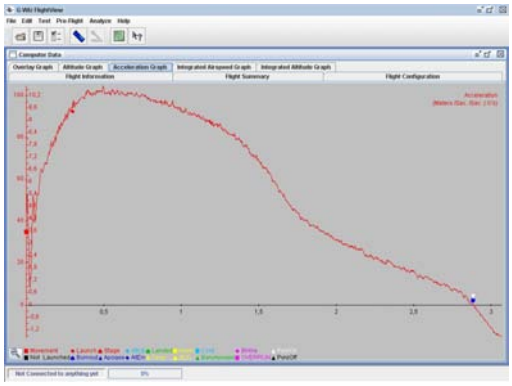
### 2. Полети на експериментални ракети

За установяване на възможностите за практическо приложение са извършени множество полети с ракетни модели, задвижвани от двигатели със заряди от *калиев нитрат – Изомалт*.

Зарядите са с различни форми и големини според предварително заложени изисквания за разпределението на тягата им, времето на работа и масата на ракетните модели.

Записът на полетните параметри се осъществява от специализиран ракетен бордови компютър. Тези данни потвърждават и допълват резултатите от наземните изпитания.

Типичен пример на графичен запис за ускорението, респективно разпределението на двигателната тяга по време на 2,8 секундната работа на ракетния двигател е показан за ракетата „ОСОГОВО” на графика 4.



Графика 4. Запис на ускорението на ракета „ОСОГОВО” за времето на работа на двигателя и

### Заключение

От проведените многостранни изследвания върху свойствата и характеристиките на твърдо ракетно гориво *калиев нитрат – Изомалт* могат да се направят следните заключения:

- Горивото се получава лесно и сравнително безопасно чрез стопяване и свободно леене.
- Използваните изходни вещества са леснодостъпни, безвредни и нетоксични.
- Механичните показатели позволяват изработването на заряди за ракетни двигатели с различни форми и размери.
- Хигроскопичността на готовото гориво е ниска и позволява лесно и дълго съхранение.
- Получените при изгаряне продукти не са токсични.
- Зависимостта на скоростта на горене от работното налягане в интервала 0,1-8 MPa е слабо изразена, което е предпоставка за безопасна експлоатация в различни режими.
- Реално получаваният специфичен импулс на горивото е в порядъка 1100-1250N.s/kg, стойност по-висока от тази на черния барут и по-ниска от перхлоратните горива.
- Карамелното гориво от *калиев нитрат – Изомалт* може успешно да се използва за задвижване на експериментални, научно-изследователски, ракетомоделни и други видове ракети с гражданско приложение.

### Литература:


1. Б е р н е р, М. К., Компоненти за смесеви твърди ракетни горива, Военно издателство, 2006
2. N a k k a, R., Effect of chamber pressure on burning rate for the potassium nitrate-dextrose and potassium nitrate-sorbitol rocket propellants. June, 1991. www.nakka-rocketry.net
3. N a k k a, R., Solid rocket motor design. Website, 2000. www.nakka-rocketry.net
4. N a k k a, R., Ballistic evaluation motor. Website, 2003. www.nakka-rocketry.net
5. G u d n a s o n, M. M., Characterization of potassium nitrate – sugar alcohol based solid rocket propellants. Bachelor thesis, DTU Denmark, 2010.
6. http://www.cargillfoods.com/emea/en/products/sweeteners/polyols/c-isomaltidex-isomalt/functional-properties/index.jsp

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# АДАПТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА КОМУНИКАЦИОННИ МРЕЖИ НА БАЗА НА ДИСКРЕТНО-СЪБИТИЕН АНАЛИЗ НА ПОТОЦИТЕ ОТ ИНФОРМАЦИОННИ ОБЕКТИ

**Евгени Хубенов[1], Антонио Андонов[2], Зоя Чифлиджанова[3]**

*[1]Софийският университет „Св. Климент Охридски"*
*[2]ВТУ „Тодор Каблешков"*
*[3]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: hubenov@ucc.uni-sofia.bg; andonov@vtu.bg; zhubenova@space.bas.bg*

***Ключови думи:*** *дискретно-събитийни комуникационно-информационни системи, децентрализирано управление, информационни обекти, управление на мрежи*

***Резюме:*** *В статията е представено управлението на комуникационни мрежи с цел оптимизация на транспорта и обработката на информационни обекти на основа на дискретно-събитийно представяне на потока от данни и моделиране с йерархична структура. Разгледани са качествени аспекти както за мрежи, предназначени за мониторинг и известяване на геофизически, климатични и други природни феномени, така и за антропогенни системи. Направено е сравнение на възможностите на централизираното и децентрализирано управление, както и състоянието на съвременните мрежови технологии и възможностите за практическа реализация в различни мрежови архитектури.*

# ADAPTIVE CONTROL OF COMMUNICATION NETWORKS BASED ON DISCRETE-EVENT ANALYSIS OF THE FLOWS OF INFORMATION OBJECTS

**Evgeniy Hubenov[1], Antonio Andonov[2], Zoya Chiflidzhanova[3]**

*[1]Sofia University St. Kl. Ohridski,*
*[2]Todor Kableshkov University of Transport,*
*[3]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: hubenov@ucc.uni-sofia.bg; andonov@vtu.bg; zhubenova@space.bas.bg*

***Keywords:*** *discrete-event communication and information systems, decentralized management, data objects, managing networks*

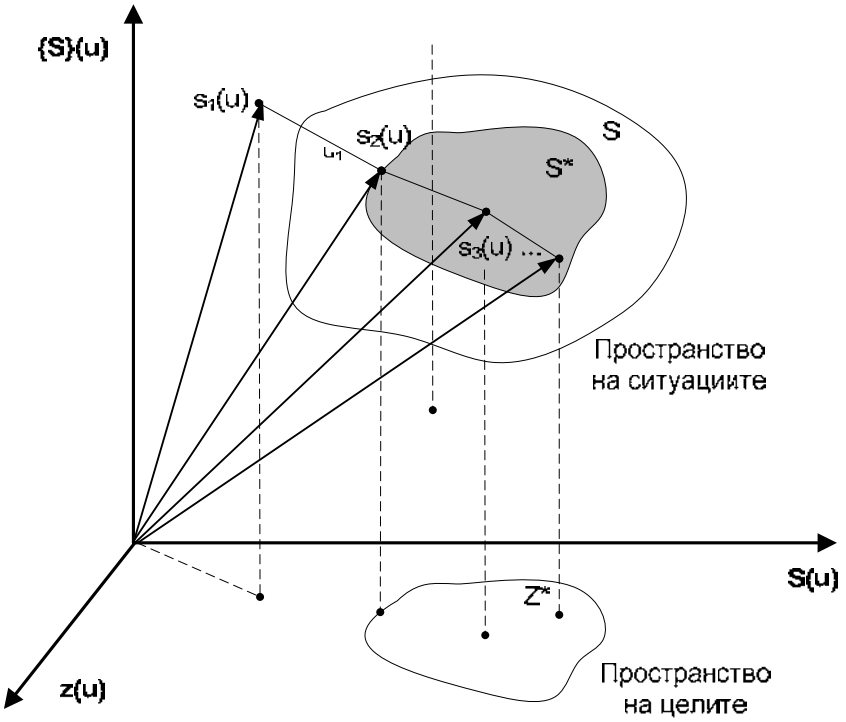
***Abstract:*** *Article presents the control of communication networks with the aim of optimisation of the transport and processing of information objects based on discrete-event representation of the flow of data and their modelling with a hierarchical structure. Qualitative aspects are considered of networks for monitoring and notification of geophysical, climatic and other natural phenomena, as well as for anthropogenic systems. Comparison is made of the capabilities of centralised and decentralised control, as well as the state of modern network technologies and opportunities for practical implementation in different network architectures.*

Събитийно-ориентираните комуникационно-информационни системи включват апаратни и програмни компоненти, които работят едновременно в различни области на взаимно свързани комуникационни среди с използването на събитията в ролята на основен обект за организация на динамичната комуникация между компонентите и адаптиране на структурата към параметрите на потока от данни.

Динамиката на тези системи е свързана с възникване на физически събития в предварително неизвестни, нерегулярни моменти на времето. В общия случай събитие се нарича изменение на състоянието на системата в дискретното пространство на състоянията.

Като информационни обекти, принадлежащи към различни класове в единен комуникационно-информационен поток от данни, събитията съдържат и метаданни. Те са от

значителна важност за поддържане на архитектурата на събитийно-ориентираните комуникационно-информационни системи и трябва да достъпни за всички елементи на системата. Необходимият елемент в архитектурата и структурата на комуникационно-информационната система, е блок за обработка на събития. Блокът за обработка на събитията приема събитията по комуникационни канали, обработва ги и инициира действия.. Обработката е индивидуална или с агрегиране и класификация на повече събития. Прозорецът е извадка от потока от данни, който може да бъде базиран на времеви интервал, физически прозорец (от определени източници), и свързани по съдържание обекти (логически прозорец**).** Комплексната обработка на събитията се извършва в контекста на минали събития или корелационни зависимости на събития в определен времеви, физически или логически прозорец.

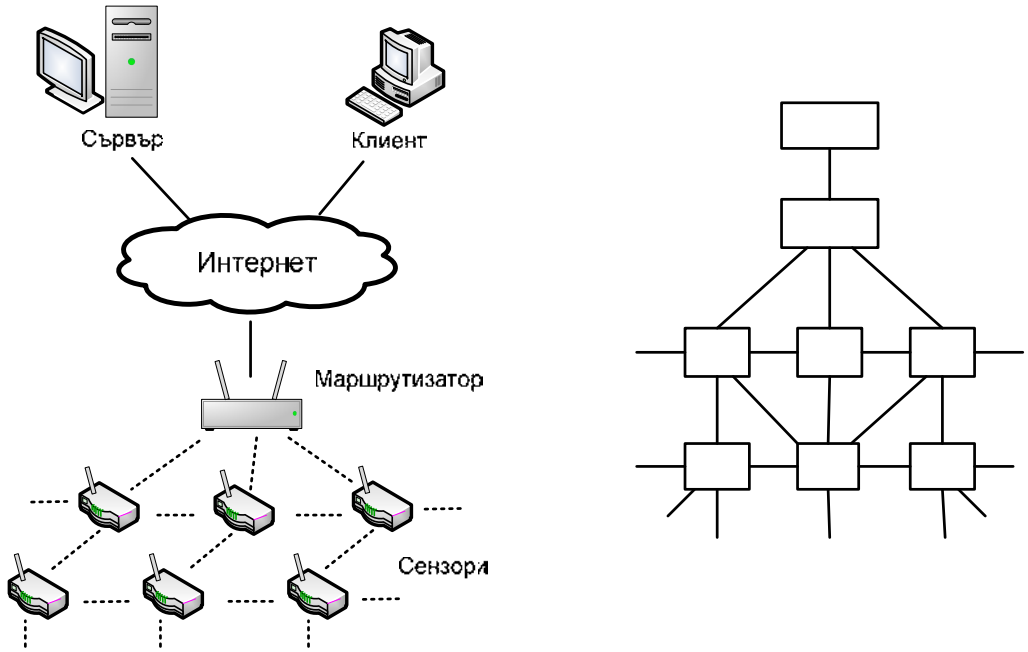



Фиг. 1. Диаграма на фазовите състояния на дискретно-събитийна система

За комуникационните мрежи, разглеждани като дискретни събитийно-ориентирани системи, събитията могат да принадлежат към набор от предварително очаквани състояния, принадлежащи на т.н. азбука на събитията (например, промени в състоянието на мрежовите устройства, обект на мониторинг със специализирани протоколи или прагови аларми за стойности на величини, свързани с физически и природни феномени) (фиг.1). Протоколите и алгоритмите за динамична маршрутизация са възможен механизъм за адаптивна промяна на структурата на системата (мрежовата топология) при транспорта на пакети. Тогава когато мрежата е елемент от комуникационно-информационната система, предназначена за транспорт на информационни обекти, управлението на системата е възможно на база на създаването на подходящ модел, позволяващ разработването на дискретно-събитийна логика на управление. При нея управлението се извършва от дискретно-събитиен контролер (диспечер) на базата на информация, свързана със състоянието на системата.

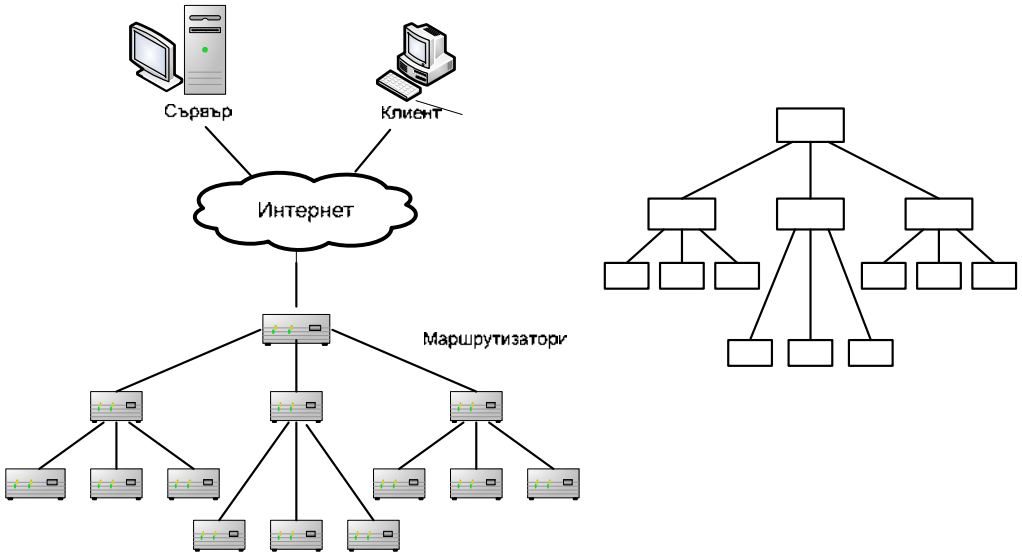
Предвиждането на възможност за мащабиране и развитие на модела предполага структура, в която базовите модели са свързани един с друг в йерархична структура на обобщен (съставен) модел.

Характерни за базовите модели са следните елементи: съвкупност от входни портове, през които постъпват информационните обекти; съвкупност от изходни портове за информационни обекти или събития; съвкупност от променливи състояния (фазови състояния и време за пребиваване в тях); вътрешна функция на преход, определяща следващото състояние, в което системата ще премине след определено време; външна функция на прехода, при която системата преминава в ново състояние; функция на генерираните изходи; функция за времената на преходите.




Фиг. 2. Мрежова топология на сензорна мрежа с възможен обобщен дискретно-събитиен модел

За обобщения модел, освен изброените по-горе елементи за базовия модел, съществени са присъединяването на входните и изходни портове на съставния модел към портовете на базовите модели и интервалите от време, за които е направена връзката. При транспорт на пакети в комуникационна мрежа протоколите за динамична промяна на топологията на мрежата са реализирани на втори и трети слой от мрежовия (OSI) модел и композирането и обединяването на базовите и обобщения модел са резултат от предварително конфигуриране на динамичните протоколи. За комуникационно-информационни системи, осигуряващи пренос и обработка на информационните обекти, е характерно наличието на изчислителни ресурси в различни възли на мрежата. Обобщеният модел може да отразява логическата структура на мрежата, както при сензорни мрежи, характеризиращи се с наличие на изчислителен ресурс във всеки възел (фиг. 2), така и при различни мрежови топологии, изградени от устройства без възможност за оценка и обработка на съдържанието на информационните обекти (фиг. 3).




Фиг. 3. Мрежова топология тип звезда с възможен обобщен дискретно-събитиен модел

Съвременните мрежови технологии дават възможност за промяна на пътя, по който преминава информационният обект към устройство за обработка, което извърши оценка, модифициране или промяна, както и следващо връщане на обекта в комуникационната среда при необходимост. На практика това означава, че информационно-изчислителен ресурс за обработка на потока от информационни обекти може да се позиционира в произволна точка на мрежата. За това комуникационните мрежи от разпространени архитектури, включително TCP/IP и независимо от топологията си, могат да бъдат използвани и разглеждани като комуникационно-информационни, с възможност за оценка на потока от информационни обекти във всяка точка от мрежата. Информационните системи като мрежови структури се състоят от отделни елементи, образуващи в динамиката на своята еволюция информационни потоци. Управлението на системата трябва адекватно да ги отразява за постигане на целите на системата.

Информационното пространство, чийто елемент е и комуникационно-информационната система, въздейства на входовете на системата с множество потоци от информационни обекти.

(1) $$S = ( s_1, s_2, ..., s_n )$$

Събитията в комуникационно-информационната система са управляеми и неуправляеми. За да се управлява системата е необходимо дискретно-събитийните контролери (диспечери) да могат да инициират, предотвратяват или забраняват настъпването на ключови за системата събития. Входните потоци от информационни обекти са също управляеми и могат да бъдат обект на спиране, пренасочване, модифициране и обработка преди да достигнат изхода на системата.

(2) $$S(U) = ( S_1(U), S_2(U), ..., S_n(U))$$

Динамиката на изхода на системата, като функция на входните потоци от информационни обекти се определя от траекторията на n-мерния вектор $S(U)$ в дискретното пространство на ситуациите $\{S\}(U)$. Целите на системата, достигането на които е обект на управлението, се дефинират с целеви вектори , еднозначно определени и свързани с пространството на ситуациите:

(3) $$Z = ( z_1, ..., z_k )$$

(4) $$Z = f(S)$$

(5) $$z_i = f_i(S), \quad i = 1, ..., k$$

Формирането на целите на информационно-комуникационната система означава да се дефинира вектор – цел $Z^* = ( z_1^*, z_2^*, ..., z_k^* )$, като проекция на състоянието на информационните потоци на изхода на системата, който е свързан със съответния многомерен вектор в ситуационното пространство $S^*$:

(6) $$S^* : \begin{cases} f_i(S) = a_i & (i = 1, ..., p) \\ f_j(S) < b_i & (j = p+1, p+2, ..., q) \\ f_k(S) \to min & (k = q+1, q+2, ..., r) \end{cases}$$

Първата група от цели се конкретизира с целеви променливи, които трябва да останат постоянни и фиксирани в пространството на ситуациите (например, надеждност и достъпност), втората група с параметри, които не трябва да превишават допустимите прагове (закъснения и загуби на информационни обекти), третата група с минимизиране на определени параметри (например, натоварването на блока за обработка на събития и минимални загуби на информация). Въвеждането на целеви променливи, които са проекция на пространството на ситуациите за изходните информационни потоци, създава удобство и условия за практическа реализуемост. Например, за осигуряване на работоспособност с крайни налични информационни ресурси броят на информационните обекти, преминали през системата за единица време и използвани като целева променлива от втора група, не трябва да превишава допустима стойност, независимо от типа и тематиката на обектите.

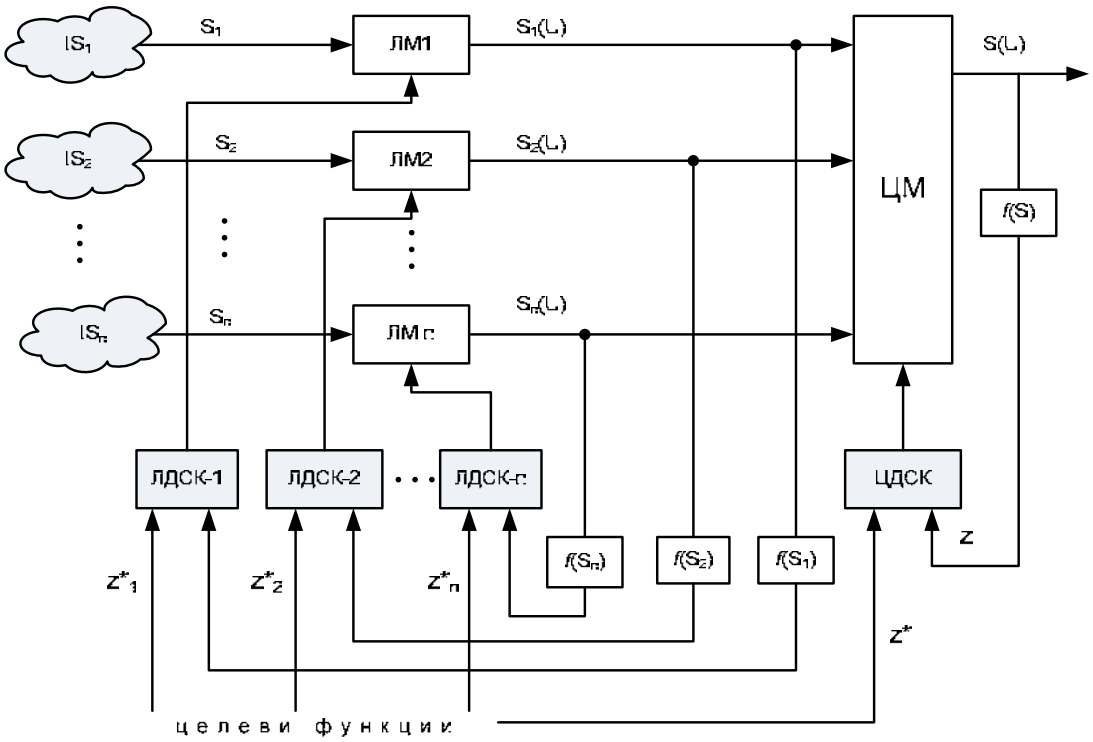
Целите на системата могат да се представят като функция на управлението на комуникационно-информационната система и наличните ресурси за управление.

(7) $S_t = S(U,t)$

(8) $S(U,t) \in S^*$

Целта на управлението е с въздействие върху информационните потоци и комуникационната структура с наличните ресурси да се постигнат целите при динамика на входните въздействия. В понятието адаптация като елемент от управлението се включват пасивната адаптация – приспособяването към фиксирана среда (на практика при оразмеряване и изграждане на системата) и активната – въздействие върху елементи и структура на системата или средата. на основа на текущата информация, с цел достигане на оптимално състояние на системата при начална неопределеност и изменящи се условия на работа.

Особеностите на мрежовата структура в информационно-комуникационните системи прави възможно децентрализираното диспечерско управление с локални и централен дискретно-събитиен контролер (фиг. 4.).




Фиг. 4. Децентрализирано диспечерско управление на комуникационно-информационна система

В управлението на системата участват базови (локални) дискретно-събитийни контролери (диспечери) и централен контролер, образуващи обобщения модел за управление на комуникационно-информационната система. За сензорни мрежи, в които централизираното управление би създало проблем с транспорта или бързото изчерпване капацитета на захранващите източници, базовите (локални) дискретно-събитийни контролери осигуряват управлението за достигане на системните цели. В комуникационно-информационните системи, за които оценката на целевите параметри изисква значителен изчислителен ресурс, по-голямата част от процесите, осигуряващи управлението, са централизирани.

Синтезът на дискретно-събитийните контролери е тясно свързан със структурата на модела и има алгоритмична и параметрична страна. Конкретизирането на параметрите е свързано с експерименти в реална система.

Управляващите въздействия в системата са функция на зададения отвън вектор на целите и целевия вектор, проекция на текущото състояние на системата в пространството на състоянията.

(9) $$U(t) = F(Z^*, Z, t)$$

При локалните дискретно-събитийни контролери в сензорните мрежи изчислението на текущия целеви вектор и генерирането на управляващи въздействия се изпълняват от едно и също устройство, което концентрира и функции, свързани най-вече с ефективния транспорт на информационни обекти. За целта сензорът комуникира със свързаните устройства в ролята на информационен агент. Развитието на мулти-агентната архитектура по отношение на мрежовото управление (SNMP, OpenFlow …) дава възможност за увеличаване на информационните ресурси, концентрирани в мрежовите устройства. Така може да се оптимизира разпределението на задачите между локалните и централния дискретно-събитиен контролер, да се актуализират отдалечено целевите вектори за локалните агенти и да се позиционира във всяка точка от мрежата изчислителен ресурс. При сложна структура на информационните потоци във формирането на текущия целеви вектор може да се използват и резултати от комплексната обработка на събитията в различни прозорци и тематики.

**Заключение**

Управлението на дискретно-събитийните комуникационно-информационни системи е процес на въздействие върху елементи и структура на системата или върху потоците от информационни обекти за постигане на оптимално състояние. В общия случай то е децентрализирано с разпределение на функциите между локални и централен дискретно-събитиен контролер. В зависимост от необходимите изчислителни ресурси целевите вектори също могат да се изчисляват централизирано или локално.

**Литература:**


1. Chakravarthy, Sharma, Qingchun Jiang, Stream Data Processing: A Quality of Service Perspective Modeling, Scheduling, Load Shedding, and Complex Event Processing, Springer Science+Business Media, 2009.
2. Cassandras, Christos G., S. Lafortune, Introduction to Discrete Event Systems, Boston University, 2008.
3. Hruz, B., MengChu Zhou, Modeling and control of discrete-event dynamical systems: with Petri nets and other tools, Springer-Verlag London Limited, 2007.
4. Wainer, Gabriel A., Pieter J. Mosterman, Discrete-Event Modeling and Simulation: Theory and Applications, CRC Press, 2010.
5. Wang Dr. Bang, Coverage Control in Sensor Networks, Springer London, 2010.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ПРОБЛЕМЪТ ЗА ЧОВЕШКИЯ ФАКТОР ПРИ ОЦЕНКА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ФУНКЦИОНИРАНЕ НА СЛОЖНИ ЕРГАТИЧНИ СИСТЕМИ

**Зоя Хубенова[1], Владимир Гергов[2]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2]ВТУ „Т. Каблешков" – София*
*e-mail: zhubenova@space.bas.bg; vladigergov@abv.bg*

***Ключови думи:*** *автоматизирана система, човек оператор, професионална пригодност*

***Резюме:*** *Статията е посветена на търсенето на решение на проблемите, свързани с «човешкия фактор» (ЧФ), актуален за сложните системи за управление. Обосновава се необходимостта от създаването на комплексен имитационен модел, отразяващ поведението на оператора в автоматизираните системи за управление. Такъв модел позволява да се създават адекватни сценарии на работа на оператора, като възможност за оптимизация по критерий минимум на неадекватни действия на оператора при неизправност. Предложена е методология за анализ на ЧФ, посредством оценка на ефективността на операторската дейност на база системен модел, в който са обособени сензорно, когнитивно и моторно ниво на операторските функции.*

# HUMAN FACTOR ISSUE IN ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF FUNCTIONING OF SOPHISTICATED ERGATIC SYSTEMS

**Zoya Hubenova[1], Vladimir Gergov[2]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Todor Kableshkov University of Transport – Sofia*
*e-mail: zhubenova@space.bas.bg; vladigergov@abv.bg*

***Keywords:*** *automated systems, human operator, capabilities*

***Abstract:*** *The article is devoted to finding a solution to the problems, associated with "the human factor", current for the sophisticated control systems. The need of creation of a complex simulative model, reflecting the operator's behavior in automatic control systems is grounded. Such a model allows to be created appropriate working scenarios of the operator, as well as an opportunity for optimization, according to minimum criterion, of the inadequate actions of the operator at a fault. Methodology for human factor analysis by evaluating of effectiveness of operator's activity, based on a system model, in which are differentiated the sensory, cognitive and motor level of operator's functions has been proposed.*

## Въведение

Развитието на информационните технологии, повишаването на степента на автоматизация и съответстващото преразпределение на функциите между човека и техниката до сега не са довели до решаването на проблемите, свързани с човешкия фактор (ЧФ) в системите за управление, а в някои случаи даже ги задълбочават. За това свидетелстват резултатите при анализа на извънредните и аварийни ситуации. Разследването и анализът на болшинството аварии и произшествия в авиацията, наземния и воден транспорт, енергетиката, атомната и нефтена промишленост, част от които водят до катастрофални последствия, показват, че ако в 60-те години грешките на човека са първопричина само за 20 % от инцидентите, то през 90-те техния дял нараства до 80 % [4].

Един от из ключовите причини на проблема „човешки фактор" е липсата на квалифициран персонал, способен да работи при експлоатацията на съвременните системи за автоматизации [1, 6]. Други причини са снижаване на технологичната дисциплина, притъпяване

на бдителността при дълговременна монотонна работа и пр. Става очевидна потребността от кадри, които да могат да вземат отговорни решения, доколкото могат и знаят да ползват целия огромен потенциал на съвременната техника. В същото време, операторът трябва да е в активно състояние и адекватно да реагира в нещатни ситуации, а както показва опита, нивото им на подготовка е често недостатъчно. В резултат, внедряването на съвременните технологии на автоматизация в такива сложни комплекси не само дава очевидни преимущества, но и повдига редица нови проблеми и задачи като: повишаване нивото, включително и нови методи за обучение и преподготовка на кадрите, усъвършенстване процеса на взаимодействие на оператор–конзола в автоматизираните системи за управление (АСУ), подбор на кадри за операторските длъжности и др.

Особеностите на тези по същество ергатични системи (ЕС) са, че в контура на управление, т.е. в управляващата система е включен самия ЧО (или група оператори), както и това, че психофизиологичните свойства на оператора трябва да са част от параметрите (свойствата) на системата. Ако функционирането на този род системи е в условия на неопределеност, то качеството на управление се осигурява от ЧО [5]. В тази връзка възниква задачата за определяне на професионалната пригодност на операторите, чието решение е важно и актуално за повишаване надеждността на човека-оператора в структурата на ЕС.

**Подходи за решаване на проблема „човешки фактор”**

Традиционен подход за решаване на разглеждания проблем е оптималното разпределение на функциите между човека и техниката, както и повишаване ефективността от дейността на оператора по пътя на подобряване условията на труда (ергономично направление). С времето възникването на проблемите (50–60-те години), свързани с разпределението на функциите между оператора и автоматиката се е променяло [3, 5]. Първоначално това е формулирано в работите на П. М. Фитс във вид на списък от сравнителни възможности между човека и машината. Необходимостта от разпределение на функциите е била поставена под съмнение от Н. Джордан, издигнал идеята за взаимодопълването на човека и машината. В това направление са работели У. Синглтон, В. Я. Дубровский и др., като в резултат са се оформили две направления за нейното решаване [6].

Представителите на *първото* направление предлагат нови принципи на организация на съвместната работа на човека и техниката и ролята на активния оператор в системата «човек - машина» (Н. Д. Завалова, Б. Ф. Ломов); *Второто* направление се опира на принципа на динамичното или адаптивно разпределение на функциите между оператора и машината (К. А. Кук, К. Корбридж , Е. Костин и др.) [2].

В последно време в редица публикации се застъпва тезата за целесъобразността от включването в АСУ на методите на изкуствен интелект. Представя се също, че проблемът на ЧФ ще стане предмет на информационната екология на човека – това ново научно направление. По мнение на много специалисти от промишлеността, интелигентното управление трябва да отговаря на редица изисквания като: способност за обучение и адаптация; повишаване на устойчивостта и простота на управлението на сложни обекти; способност за включване на нови компоненти, осигуряващи най-добрите решения в рамките на ограниченията, наложени от апаратно-програмните средства пр. Развитието на приложните аспекти на интелигентните системи и теорията на размитите множества дават нови възможности за моделиране на такива системи. Обръща се внимание основно и върху това, как да се повиши адекватността на действията на оператора за предотвратяване на извънредни ситуации или в условия на такива ситуации. Средствата на изкуствен интелект трябва да предоставят по време на работната смяна на оператора жизнен тонус, съответстващ на неговите функционални задължения. На тези средства се възлагат и отговорностите за предсказване на състоянието на оператора и управлявания обект.

Важно е да се отбележи, че ергономичните (комфортни) условия за работа на оператора не са достатъчни, а понякога и неадекватни, за решаване проблема за човешкия фактор. Това е видно от продължаващите по причина ЧФ аварии. Необходимо е да се помага на оператора да съхранява в течение на цялата работна смяна активния тонус, позволяващ адекватно да реагира, в частност и на извънредни обстоятелства.

**Концепция за моделиране на системата «оператор — АСУ»**

Изискванията към описателните и функционални възможности на средствата за моделиране могат да се формулират, като се анализират съществуващите модели на дейността на ЧО [6]. Традиционно при описване на модели на дейността на ЧО се различават следните основни обекти и процеси:

- структурни елементи (процеси) на дейността (например, операции, задачи, действия, типове функционални елементи и структури, фази за решения на задачите);
- логико-времева последователност на действията (алгоритъм на действие), реализирана с помощта на логически условия и различни композиционери, организиращи вход-изход от алгоритъма, паралелни и циклични процеси;
- обекти на дейността (средства за изобразяване на информация, органи за управление, други оператори);
- количествени показатели на дейността (надеждностни – вероятност за грешки, времеви – време за реакция или изпълняване на действия);
- фактори, влияещи на дейността, такива като микроклимат, опасност, сложност, достоверност на информацията и др.;
- характер на дейността (типове на задачите, типове поведение и пр.);
- ресурси и състояние на оператора (памет, анализатори, психофизиологически показатели и характеристики);
- елементи на групова дейност (взаимодействие, синхронизация, управление);
- състояние на обекта на управление.

Решаването проблема за ЧФ се свързва със следните направления:

1. **Подържане емоционалното комфортно и бодро състояние на оператора в работното време.** На състоянието на оператора в течение на работната смяна влияят работните и организационни характеристики [1]. Работните характеристики включват съдържанието на работата, средствата за работа, и технически и социалните условия на труд. Организационните характеристики са оптималната структура на АСУ, процесите и управлението. Необходимо е, да се отчитат всички тези външни за оператора фактори, влияещи на неговата работоспособност.

Следва да се създават условия, в които се изключва извънредната пасивност на оператора. Тя може да доведе до повишаване монотонността и като следствие, уморяемост и сънливост, които отрицателно влияят на работоспособността. Целесъобразна е също така психопрофилактиката на неблагоприятните функционални състояния. Всичко това се препоръчва от класическата ергономия.

2. **Осигуряване на своевременен и ефективен отдих (релаксация) на оператора**. Качеството, времето, интензивността на отдиха зависят от индивидуалните характеристики на всеки оператор. Индивидуалните характеристики на оператора се делят на професионални, нравствени и организационни, психологични, физиологични и физически. Това съществено усложнява организацията на интелектуалния компонент на оператора, а самия проблем за ЧФ става интердисциплинарен.

3. **Снижаване на неадекватното натоварване на оператора**. Необходимо е да се изключат излишните действия, извършвани от оператора, като съответно се осигури удобство на работното място и организация на почивките, т.е. да се осигури необходимото ниво на работните, организационни, индивидуални характеристики на локалната среда за работа на оператора, която да е адекватна на неговите функционални задължения.

4. **Мониторинг на състоянието на работоспособността на оператора,** на неговото емоционално и физическо състояние. Мониторингът е необходим за своевременното реагиране при поява на признаци на умора, прекомерно натоварване, спад на реактивността и пр., а като следствие, спад на психологическата работоспособност, увеличаване на вероятността от грешни действия и пр.

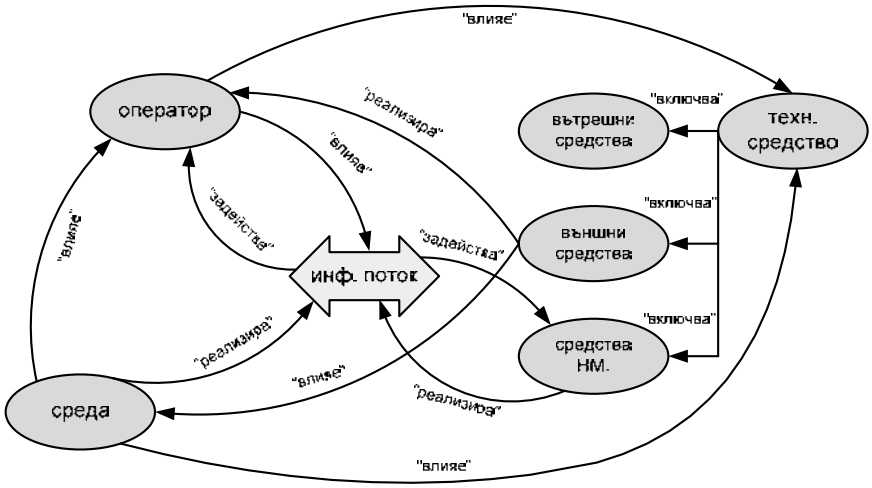
Изброените по-горе задачи са непосредствено свързани с операторските пултове и средствата за изобразяване на информацията, оборудвани със съответните апаратно-програмни осигуряване и дистанционни средства за измерване и наблюдение в частност.

Организацията на адекватен потребителски интерфейс с конзолата е задължително изискване за всяка АСУ. Подържането на необходима реактивност на оператора и на неговото съответстващо емоционално и физическо състояние е възможно по пътя на регулярния тренинг. Например, чрез определени интервали от време или по резултати от мониторинга се имитира лъжлива критична ситуация, в която операторът е принуден да се намеси. По-нататък се прави оценка и анализ на действията на оператора. Ако реакцията на произтеклите събития е адекватна и времето за решение на дадената задача удовлетворява изискванията, то операторът продължава своята работа, ако не — се предприемат мерки или той се заменя. Друго решение — да се «накара» автоматиката да отчита личностните характеристики на всеки оператор поотделно. При започване на работа операторът запълва входяща анкета и се провежда профтестиране. Системата, отчита особеностите на конкретния оператор, като дава възможност да организира по съответстващ начин взаимодействието му с АСУ.

Трябва да се отбележи, че задачата, свързана с пригодността на оператора не е тривиална, поради сложността на връзките между професионалните качества и сложната интерпретация на резултатите от тестирането и формализацията на процесите в операторската дейност. До сега недостатъчно са изучени въпросите за избора на отделните професионални характеристики, тяхната взаимовръзка с успешността на операторската дейност, като отсъства единен методически подход за провеждане на изследванията и подбора на оперативния персонал на основа достиженията на съвременните интелектуални технологии. Тези професионално-важни качества на ЧО, необходими за успешното обучение и ефективна работа могат да се определят като физически, анатомо-физиологични, психически и личностни свойства на човека. В тази връзка са разработени различни подходи за тяхната оценка, основани на методи за тестиране и лабораторни експерименти, насочени към моделиране на операторската дейност [3].

**Модел за описание и оценка на операторска дейност**

За описание и представянето на знания за професионалната дейност на човека-оператор в структурата ЕС може да се изобрази процеса на взаимодействие на ЧО, техническата система и средата във вид на семантична мрежа (фиг.1.).




Фиг. 1. Модел за анализ на взаимодействие в ергатична система

Така операторската дейност може да се проектира като циклично изпълнение на отделни актове от тази дейност. В този смисъл целесъобразно е въвеждането на понятието акт на операторска дейност, като под това понятие се разбира: завършена последователност от отделни неповтарящи се операторски действия, реализиращи единичен цикъл на управление. Отчитайки, че има известно разделяне в операторската дейност, то и акта може да се раздели на отделни типични етапи:

(1) $$R = \{R_i\}, \quad i = 1,N$$

където $R_i$ е елемент на системата, представляващ отделния етап от операторската дейност (под елемент от системата се разбира най-проста неделима операция), *i* – броя на етапите на операторската дейност.

Всеки етап от операторската дейност, от своя страна, се характеризира с набор от елементарни операторски действия:

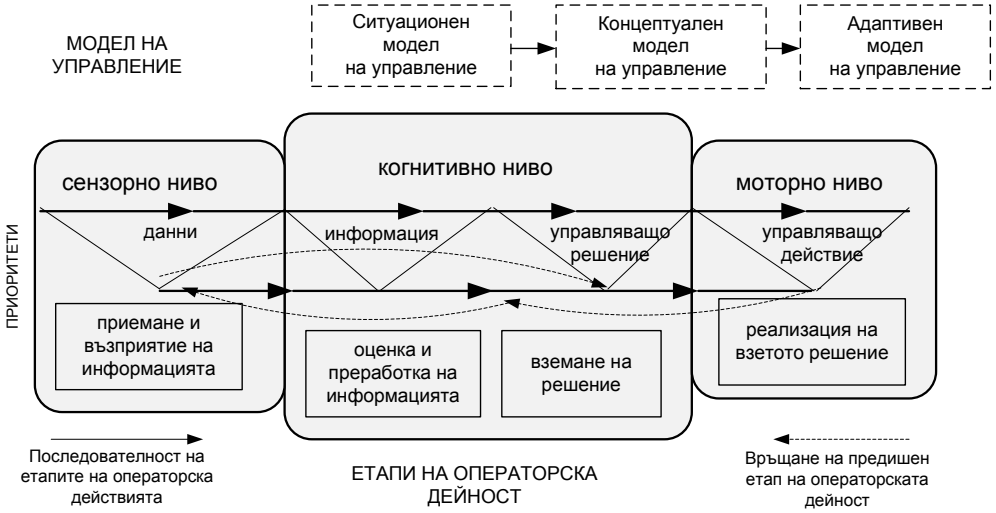
(2) $$R_i = \{K_j\}, \quad j = 1,N$$

където $R_i$ е елемент на системата, представляваща етап от операторската дейност, *i* – брой етапи, *Kj* – операторско действие, *i* – брой действия.

Като условие за декомпозиция е избрано условието за пресичане на множеството на елементарните действия: ако за всяко *j* и *l* множеството елементи на системата не се пресичат $\forall (i,l): R_i \cap R_l = \phi, \quad i = 1,N; l = 1,M$ ,то по-нататъшна декомпозиция не е необходима.

Въз основа на анализа на графа на операторската дейност (показани на контура неповтарящи се операторски действия??) $R_1 \rightarrow R_i \rightarrow R_{i+1} \rightarrow R_N$, се отделят четири етапа на операторската дейност: R = {R*1, R2, R3, R4*}, где R*1* – етап за приемане и възприятие на

постъпващата информация, R*2* – етап за оценка и преработка на информацията, *R3* – етап за вземане на решение, *R4* – етап за реализация на взетото решение, показващо последователното изменение на модела за оперативно управление. Това е показано на фиг. 2 и е в съответствие с известния модел на Y. Liu и C. Wu [7] – в последователността на операторските действия на схемата последователно са отделени етапите на от операторската дейност, съответно на сензорно, когнитивно и моторно ниво.




Фиг. 2. Системен модел на операторски функции (по Y. Liu и C. Wu)

Функционалният анализ позволява да се идентифицират всички функции на автоматизираната система, както изпълняваните от човека, така и от системата за управление. Операторската дейност в структурата на ЕС може де се представи чрез множеството елементи R, с помощта на които се описват събитията, водещи до възникването, откриването и отстраняването на грешките на оператора. В анализирания алгоритъм на функциониране, с помощта на описание на елементите се задават реалните действия на ЧО, работните операции на технологичното оборудване, програмното осигуряване, както и логически функции (табл.1).

Таблица 1. Някои основни елементи в акт на операторската дейност

| **Номер** | **Обозначение на елемента** | **Работна операция** |
|---|---|---|
| 1. | R | Работна операция |
| 2. | A | Алтернативна операция |
| 3. | F | Операция «контрол на функциониране» |
| 4. | Z | Операция задържане |

Множеството от елементите се оценяват с вероятностни характеристики, чрез които се прави оценка на качеството на изпълнение на описаните елементи. Елементите на тази група се използват като променливи и както в математиката имат име и стойност. Името в случая обозначава показателя за качество, а конкретната стойност на променливата се задава с вероятностно-времеви характеристики. Един пример за тяхното използване и показано в таблица 2.

Таблица 2. Множество елементи за оценяване

| **Номер** | **Обозначение на елемента** | **Характеристики** |
|---|---|---|
| 1. | $P^1$ | Вероятност за безгрешно изпълнение на $K_i$ |
| 2. | $P^2$ | Вероятност за грешно изпълнение на $K_i$ |
| 3. | $M_T$ | Математическо очакване за времето на изпълнение |
| 4. | $D_T$ | Дисперсия за времето на изпълнение. |
| 5. | $K^{11}$ | Условна вероятност за това, че проверяваната операция при фактически правилно изпълнение ще бъде призната за правилна. |
| 6. | $K^{10}$ | Условна вероятност за това, че проверяваната операция при фактически при правилно изпълнение ще бъде призната за неправилна. |

Концепцията за оценка на професионалната пригодност се базира на анализа на ефективността на действие на оператора във всеки от показаните етапи на операторската дейност и безгрешното изпълнение на операциите, отнесени към определянето на набор от основни качества на ЧО, които трябва да са определени в професиограмата [1]

Моделът на успешна операторска дейност в общ вид може да бъде представена като многопараметрична структура от вида $S = \{H, G, C, Z, U\}$, където: H – множество от характеристиките на личността, обединяващи основни психофизиологични изисквания; G – параметрите на професиограмата, които дават структурата на дадената професионална дейност; C - изброяване и анализ на онези дейностни операции, характерни за професията; Z – основни задачи, които характеризират действията на оператора; U – характеристики на работното място

За отработване на различни варианти за решения на поставените проблеми се използват имитационни модели, отразяващи достатъчно адекватно спецификата на процесите в системата «човек - техника», «човек — конзола на АСУ». Отчитайки интердисциплинарността на проблемите, свързани с ЧФ, такъв модел може да баде тренажорен стенд, включваш имитационна система за конкретен АСУ, диспечерски пункт и т.н. при отчитане на психофункционалното състояние на човека–оператора. Основни елементи на технико-диспечерското управление са операторът и управляемите от него обекти, като съгласуването на работата им се осъществява в процеса на обмен на информация. Тази информация може да се характеризира с мярка за сложност на възприятие от оператора, която зависи от степента на трудност за нейното възприемане. Сложността на информацията е непосредствено свързано с времето на нейното възприемане и осмисляне от човека [3].

**Заключение**

Посредством използването на системния подход е разработена обобщена методология за построяване на система за оценка на професионалната пригодност на оператора в ергатична система въз основа на получаване, обработка и представяне на знания за операторската дейност. Тази методология обединява подходи за оценка пригодността на оператора, основана на оценката за успешност на операторската дейност в отделните й етапи, съответно на сензорно, когнитивно и моторно ниво. Практическата реализация на системата за оценка на професионалната пригодност може да бъде осъществена с използването на методи за интелектуален анализ на данните и системите за поддържане вземането на решения за широка номенклатура операторски професии.

Предвид сложността и мултидисциплинарността на проблема е подходящо реализирането на стимулационни експерименти, безопасни за хората и за техническата система. Практически по-нататъшните изследвания са свързани със създаването на имитационен модел, позволяващ да се направи оценка на ефективността на ергатична система при изменение на параметрите на нейните елементи.

**Литература:**


1. Бодров, В.А., Психология профессиональной пригодности. Учебное пособие для вузов – М.. ПЕР СЭ, 2001 – 511 с
2. Brookhuis, K., Hedge A., Hendrick H., Salas E., Stanton N. Handbook of Human Factors and Ergonomics Models, Florida: CRC Press, 2005.
3. Dimitrov, I., S. Tanev, P. Getsov, P. Trendafilov, H. Hristov, L. Aleksiev, S. Doshev. Scientific Research Complex for the Study of Human Operator in Extreme Conditions. RAST 2011 5-th International Conference – Resent Advances in Space Technologies, Istanbul, 2011, p.825
4. Karwowski, W., Salvendy, Design of Work and Development of Personnel in Advanced Manufacturing, JoneWiley&Sons, Canada, 1994.
5. Kirwan, B., A Guide, To Practical Human Reliability Assessment, Taylor & Francis, 1990
6. Salvendy, Gavriel (Editor), Handbook of Human Factors and Ergonomics, Purdue University, 2006, Canada.
7. Wu, C., Liu Y., "Queuing Network Modeling of Transcription Typing", ACM Transactions on Computer Human Interaction, vol. 15, 2008, pp. 1-45.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ОСОБЕНОСТИ И ПРИЛОЖЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОННИ ТЕНЗИОМЕТРИ И ПРЕОБРАЗУВАТЕЛИ НА НАЛЯГАНЕ В СИСТЕМИТЕ ЗА НАПОЯВАНЕ НА РАСТЕНИЯТА

**Пламен Костов, Константин Методиев**

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

***Ключови думи:*** *субстрат „Балканин“, тензиометричен датчик, електронен преобразувател на налягане, дозатор на вода.*

***Резюме:*** *Разгледани са особеностите на субстратите, създадени за работа в микрогравитация, и особеностите на тензиометричните датчици при дълговременна работа. Предположено е, че при работа с високо съдържание на вода в субстрата (ППВ и по-високо) може да се използва пореста керамична чаша за тензиометъра с диаметър на порите около 100 μm, която може да осигури непрекъсващо измерване на матричния потенциал до няколко kPa при дълговременни експерименти. За проверка на хипотезата бяха проектирани и калибрирани топлинно-импулсен датчик за водно съдържание и тензиометричен датчик за матричен потенциал на субстрат „Балканин“. С помощта на двата датчика беше снета работната част от Основната хидрофизична характеристика (ОХФХ) на субстрата. Проектиран и калибриран беше дозатор на вода за програмно напояване на субстрати в лабораторни условия на основата на електронен датчик за налягане.*

# PECULIARITIES AND USE OF ELECTRONIC TENSIOMETERS AND PRESSURE TRANSDUCERS IN THE PLANT IRRIGATION SYSTEMS

**Plamen Kostov, Konstantin Metodiev**

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

***Key words****: Balkanine substrate, tensiometer, electronic pressure transducer, water-dosing device.*

***Abstract****: The peculiarities of the substrate characteristics, designed for microgravity application, and the tensiometers are discussed. It has been suggested that when working with high substrate water content (FC and higher), the porous ceramic cup with pore diameter of about 100 μm for long-term measurement of matrix potential can be used. To test the hypothesis a heat-pulse sensor for water content and tensiometer for matrix potential measurements were designed and calibrated. The working range of the Retention Curve (RC) of Balkanine substrate was measured by both sensors. A programmable water-dosing device for automated irrigation in laboratory plant root module using an electronic pressure sensor was designed and calibrated.*

## Въведение

*Особености на субстратите в сравнение с почвите*

Естествените почви имат плавна *ОХФХ* в областта на достъпната вода за растенията. Оптималната влажност за растеж е *0,2÷0,28 cm³/cm³*. Изкуствено произведена почва на основата на пореста материали е прието да се нарича *субстрат*. При физико-математическото моделиране на субстрата се използва термина *матрица*. Субстратите обикновено имат двойна порестост – макропори между частиците и микропори във всяка частица. Беше установено, че в микрогравитация оптималната влажност на субстрата е в интервала *0,3÷0,35 cm³/cm³* [1]. Както за обикновените почви, така и за субстратите, основната взаимовръзка между водния потенциал и водното съдържание се дава от *ОХФХ*. Тя се определя с помощта на два датчика – за матричен потенциал и за водно съдържание, които измерват едновременно при изменение на водното съдържание от насищане до въздушно-сух субстрат.

*Особености на тензиометъра при дълговременна работа*

Общият вид на тензиометъра и принципът на работа са разгледани широко в литературата, например в [2]. Матричният потенциал $\Psi_M$ на водата в субстрата се измерва с тензиометър и се изчислява от показанията на измерителния манометър и от вертикалното разстояние между манометъра и порестата чаша на тензиометъра:

(1) $$\Psi_M = \Psi_{gauge} - ( z_{gauge} - z_{cup} ) < 0$$

Когато субстратът изсъхва, матричният потенциал се увеличава и налягането в тензиометъра достига до *-(50÷100)* и повече *kPa*. Това отрицателно налягане се превръща в естествен стимулатор на газообазуване в херметизираното тяло на уреда. Разтвореният във водата въздух и образуващите се водни пари заемат все по-голям обем и при достатъчно количество газ водната връзка се прекъсва необратимо. Когато тензиометърът се използва в Земни условия, въздушните мехурчета се събират в най-високата част на датчика. През няколко дни тензиометърът се обезвъздушава, в него се долива вода и отново се херметизира. В условия на микрогравитация образуващите се въздушни мехурчета плуват свободно във водата и не могат да бъдат отстранени. Така появата на погрешни показания на уреда не може да бъде предвидена, а самата процедура по периодичното презареждане с дегазирана вода е сложна и не гарантира повтаряемост на калибровката.

*Особености на лабораторните системи за напояване*

Предмет на разглеждането е системата за напояване, използвана в оранжерия „*Свет*“. Основните възли, които тя съдържа са резервоар с вода, водна помпа и клапани. Водната доза се регулира чрез продължителността на работа на водната помпа (*0,5÷10 s* при дебит *15÷20 ml/s*). Установено е, че хидравличното съпротивление на водопроводната система се променя 2÷3 пъти по време на вегетация, което променя водната доза. Данните от датчика за влажност не могат да се привържат към реално подадените количества вода само по данните за броя на подадените дози, поради променящото се количество вода в дозите.

Дългогодишните наблюдения върху работата на водната помпа в микрогравитация и в лабораторията показаха, че този електромеханичен възел има кратък работен ресурс, притежава нестабилност при дозирането на малки количества вода и той периодично се подменя. Привързването на биологичния статус на растенията към текущото количество вода в кореновата зона изисква повишаване на точността на задаване и измерване на водната доза.

За да се решат разгледаните проблеми е необходимо да бъдат проектирани датчик и изпълнителен механизъм: (1) тензиометър за дълговременно измерване на матричния потенциал на субстрата; и (2) управляем дозатор на вода за лабораторния макет „*Свет-3*“.

Проектът има следните: *Цел*: Да се изследват възможностите за използване на тензиометрични датчици в субстратни среди за дълговременни експерименти с растения; *Задачи*: (1) - Да се проектира прототип на датчик за матричен потенциал на субстрати; и (2) - Да се проектира точен дозатор на вода; и *Предмет на изследването*: Водния статус на субстрат „*Балканин*“ при използването на програмируем дозатор за напоителната система, управляван от тензиометър.

Планирано е да бъдат извършени следните дейности:

1. Проектиране на датчик за измерване на водното съдържание в субстрата, работещ на основата на топлинно-импулсна техника.
2. Проектиране на тензиометричен датчик за измерване на матричен потенциал с подобрени експлоатационни характеристики.
3. Снемане на *ОХФХ* на субстрат „*Балканин*“ с двата датчика.
4. Проектиране на дозатор за вода, използващ електронен датчик за налягане.

**Методи и материали**

*Метод за измерване на водното съдържание в субстрата*

Теоретичните основи на топлинно-импулсните датчици, разработвани в лабораторията, са разгледани в [3]. За проектирането на датчик, предназначен за настоящото изследване, е използвано уравнението:

(2) $$K = \frac{P}{4\pi \cdot ( \Delta T = const )} \cdot ln( t )$$

където: *K* [W/(ºC.m)] е топлинната проводимост на субстрата; *P* [W/m] е линейната топлинна (електрическа) мощност на нагревателя; *ΔT* [ºC] е нарастването на температурата на сондата след време *t*; *t* [s] е времетраенето на топлинния импулс.

В обема на субстрата се подава топлинен импулс с мощност *P* за достигане на постоянна температурна разлика *ΔT* между крайната и началната температури на сондата, измерва се продължителността на топлинния импулс *Δt*, която е пропорционална на топлинната проводимост на средата, а топлинната проводимост е пропорционална на влажността на субстрата.

*Метод за измерване на матричния потенциал на водата в субстрата*

Горната граница на диапазона на измерване при тензиометрите се определя от пределното налягането на въздушните мехурчета $h_b$ (известно също като „*air entry value*“) върху порестата керамична мембрана между субстрата и обема на тензиометъра:

(3) $$h_b = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \alpha}{\rho \cdot g \cdot r_{eff}}$$

където: *σ* е повърхностното напрежение между течната и газовата фази (чиста вода при 25°C *σ=0,072* N/m), *α* е контактния ъгъл между течността и материала на чашата (~0°), *ρ* е плътността на чистата вода ($10^3$ *kg/m*$^3$), *g* е гравитационната константа (*9,780–9,832 m/s*$^2$).

Тензиометричните керамични чаши обикновено имат пори с диаметър *1÷5 μm*, които осигуряват измерване на налягане до *-85 kPa* при периодично сервизно обслужване. Предположението е, че при диаметър на порите *100-150 μm*, тензиометърът може да измерва воден потенциал до няколко *kPa* без сервизно обслужване през целия период на вегетацията.

*Метод за измерване на водната доза за поливане*

За определяне на водната доза, предназначена за впръскване в зоната на корените на растенията, е избран метода на измерване на хидростатичното налягане на водата *P* в съд с обем *V* и височина *h*. Като се приеме, че водата е несвиваема и височината *h* е много по-малка от радиуса на Земята, хидростатичното налягане *P* се определя от формулата:

(4) $$P = \frac{mg}{A} = \frac{\rho V g}{A} = \frac{\rho A h g}{A} = \rho g h$$

където: *ρ* е плътността на водата [kg/m$^3$]; *g* е гравитационното ускорение, [m/s$^2$], *A* е площта на водния стълб [m$^2$], *h* е височината на водния стълб, успореден на посоката на ускорението [m].

Хидростатичното налягане *P* е функция само на височината на водния стълб *h*, а водният обем *V* в резервоара, във функция от *h*, се определя от израза:

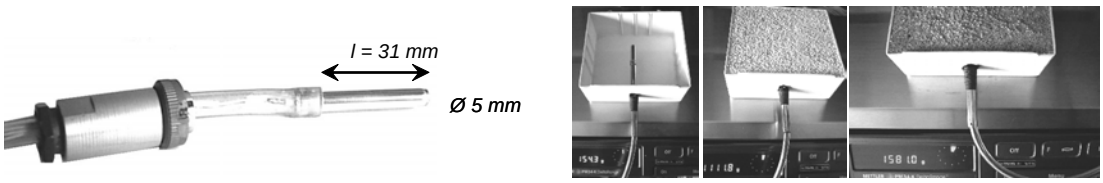
(5) $$V(h) = K_{form}(h) \cdot A \cdot h = K_{form}(h) \cdot P(h)$$

където: *V(h)* е обема на съда във функция от височината на водния стълб; $K_{form}(h)$ е коефициент на формата на съда; *h* е височината на водния стълб; *P(h)* е хидростатичното налягане във функция от височината на водния стълб. В случай, че съдът е цилиндричен, $K_{form}(h) = 1$.

*Датчик за водно съдържание от тип Θ = f(Δt) при ΔT = const.*

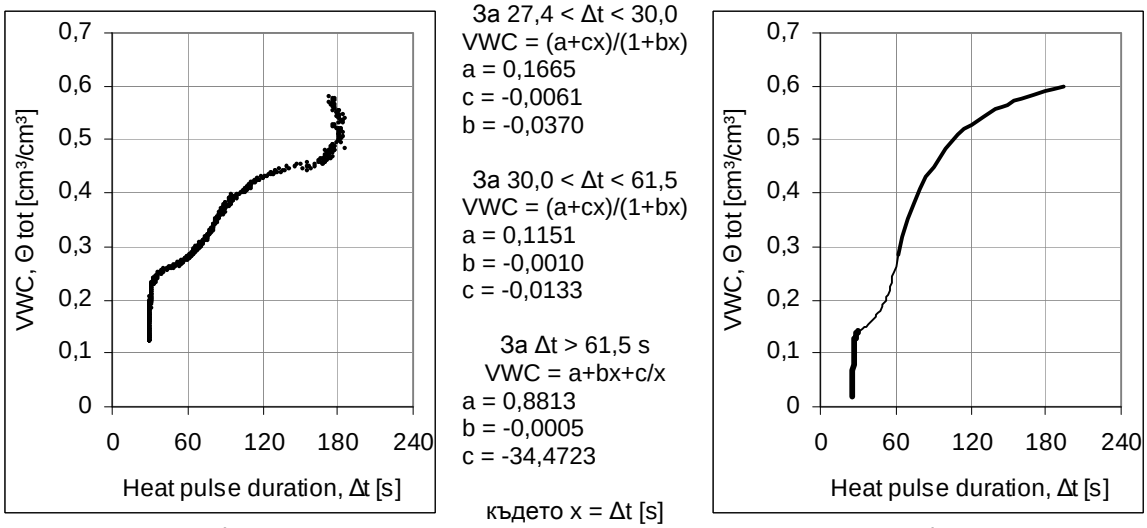
На фигура 1 са показани външният вид на датчика и техническите условия за калибриране. Основните характеристики на проектирания датчик са:

- Дължина на активната част – *31 mm*;
- Диаметър на активната част – *5 mm*;
- Нагревателен елемент – резистор *100 Ω, 0,1%, 1 W, 50 ppm/ºC*;
- Захранване на нагревателя – *I = 0,10 A stab.*;
- Температурен датчик – *DS18B20, MAXIM, 12 bit 1-Wire Digital Thermometer*;
- Устойчивост – херметизиран, антикорозионно покритие;
- Софтуер – управлява нагревателя, измерва *T*, *t*, изчислява *Θ*;




Фигура 1. Външен вид и размери на датчика за обемна влажност на субстрата и лабораторните измервания на текущата маса на изсъхващия субстрат по време на калибровъчната процедура

Калибровъчната процедура на датчика включва съд с размери *ДхШхВ 134x134x56 mm*, в който е насипан и уплътнен субстрат „*Балканин*“ с фракционен състав *1,5÷2,0 mm* и обемна хигроскопична влажност *7,1%*. Добавена е вода до насищане *489,2 ml*, а изчислената обемна влажност при насищане е $\Theta = 0{,}578\ cm^3/cm^3$. Субстратът е оставен да изсъхва свободно от горната повърхност на съда до достигане на равновесна хигроскопична влажност. Резултатите са представени на фигура 2.



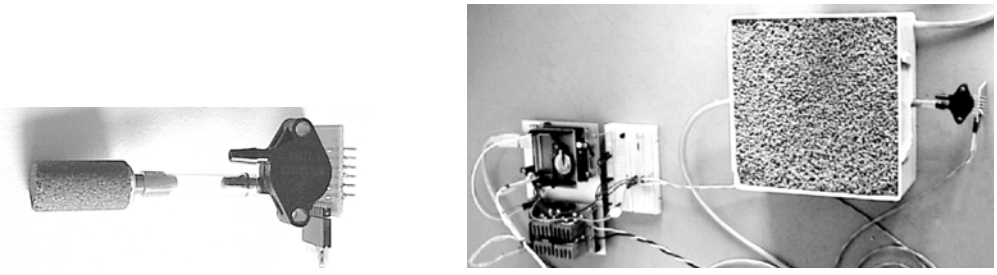

а) б) в)

Фигура 2. а) Резултати от двукратно измерване ( 2 x 24 дни) на продължителността на топлинния импулс на датчика и текущата обемна влажност на субстрата; б) Уравнения на преобразуване на продължителността на топлинния импулс *Δt [s]* в обемна влажност $\Theta\ [cm^3/cm^3]$ за три участъка от характеристиката; в) графичен вид на калибровъчната крива на датчика

Трите уравнения от фигура 2.б. са въведени в програмата за изчисляване на текущата стойност на обемната влажност $\Theta$ (*VWC*) [$cm^3/cm^3$] от измереното време *Δt* [s].

*Тензиометричен датчик за матричен потенциал*

Проектираният тензиометричен датчик е представен на фигура 3.



Фигура 3. Външен вид на тензиометричния датчик за матричен потенциал и експериментална постановка за определяне на *ОХФХ* на субстрат „*Балканин*“ (поглед отгоре)

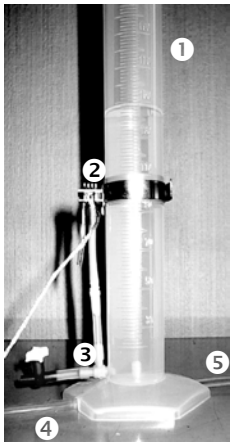
Използвани са следните възли и материали: електронен диференциален преобразувател на налягане – *MPX5010 (Freescale Semiconductor)*, диапазони на измерване – ±10 kPa и уравнение на преобразуване *matric_potential = (ADC / 204,80-0,184) / 450 * 1000 [kPa]*;

тръбопровод; тензиометрична чаша от пореста керамика с диаметър на порите около *100 μm* с „*air-entry value*“ около *30 cm* воден стълб (*3 kPa*).

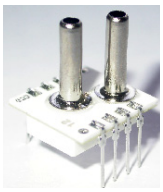
Обемът на преобразувателя, тръбопроводът и тензиометричната чаша са напълнени с дегазирана дестилирана вода. Датчиците за водно съдържание и за матричен потенциал са монтирани срещуположно и на една височина в обема на субстрата. Вляво е разположен електронен блок, съдържащ микроконтролера и автономно захранване.

*Дозатор на вода за поливане. Блокова схема*

На фигура 4 са представени дозаторът на вода, използващ електронен преобразувател на налягане, опис на използваните елементи и схема на свързване на дозатора.




1. Мензура *250 ml*.
2. Датчик: *SPD102, SMARTEC*



Уравнения на преобразуване:
*height = ((ADC/204.80-2.88)/1,9*100)*
*water_volume = $K_{form}$(h).height*
3. Вход на датчика за налягане.
4. Изход към ВС.
5. Вход от резервоара.



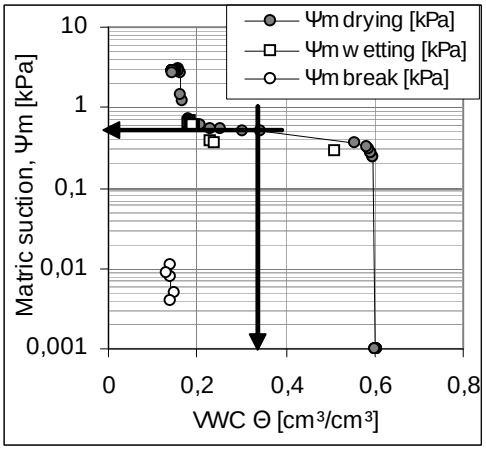

Фигура 4. Дозатор на вода с описание на отделните възли и схема на свързване на дозатора към системата за напояване на кореновия модул ВС на оранжерията

*Микроконтролерна платформа за събиране на данни и управление*

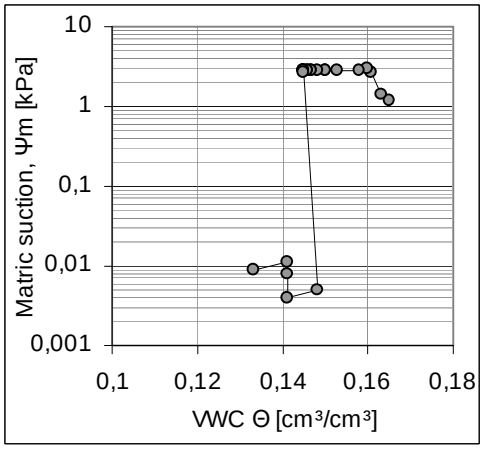
За събиране, обработване и съхранение на данните от датчиците, за управление на изпълнителните механизми и визуализиране на текущите данни е използван микроконтролер тип *Arduino*. Съставена е програма, с помощта на която микроконтролерът може да работи самостоятелно, без връзка с външен компютър.

**Резултати**

На фигура 5 са представени данните от двата датчика за измерване на водното съдържание *Θ* и на матричния потенциал $\Psi_m$ на субстрата.




а)

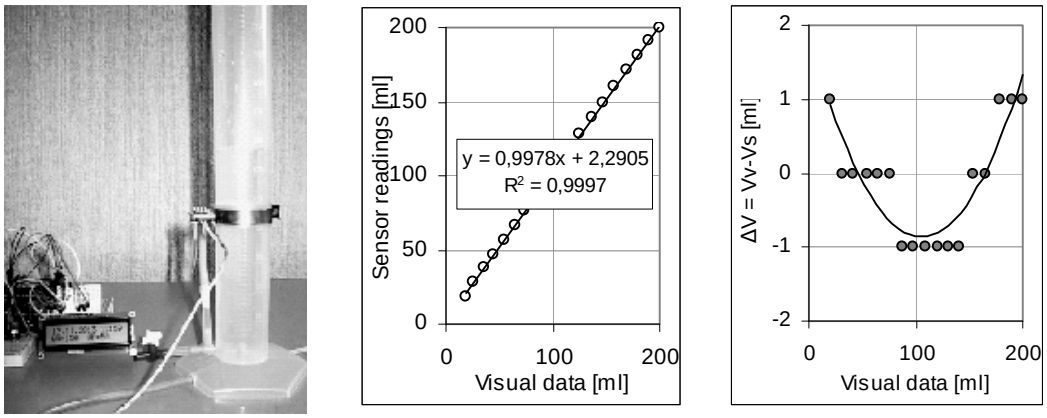



б)

Фигура 5. а) По данните от датчиците за водно съдържание и матричен потенциал е построен работният участък на *ОХФХ*, на който със стрелки са посочени водното съдържание *ППВ (Θ=0,35)* и съответстващият воден потенциал *Ψ=0,5 kPa*; б) При достигане на матричен потенциал около *3 kPa*, водната връзка се запазва за *16-20 часа*, след което настъпва необратимо прекъсване

Получената *ОХФХ* описва целия диапазон влажности от насищане до хигроскопична влажност на въздушно-сухия субстрат *„Балканин“*. Регистриран е хистерезисът в характеристиката при изсушаване и омокряне на субстрата, типично наблюдаван при зеолитите. При достигане на матричния потенциал до около *3 kPa*, който съответства на „*air entry value*“ на порестата чаша на тензиометъра, сигналът от тензиометъра преминава в насищане за около *16÷20 часа*. След това време водната връзка между субстратните пори и порите на керамичната чаша се прекъсва (фигура 5.б).

*Дозатор на вода: характеристики*




а) б) в)

Фигура 6. а) Лабораторна постановка за определяне на предавателната характеристика и точността на дозиране; б) Определяне на точността на преобразуване чрез десетократно измерване на диапазона на дозиране; в) Определена е максимална грешка на отчитане *±1 ml*

Основните характеристики на дозатора при автоматично запълване на обем *200 ml* и програмирано изпразване чрез различни по обем дози, са следните: 1) Максимално количество вода *200±1 ml*; 2) Управляеми дози (*10÷180)±1 ml*; 4) Автоматично напълване до *200±1 ml*. Отчетената нелинейност на характеристиката от *±1%FS* (фигура 6.в.) е в рамките на каталожната нелинейност на преобразувателя на налягане от *±2,5%FS*. Автоматичното запълване на обема на дозатора става по команда от микроконтролера, който отчита оставащото количество вода в резервоара и количеството вода в зададената доза.

**Заключение**

Разгледани са особеностите на субстратите, създадени за работа в микрогравитация и особеностите на тензиометричните датчици при дълговременна работа. Изказано е предположение, че при работа с влажност на субстрата около пределната почвена влагоемност може да се използва пореста керамика за чувствителния елемент на тензиометъра с диаметър на порите около *100 μm*. За проверка на хипотезата бяха проектирани и калибрирани датчик за водно съдържание и тензиометър за матричен потенциал на субстрат „*Балканин*“ за дълговременни експерименти без текущо обслужване. Беше снета работната част на *ОХФХ* с помощта на двата датчика. Проектиран и калибриран е дозатор на вода за програмно напояване на субстрати в лабораторни условия на основата на електронен датчик за налягане.

**Литература:**


1. Bingham, G. E., S. B. Jones, D. Or, I. G. Podolskiy, M. A. Levinskikh, V. N. Sytchov, T. Ivanova, P. Kostov, S. Sapunova, I. Dandolov, D. B. Bubenheim, and G. Jahns., 1999, Microgravity effects on water supply and substrate properties in porous matrix root support systems. Acta Astronautica, 2000, 47(11): pp. 839-848.
2. Young, M. H., J. B. Sisson, 3.2.2 Tensiometry, chapter in Book: Methods of Soil Analysis, Part 4 - Physical Mathods, SSSA Book Series 5.4, 2002.
3. Kostov, P., Heat-Pulse Soil Moisture Probes for Space Plant Growth Systems, SES 2012, Eighth Scientific Conference with International Participation, Space, Ecology, Safety, 4-6. 12. 2012, Sofia, Bulgaria, Proceedings, 2013, p. 250.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗПОЛЗВАНЕТО НА БЛОК ЗА ОСВЕТЛЕНИЕ НА СВЕТОДИОДИ В ЛАБОРАТОРНИ УСЛОВИЯ ЗА ОТГЛЕЖДАНЕ НА ЛИСТНА ЦИКОРИЯ

**Илияна Илиева, Йордан Найденов**

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

***Ключови думи:*** *Космическа оранжерия, светодиодно осветление, листна цикория*

***Резюме:*** *Блоковете за осветление (БО) се явяват критичен компонент на космическите оранжерии. Те трябва да отговарят както на физиологичните потребности на растенията – пригодност на генерираната от тях изкуствена светлина за поддържане на нормални за жизнената дейност фотосинтетичните процеси, така и на редица специфични за космическата апаратура технически изисквания. Към първото се отнасят характеристики, пряко свързани с параметрите на излъчваната светлина: възможност за динамично вариране на количеството и качеството на светлинния поток в зависимост от физиологичното състояние и стадия на растеж и развитие на растенията. Към второто спадат изисквания към енергоемкостта на блока, надеждността и безопасността на съставните му елементи, електромагнитната съвместимост, възможността за ръчно поемане на управлението и регулиране на работата му от екипажа в случай на нещатна ситуация, и много други.*

*В настоящата статия се разглеждат резултати от наземни лабораторни биотехнологични и технически изпитания на два блока за осветление, разработени за Космическа оранжерия (КО) Свет. Като моделно растение е използвана листна цикория (Cichorium intybus L. subsp. intybus). Целта на експериментите е дефиниране на границите на оперативен режим за БО на светодиоди, които да се използват реално в бордови КО. Резултатите от експериментите показаха, че всеки един от двата основни светлинни параметъра – спектрален състав и плътност на фотосинтетичния фотонен поток, може да бъде компенсиран в определени граници чрез вариране на другия, което дава възможност за вземане на гъвкави решения при конструирането на БО, така че да се постигне баланс между изискванията на растенията и ограниченията на бордовата апаратура.*

# RESULTS OF USING LED LIGHT UNIT FOR LEAF CHICORY CULTIVATION IN CONTROLLED ENVIRONMENT

**Iliana Ilieva, Yordan Naydenov**

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

***Keywords:*** *Space Greenhouse (SG), LED lighting, leaf chicory*

***Abstract:*** *Crucial component of each Space Greenhouse is its Light Unit (LU). It must both satisfy the plant physiological requirements by irradiating artificial light capable to sustain a steady photosynthesis for active growth and development, as well as be fully compliant with the technical constraints of a space flight qualified device. The former is achieved by means of dynamically varying the spectral composition and intensity of the light flux in response to the current plant physiological status, growth stage and phase of development. The design and implementation constraints are related to power consumption, reliability and safety issues, electro-magnetic compatibility, and many more.*

*This article summarizes the results obtained during several ground experiments in a controlled environment with the use of two LUs developed for Space Greenhouse (SG) Svet. A cultivar of leaf chicory (Cichorium intybus L. subsp. intybus) is used as a model plant. The primary aim was to define a range of operation for LU on light-emitting diodes (LEDs) that is appropriate for use in on-board SGs. Results showed that the two physiologically most important light parameters – spectral composition and photosynthetic photon flux density, could*

*interchangeably vary in given limits so that the unfavourable levels of one to be compensated by the value of other. This parameter trade-off could reconcile the stringent LU on-board design constraints with the demanding LU operational requirements imposed by the plants.*

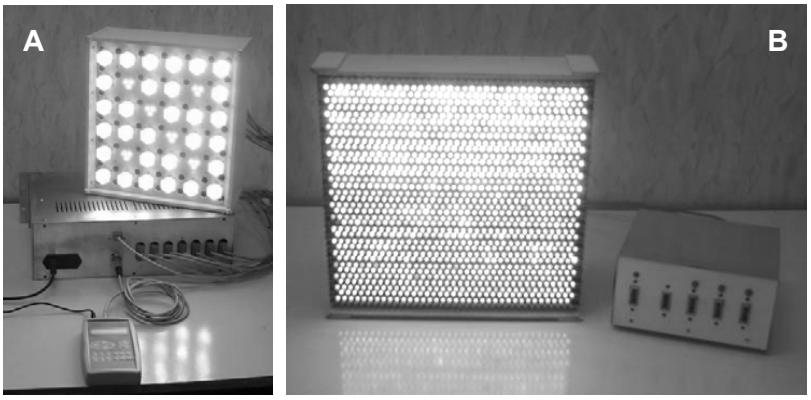
**Въведение**

Ключов елемент в конструкцията на Космическите оранжерии (КО) е Блокът за осветление (БО), тъй като това е най-енергоемкият конструктивен елемент. Енергията е ресурс, който е ограничен в космически условия, поради което през последните години като перспективен източник на светлина за конструирането на БО се наложиха светодиодите. Ниската консумацията на енергия, малките размери, продължителният период на експлоатация, голяма надеждност и безопасност при работа са само част от характеристиките на светодиодите, които им осигуриха предимство пред останалите изкуствени източници на светлина [1,2]. Конструираните досега БО на светодиоди тествани в реални космически условия (на американските космически совалки – Astroculture [3] и на Международната космическа станция – Advanced Astroculture [4]) съдържат червени и сини светодиоди, които са достатъчни за протичането на фотосинтезата и за нормалната морфогенеза на растенията, но много наземни изследвания показаха, че добавянето и на зелена светлина в спектъра оказва положително влияние върху растежа и развитието на растенията [5,6].

Блок за осветление на мощни сини, зелени и червени светодиоди (БО-LED) беше разработен за Космическа оранжерия СВЕТ (КО СВЕТ) с цел да замени БО на флуоресцентни лампи [7]. Разработен беше и втори блок – БО-LED-М на нискоенергийни светодиоди, който лесно може да бъде мултиплициран за вграждане в оранжерии с по-голяма площ [8].

БО-LED съдържа 108 мощни светодиода разположени в 36 спота (по 3 броя светодиоди на спот) с максимум на излъчване в следните области на спектъра: червена - 632 nm, зелена - 525 nm и синя - 468 nm (фиг. 1-А). Управлението на блока се извършва чрез DMX програматор, позволяващ индивидуален контрол на всеки цвят светодиоди и задаване на спектрален състав и интензитет на светлината в широк диапазон, което значително разширява възможностите за изследвания [9].

БО-LED-М (Фиг.1-В) съдържа общо 1332 светодиода разположени в 37 реда (по 36 на ред) - 20 червени (630 nm), 8 зелени (525 nm), 7 сини (468 nm) и 2 бели. Белите светодиоди са добавени за да се улесни наблюдението и фотографирането на растенията. Максималният интензитет на светлината, който може да се постигне е 144 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ при спектър 50:15:35 % R:G:B, следователно възможността за вариране на спектъра и интензитета е значително ограничена.




Фиг. 1. А – Блок за осветление БО-LED; В – Блок за осветление БО-LED-М

Дефинирането на границите на оперативен режим на БО на светодиоди, както и уточняването на конструкцията, броя и мощността на светодиодите са само част от задачите изискващи продължителни изследвания с различни растения за да бъдат определени.

Цел на настоящата статия е да обобщи получените резултати от експериментите с растението листна цикория, изследвали различни аспекти на влияние на интензитета и спектралния състав на RGB светлината, емитирана от БО-LED и БО-LED-М.

**Методология на изследванията**

Към БО на светодиоди се поставят редица изисквания: осигуряване на светлина с интензитет 350-400 μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$ и възможност за задаване на различни спектри; възможност за спектри, в които червената, зелената и синята светлини да са съответно: 0 – 100%, 0 – 20%, 0 – 50%; автоматично управление на спектъра, интензитета и фотопериода на светлината; конструиране на БО като отделни модули, които лесно да се мултиплицират и да образуват по-голям БО за вграждане в оранжерия с по-голяма площ [10].

Влиянието на параметрите на светлината (спектър и интензитет) може да бъде определено чрез измерване на хлорофилната флуоресценция. Съществуват три начина за усвояване на погълнатата светлина от листата на растенията: 1) Светлинната енергия възбужда хлорофилните молекули във Фотосистема II и се превръща в химична енергия в процеса фотосинтеза (фотохимия). Но ако фотохимия е неефективна, излишната енергия може да доведе до увреждане на растенията, следователно: 2) Погълнатото по-голямо количество светлинна енергия може да бъде отдадено на околната среда под формата на топлина - като този процес се отчита чрез добива на показателя не-фотохимично гасене (NPQ), или 3) излъчено под формата на светлина с по-голяма дължина на вълната - хлорофилна флуоресценция. Тези три процеса се конкурират помежду си – ако добивът на който и да е от тях се повиши, то добивът на другите два се понижава, следователно, чрез измерване на количеството на хлорофилната флуоресценция ефективността на фотосинтезата може да бъде оценена [11]. При проведените експерименти са изследвани активността на Фотосистема II - $\Phi_{PS2}$ и показателя NPQ.

Проведени бяха два модула от експерименти:

1) Изследване влиянието на силен и два пъти по-слаб интензитет светлина при фиксиран спектър – 400 и 200 μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$ при спектър 70:20:10 % R:G:B, и 288 и 144 μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$ при спектър 50:15:35 % R:G:B. В Таблица 1 са дадени данните за интензитета (в μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$) на отделните RGB светлини;

2) Изследване влиянието на съотношението на зелената към синята светлина при интензитет на светлината 220 μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$, като спектърът е с постоянен дял на червената светлина (70%), а съотношението на зелената към синята светлина се променя съответно **2:1** (20% зелена и 10% синя светлина) и **1:2** (10% зелена и 20% синя светлина). В Таблица 2 са дадени данните за интензитета (в μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$) на RGB светлината при съответните съотношения.

Растенията са отгледани в лабораторния макет на КО Свет в контролирана лабораторна среда при: температура – 18-20°C, относителна влажност на въздуха – 60-70% и фотопериод – 16h ден / 8h нощ.

**Резултати**

*Влияние на интензитета на светлината при различни спектри*

Резултатите за $\Phi_{PS2}$ и NPQ (Таблица 1) показаха по-добри фотосинтетични характеристики за растението листна цикория, както при по-ниския интензитет на светлината – 220 μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$, в сравнение с 400 μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$ при спектър 70:20:10 % RGB, така и при по-високия интензитет – 288 μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$, в сравнение с 144 μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$ при спектър 50:15:35 % RGB.

Таблица 1. Интензитет на отделните светлини в спектъра на RGB светлина с различен интензитет

| **Интензитет на светлината [μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$]** | **R:G:B Спектър [%]** | **Интензитети на отделните светлини [μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$]** | | | **Съотношение G:B** | **$\Phi_{PS2}$** | **NPQ** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **R** | **G** | **B** | | | |
| 400 | 70 : 20 : 10 | 280 | 80 | 40 | 2 : 1 | 0,188 ± 0,010 | 1,125 ± 0,020 |
| 220 | 70 : 20 : 10 | 154 | 44 | 22 | 2 : 1 | 0,300 ± 0,010 | 1,100 ± 0,040 |
| 288 | 50 : 15 : 35 | 144 | 44 | 100 | 1 : 2.3 | 0,353 ± 0,010 | 1,050 ± 0,050 |
| 144 | 50 : 15 : 35 | 72 | 22 | 50 | 1 : 2.3 | 0,154 ± 0,010 | 1,380 ± 0,070 |

Тези резултати показват, че всеки един от двата основни светлинни параметъра – спектрален състав и плътност на фотосинтетичния фотонен поток, може да бъде компенсиран в определени граници чрез вариране на другия, което дава възможност за вземане на гъвкави решения при конструирането на БО, така че да се постигне баланс между изискванията на растенията и ограниченията на бордовата апаратура.

*Влияние на съотношението зелена / синя светлина*

Фотосинтетичните характеристики на растенията при съотношение 1:2 зелена/синя светлина са по-добри, определени въз основа активността на Фотосистема II – $Ф_{PS2}$. При този спектрален състав светлината индуцира и по-слаба фотозащита, отчетена чрез по-ниското ниво на показателя Нефотохимично гасене – NPQ (Таблица 2).

Таблица 2. Интензитет на отделните светлини в спектъра на RGB светлина с различен интензитет

| **Интензитет на светлината [μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$]** | **R:G:B Спектър [%]** | **Интензитети на отделните светлини [μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$]** | | | **Съотношение G:B** | **$Ф_{PS2}$** | **NPQ** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **R** | **G** | **B** | | | |
| 220 | 70 : 20 : 10 | 154 | 44 | 22 | 2 : 1 | 0,300 ± 0,010 | 1,100 ± 0,040 |
| 220 | 70 : 10 : 20 | 154 | 22 | 44 | 1 : 2 | 0,517 ± 0,014 | 0,715 ± 0,220 |

Полученият 2 пъти по-слаб интензитет на фотосинтезата при спектър със съотношение зелена / синя светлина 2:1 при растение *Cichorium intybus* насочват вниманието към внимателен подбор на съдържанието на зелена светлина в спектъра на светодиодното осветление при отглеждането на растения в контролирани условия, тъй като могат да се отключат нежелани физиологични ефекти. Взаимодействие между зелената и синята светлина изразяващо се в реверсивно влияние на зелената светлина върху индуцирано от синята светлина отваряне на устицата при редица едносемеделни и двусемеделни растения е наблюдаваното от Talbot *et al.* [12], като зелената светлина **не** индуцира наблюдавания ефект самостоятелно, а само в присъствието на синя светлина, и максимална реверсия се постига при съотношение на зелена към синя светлина 2:1.

**Благодарности**

Авторите на статията изказват своята благодарност към доц. д-р Детелин Стефанов и доц. д-р Венета Капчина – Биологически факултет, СУ "Св. Климент Охридски"; доц. д-р Николина Цветкова – Лесотехнически университет, София; проф. д-р Снежана Дончева, гл. ас. д-р Веселина Ненова и химик Емилия Гешева – Институт по физиология на растенията и генетика, БАН; Димитър Димитров – фирма ХАРДСОФТДИЗАЙН; Светослав Чакъров и Петко Лаков.

**Литература:**

1. Barta, D. J., T. W. Tibbitts, R. J. Bula, 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Kim, H-H., G. D. Goins, R. M. Wheeler, J. C. Sager. Green-light Supplementation for Enhanced Lettuce Growth under Red- and Blue-light-emitting Diodes, *HortScience,* 2004, Vol. 39, No. 7, pp. 1617-1622.
6. Folta, K. M., S.A. Maruhnich. Green light: A signal to slow down or stop. *Journal of Experimental Botany*, 2007, Vol. 58, pp. 3099-3111.
7. 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*, Vol. 23, 2009, pp. 85-102.

8. Ilieva, I., Y. Naydenov, T. Ivanova, I. Dandolov, D. Stefanov, E. Gesheva. Morphometrical Characteristics and Photosynthetic activIty of Radicchio under RGB LED Lighting, *Proceedings of the Seventh Scientific Conference with International Participation "Space, Ecology, Safety" (SES 2011),* 29 November - 1 December 2011, Sofia, Bulgaria, 2012, pp. 119-124.
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., V. Sychev. Project "Greenhouse - Mars" - Plant Growth Study With Different Spectra Leds Light Units, *Proceedings of the Second Scientific Conference with International Participation "Space, Ecology, Nanotechnology, Safety" (SENS 2006),* 14 – 16 June 2006, Varna, Bulgaria.
11. Maxwell, K., G. N. Johnson. Chlorophyll Fluorescence – a Practical Guide, *Journal of Experimental Botany*, 2000, Vol. 51, No. 345, pp. 659-668.
12. Talbott, L. D., G. Nikolova, A. Ortiz, I. Shmayevich, E. Zeiger. Green Light Reversal of Blue-light-stimulated Stomatal Opening is Found in a Diversity of Plant Species, *American Journal of Botany*, 2002, Vol. 89, No. 2, pp. 366-368.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT COIL SYSTEMS USED FOR CALIBRATION OF MAGNETOMETERS

**Boyan Benev, Alexey Stoev, Penka Stoeva**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: b_benev@mail.bg; stoev52@abv.bg; penm@abv.bg*

***Keywords:*** *Magnetic field, coil systems, Monte Carlo simulation*

***Abstract:*** *In this study we address some aspects of the theoretical model, configuration and requirements to practical realization of coil systems, utilized to create a homogeneous magnetic field used for magnetometers calibration. This analysis is applied to two different types of discrete magnetic coil systems with two ( Helmholtz coils ), three and four coils, with round and square shapes. It is also applied to solenoids with a different number of windings and a different diameter-to-the-length ratio. Monte Carlo methods have been used for varying mechanical parameters of the coil systems and analyzing uniformity of the magnetic field in a three-dimensional central zone with different sizes. It is shown that the achievement of the magnetic field with extremely high homogeneity ( $>10^5$ ) depends not only on coil system configuration ( number of coils, size and current ratio ), but is especially sensitive to the mechanical precision of specific implementation design.*

# СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА РАЗЛИЧНИ БОБИННИ СИСТЕМИ ИЗПОЛЗВАНИ ЗА КАЛИБРОВКА НА МАГНИТОМЕТРИ

**Боян Бенев, Алексей Стоев, Пенка Стоева**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: b_benev@mail.bg; stoev52@abv.bg; penm@abv.bg*

***Ключови думи:*** *Магнитно поле, бобинни системи, Монте Карло симулация*

***Резюме:*** *В тази работа са разгледани някои аспекти от теоретичния модел, конфигурацията и изискванията към практическата реализация на бобинни системи за генериране на хомогенно магнитно поле, използвани при калибровката на магнетометри. Настоящият анализ е приложен за два различни типа от дискретни бобинни системи с две (бобини на Хелмхолц), три и четири намотки, както с кръгла така и с квадратна форма. Разгледани са и соленоиди с различно число на намотките и с различно отношение на дължината към диаметъра. Използвани са методи на Монте Карло симулация за варирани на механичните параметри на бобинните системи и е анализирана хомогенността на магнитното поле в триизмерна централна зона с различни размери. Показано е, че постигането на магнитно поле с екстремално висока степен на еднородност ( $>10^5$ ) зависи не само от конкретната конфигурация на бобинната сисема (броя намотки, размера и отношението на токовете), а е особенно чувствително към механичната точност на конкретната реализация.*

## Introduction

Producing of magnetic fields with a high homogeneity in a given volume of space is related to many problems in different scientific areas. Solenoids, usually cylindrical in shape, or systems of discrete coils are used in generation of such fields [1] [2] [3]. The analysis of the homogeneity of the field was made by a number of authors [3] [4] [6] and the common between their works is purely theoretical approach covering only idealized coil systems with exact parameter values. Based on the fact that the construction of such a system is involved with overcoming of many difficulties of mechanical and structural nature, it is important to study the sensitivity of such systems to the mechanical precision and the ability of achieving fields with predetermined degree of homogeneity in a

3D region of space. One possible solution to the above problem is demonstrated in this work. The results presented here are connected to particular application of such coil systems, namely their use in the calibration of magnetometers.

### Method description

Using the analytical solution for the components of the magnetic field vector in the case of circular current loop [6] and square current loop [7], we construct a numerical model of the distribution of the magnetic field in the three-dimensional central zone, defined in the case of a circular coil system as a cylinder coaxial to the axis of symmetry with a diameter equal to its height and as a cube in the case of square coil system. As a measure of the field homogeneity in the central zone we take the reciprocal of the maximum relative deviation of the magnetic vector in that zone. The deviation value is determined by calculating the difference in magnitude of the magnetic vector in 1000 different points, distributed uniformly throughout the whole zone with that in the central point of symmetry and divided by the same central point magnitude. Finally, we take the maximum of these 1000 values. The next step consists in finding the relationship between the homogeneity of the field and the mechanical precision of the coil system parameters using Monte Carlo simulation. The dimensions of the individual coils and the distance between them is varied within certain limits by addition of the normally distributed random variables with a given dispersion to the exact system parameters values and finding the homogeneity of the field in the central zone. All calculations are made using C# programming language.

### Results

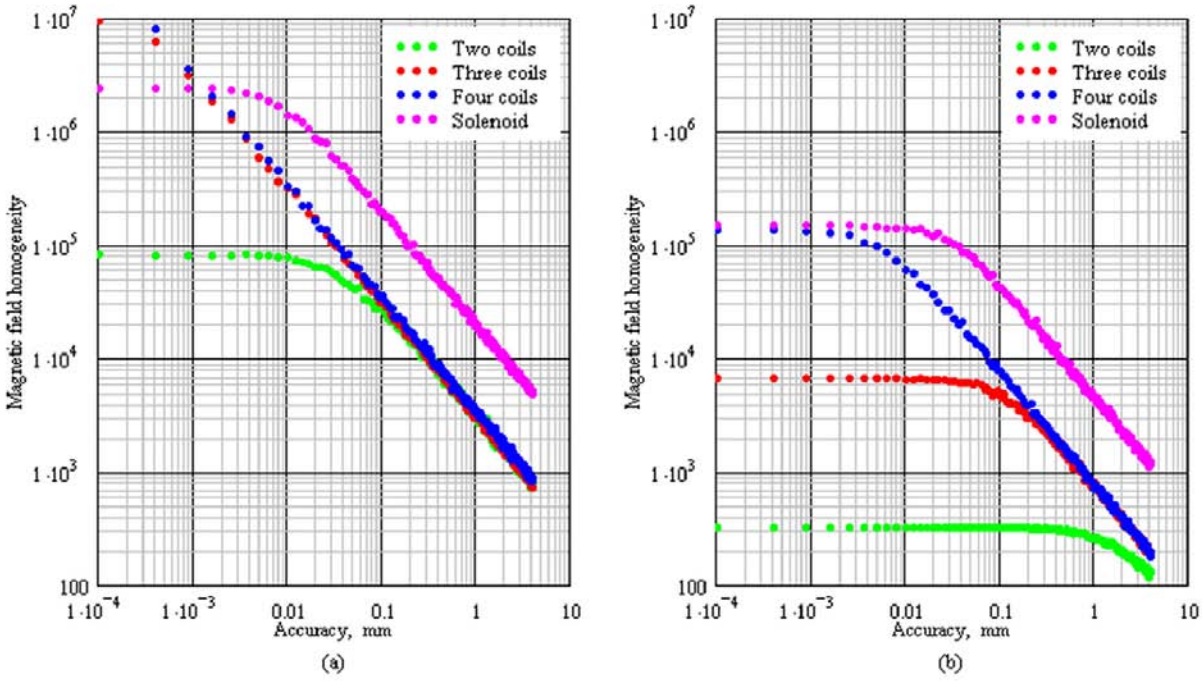



Fig. 1. Magnetic field homogeneity in the central cylindrical zone as a function of the mechanical accuracy in the case of circular coils with 500 mm diameter and 1000 windings solenoid with diameter-to-the-length ratio of 1:10 and 500 mm diameter. Zone size is 25 mm (a) and 100 mm (b) respectively.

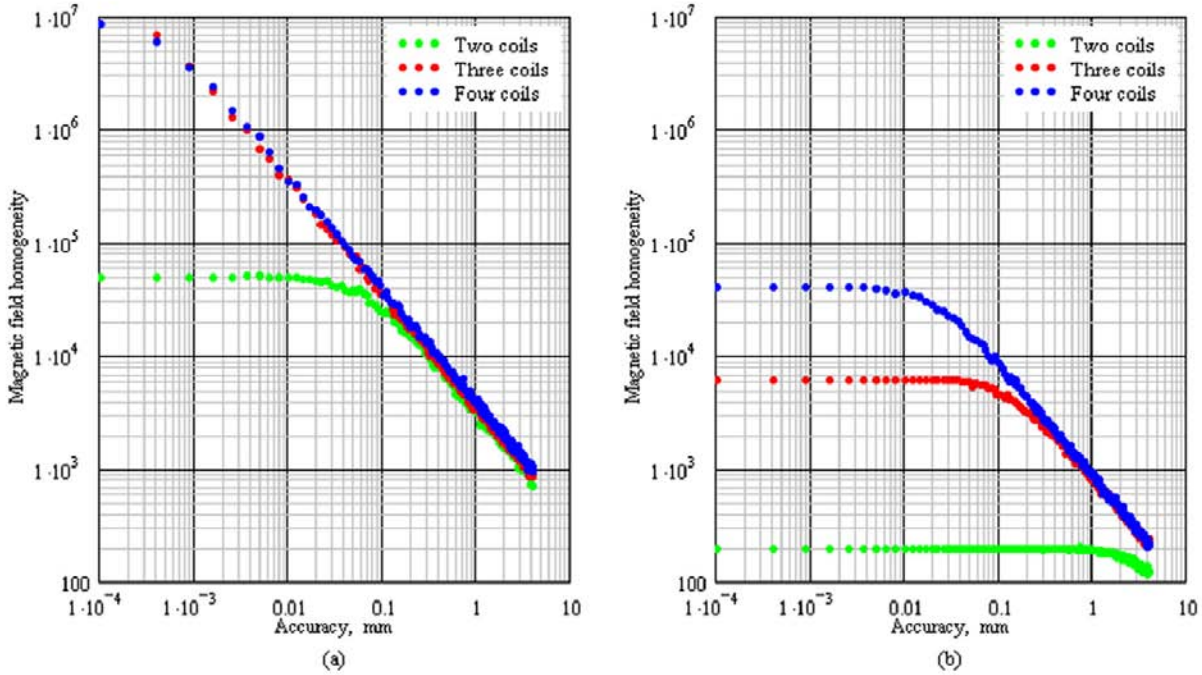



Fig. 2. Magnetic field homogeneity as a function of the mechanical accuracy in the case of square coils with side length 500 mm, in the central cubic zone with size 25 mm (a) and 100 mm (b).

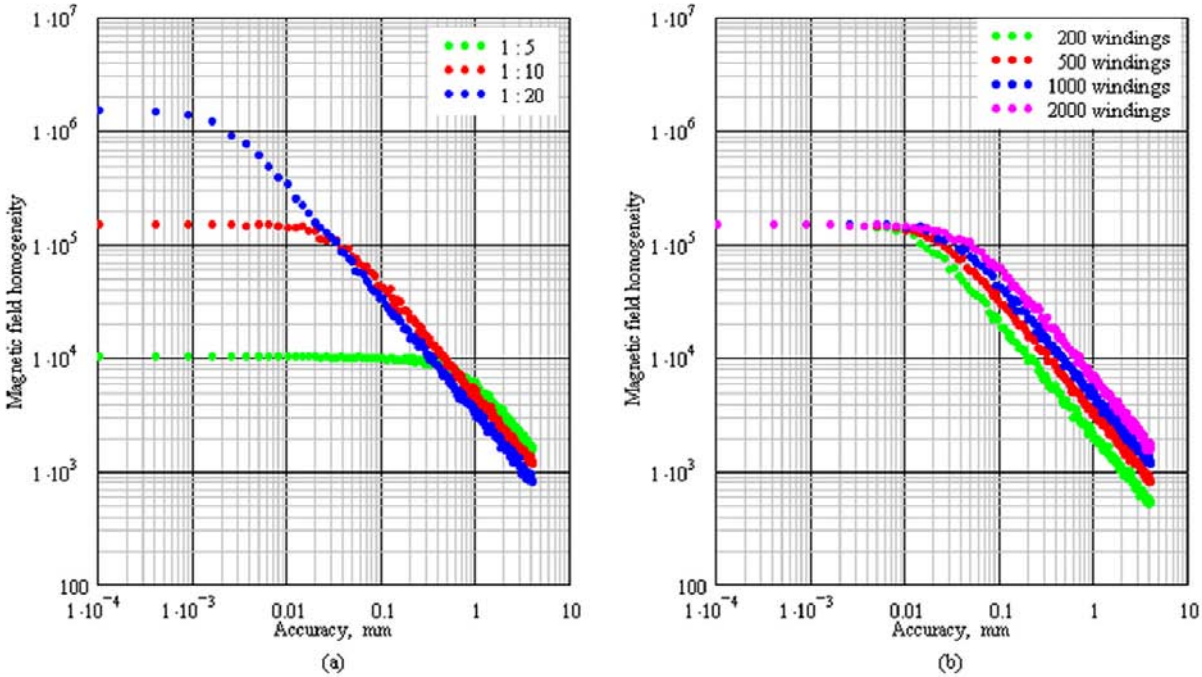



Fig. 3. Magnetic field homogeneity as a function of the mechanical accuracy in the case of circular solenoids with 1000 windings of 500 mm in diameter and different diameter-to-the-length ratio (a) and solenoids with diameter 500 mm, diameter-to-the-length ratio 1:10 and different number of windings (b). Zone size is 100 mm.

**Discussion and conclusions**

From the demonstrated results the following observations can be made:

- In the case of coil systems with dimensions about 1 m and with reasonably achievable mechanical accuracy of about 0.1 mm, when the size of the central zone is relatively small, the systems with three or more coils have not advantages over the classical two-component Helmholtz coil system. If the central zone is larger, three and four component systems are an

order of magnitude better than that of Helmholtz. Moreover, a four-component system does not have big advantages over the systems with three coils.

- Using the solenoid with diameter-to-the-length ratio of at least 1:10 gives results one order of magnitude better than discrete coil systems under the same conditions.
- The homogeneity of the field generated by the solenoid is highly dependent on the diameter-to-the-length ratio ( for achieving a field homogeneity of $10^5$ and more, it should be at least 1:10 ) than on the number of solenoid windings.

As a final conclusion we can state that absolute calibration of the magnetometer with accuracy <1 nT requires magnetic fields with a high degree of homogeneity ( $>10^5$ ) and using a solenoid with diameter-to-the-length ratio at least of 1:10 provides result of the order of magnitude more accurate compared to the discrete coil systems case. Nevertheless, the calibration of the magnetometers with such a high degree of accuracy is a really challenging task.

**References:**


1. Merritt, R., C. Purcell and G. Strolnk, “Uniform magnetic field produced by three, four, and five square coils”, *Review of Scientific Instruments*, vol. 54, no. 7, pp. 879-882, 1983.
2. Alldred, J. C. and I. Scollar, “Square cross section coils for the production of uniform magnetic fields”, *Journal of Scientific Instruments*, vol. 44, no. 9, pp. 755-760, 1967.
3. Kirschvlnk, J. L., “Uniform magnetic fields and double-wrapped coil systems: Improved techniques for the design of bioelectromagnetic experiments”, *Bioelectromagnetics*, vol. 13, no. 5, pp. 401-411, 1992.
4. Magdaleno-Adame, S., J. C. Olivares–Galvan, E. Campero–Littlewood, R. Escarela–Perez and E. Blanco-Brisset, “ Coil Systems to Generate Uniform Magnetic Field Volumes”, *Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference*, 2010, Boston.
5. Kedzia, P., T. Czechowski, M. Baranowski, J. Jurga and E. Szczesniak, “Analysis of Uniformity of Magnetic Field Generated by the Two-Pair Coil System”, *Applied Magnetic Resonance*, vol. 44, pp. 605–618, 2013.
6. Simpson, J., J. Lane, C. Immer and R. Youngquist, “Simple Analytic Expressions for the Magnetic Field of a Circular Current Loop”, *NASA Technical Documents*, 2001.
7. Misakian, M., “Equations for the Magnetic Field Produced by One or More Rectangular Loops of Wire in the Same Plane”, *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology,* vol. 105, no. 4, pp. 557-564, 2000.

# REGENERATION OF THE ENERGY OR BASICS OF THE REGERATIVE ENERGETICS

**Plamen Arapchev**

*Institute of Metal Science – Bulgarian Academy of Sciences*

***Abstract**: Reviewed some possibilities for multiple use of energy. There are given also some calculations and some experimental circuits and results from some laboratory experiments.*

# РЕГЕНЕРАЦИЯ НА ЕНЕРГИЯТА ИЛИ ОСНОВИ НА РЕГЕНЕРАТИВНАТА ЕНЕРГЕТИКА

**Пламен Арапчев**

*ИМСТЦХ – Българска академия на науките*

***Резюме:** Разгледана е възможността за няколкократно използване на една и съща енергия. Направени са теоретични пресмятания, които са послужили за създаване на лабораторен модел "Регенератор на електрическа енергия". Разгледана е работата на модела в различни режими, както и възможни приложението на регенерацията в системи за защита на населението*

## Introduction

*What is regeneration of energy - using the same energy several times.*
*Conditions for the existence of regeneration - 1. Energy storing element and 2. Energy.*
*Examples: In metallurgy - air heater. In mechanics - flywheel. In electrical engineering - capacitor.* The oldest device - more than one hundred years old - a regenerative heat exchanger, or more commonly the regenerator, is the type of heat exchanger where heat from the hot fluid is intermittently stored in a thermal storage medium before it is transferred to the cold fluid. To accomplish this, the hot fluid is brought into contact with the heat storage medium, and then the fluid is displaced with the cold fluid, which absorbs the heat. In regenerative heat exchangers, the fluid on either side of the heat exchanger can be the same. The fluid may go through an external processing step, and then it is flowed back through the heat exchanger in the opposite direction for further processing. Usually the application will use this process cyclically or repetitively. Regenerative heating was one of the most important technologies developed during the Industrial Revolution when it was used in the hot blast process on blast furnaces. It was later used in glass and steel making, in high pressure boilers and chemical and other applications, where it continues to be important today. For living proof about higher economical effect. [http://en.wikipedia.org/wiki/Cowper]

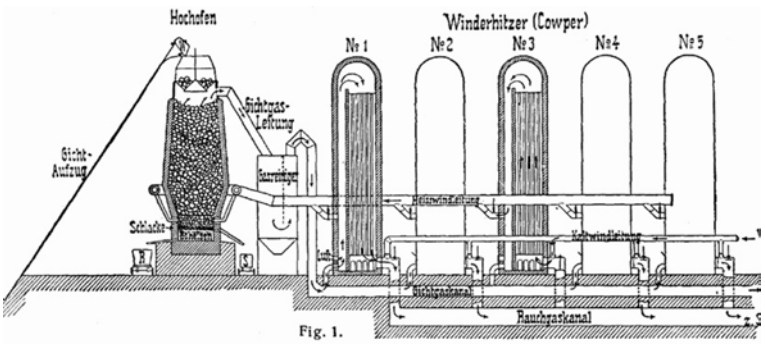
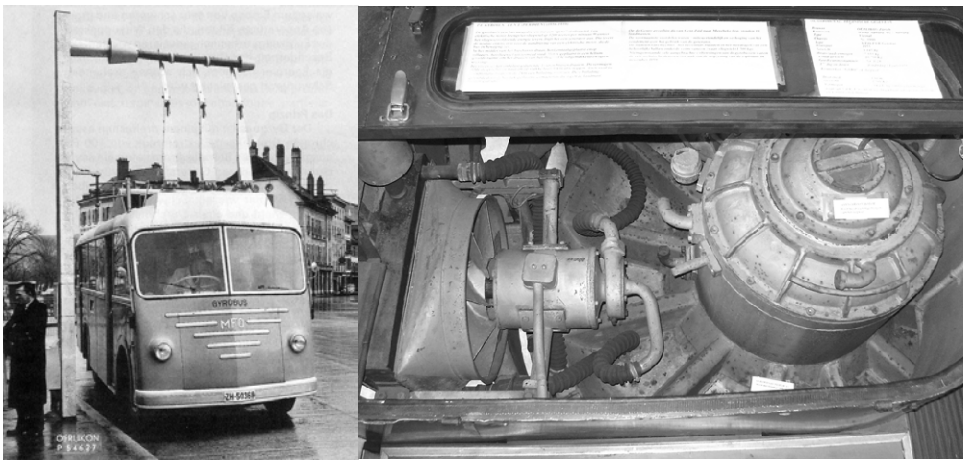


Fig. 1.

Фиг. 1

Possible applications outside metallurgy - Nuclear Power Plant (NPP) using caupers can be recast as a Regenerative Thermal Power Plant - RTPP.

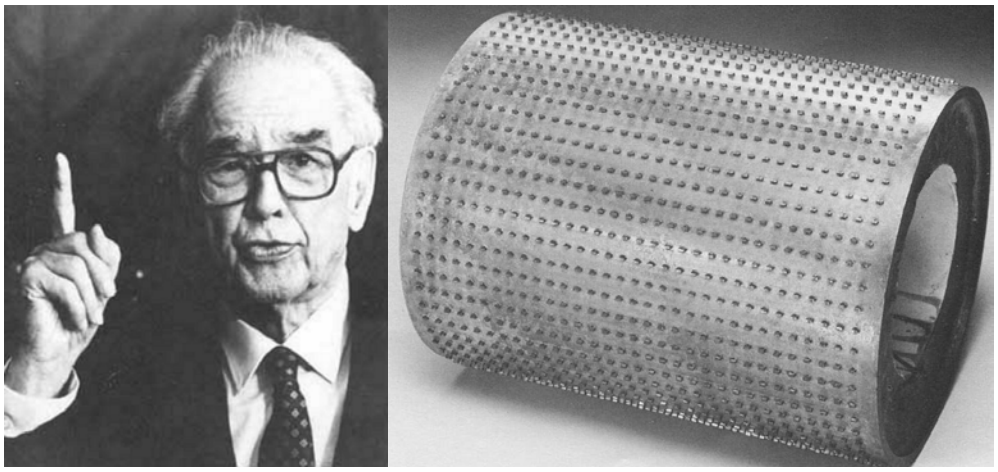
**GYROBUS**



Фиг. 2

A Gyrobus is an electric bus which uses flywheel energy storage, not overhead wires like a trolleybus. The name comes from the Greek language term for flywheel, gyros. While there are no gyrobuses currently in use commercially, development in this area continues. [http://en.wikipedia.org/wiki/Gyrobus]

**Regenerative Memory of Proff. John Atanasoff**



Фиг. 3

A classic example for regeneration of electrical energy. A memory made up of capacitors which have a tendency to discharge. That's why prof. Atanasoff must charge them again - i.e. to regenerate.

And now instead of waiting the capacitors to lose the charge, let us charge and discharge them forcedly. The purpose of this work is to study the charge and discharge of capacitor with nonzero initial conditions.

**Theory:**

**Charge and Discharge of Capacitor in Nonzero Initial Conditions**

Taking into account, that the capacitor is charged only in one direction (polarity) - the other is discharged and refilled in the presence of a DC source, capacitor and connecting wire (usually copper wire with resistance R), the following diagram emerges - Fig. 4:

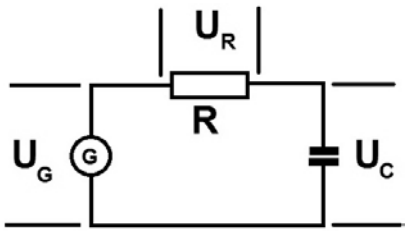



Fig.4

$$U_{C1} = U_G - \left(U_G - U_{C0}\right) e^{-\frac{t}{RC}}.$$

where $U_{C0}$ is the voltage of the capacitor C in t=0.

We can find the energy of the capacitor from the power, i.e. the portion (quanta) of energy, which necessary to charge from $U_{C0}$ to $U_{C1}$:

$$\Delta E_C = \frac{C}{2}(U_{C1}^2 - U_{C0}^2)\,.\,[1]$$

The charged capacitor can be discharged, if necessary, through a load. Let us, for a start assume that this load is constant in time. Let this load be n-times greater that the charging load (nR) Fig. 5.

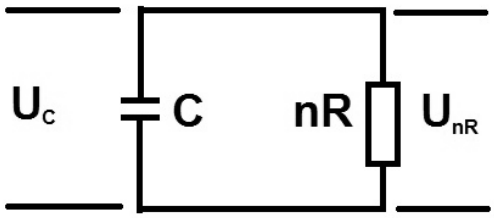



Fig. 5

$$\int_{U_{C0}}^{U_{C1}} \frac{dU_C}{U_C} = \frac{1}{nRC}\int_0^t dt \quad \text{And finally} \quad U_{C0} = U_{C1}.e^{-\frac{t}{nRC}}$$

**Cyclic Charge - Discharge**

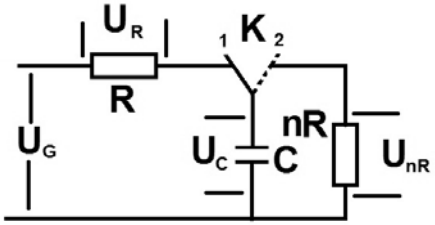



Fig. 6

It should be noted that *nR never consumed current from the power source ($U_G$), just from C*, when the switch K is in position 2. Let K switches rhythmically with a period T. In position 1 charge by $U_G$ trough R and in the position 2 discharges trough nR. The period T is chosen for the case of two capacitors and two switches. When one is in charge, the other gives energy on load nR and vice versa. Elementary has proved that in the push-pull case - with two capacitors - the result only doubles, so we consider only single-ended case [6].

The following task must be solved - to charge and discharge C from $U_1$ to $U_0$ and back again. The charge is via R, the discharge - trough nR. To simplify assume, that cycle is going and we "catch" it after time .10.R.C, i.e. in fixed mode. Discharge is following from the well-known equation [2]:

$$U_{nR} = U_C\ ,\ i_C = i_{nR}\ ,\ i_C = C\frac{dU_C}{dt},\ i_{nR} = \frac{U_C}{nR},\ C\frac{dU_C}{dt} = \frac{U_C}{nR} \Rightarrow$$

$$\int_{U_0}^{U_1} \frac{dU_C}{dt} = \int_0^T \frac{dt}{nRC} \Rightarrow U_0 = U_1 e^{-\frac{T}{nRC}} \text{ [2]}$$

The direction of integration is consistent with the mutual opposition of the charge and discharge currents to and from the capacitor. The power on nR for time T is [3]:

$$P = \frac{U_C}{nR} \quad U_C \in (U_0, U_1) \text{ [3].}$$

After integration we can obtain the portion (quantum) of energy ΔE [4]:

$$P = \frac{(U_1.e^{-\frac{T}{nRC}}}{nR} \Rightarrow \Delta E = \int_0^T P.dt = \frac{U_1^2}{nR}\int_0^T e^{-\frac{2t}{nRC}} = = \frac{U_1^2}{nR}\left(-\frac{nRC}{2}\right).\left|e^{-\frac{2T}{nRC}}\right|_0^T = \Delta E_{\substack{полезна \\ разряд}} \text{ [4]}$$

For the useful energy ΔE we have [5]:

$$\Delta E_{useful} = \frac{C}{2}(U_1^2 - U_0^2) \text{ [5]}$$

It follows - that in the charge from $U_0$ to $U_1$, in the capacitor always remains some stored energy: $E_0 = \frac{C}{2}U_0^2$.

During charging through R we lose some power $P_R$ in the form of heat, respectively, will lose energy $\Delta E_{lose}$, which is given by the equation $E_1 = \frac{C}{2}U_1^2$. the lost energy is $\Delta E_{lost} = \frac{C}{2}(U_1 - U_0).\left(1 - e^{-\frac{2T}{RC}}\right)$.

**Quantitative Evaluation of the Regeneration Process**

The ratio of the portion useful and the lost energy we call coefficient of regeneration (factor of regeneration) and denote by $k_{RE}$ [6].

$$k_{\mathrm{Re}} = \frac{U_1 + U_0}{U_1 - U_0} \text{ [6]}$$

*The following question arises - is $K_{RE}$ efficiency in matter of fact?*

At first glance it looks probable, because $k_{\mathrm{Re}} = \frac{\Delta E_{usefull}}{\Delta E_{lost}} = \frac{\Delta P_{usefull}.T}{\Delta P_{lost}.T} = \frac{\Delta P_{usefull}}{\Delta P_{lost}}$, but only at first glance.

*1*: - The period T was chosen $T_{charge} = T_{discharge}$ but from this choice does not follow that $P_{charge}$ is lost for all the time T. In practice, the main part of it is lost at the beginning of T, and the end is reached $U_1$.

The Choice $T_{charge}$ = $T_{discharge}$ follows from the assumption that the capacitors may be two and while one is charging, the other to discharging, so then switch places. In the presence of only one capacitor (single push-pull circuit), the two times vary depending on the values of n, R and C.

*2*: - The times $T_{charge}$ and $T_{discharge}$ are asynchronous and run one after the other, i.e. it is not correct to compare the processes that occur at different times.

*That's why we calculate the real efficiency* - we must take into account the zero (initial) energy that stays permanently loaded into the capacitor, namely:

$$E_0 = \frac{C}{2}U_0^2$$, than the efficiency is: or $$\eta = \frac{\Delta P_{usefull}}{\Delta P_{lost} + \Delta P_0}$$ [7]

*This relation is always less than one (1). I.e. the circuit does not generate and/or insert additional energy but only under the right conditions regenerates it. Or, between the plates of the ideal capacitor current doesn't flows - $P_0=U_0.i_0=0$ or power on C is always zero (or very little value in real capacitors), but its energy is ($CU^{2)}/2$.*

*What is common between the capacitor and the accumulator? - Energy!* If you equate the two energies - Faraday and Amp hours - got [8]:

$$E_F = C\frac{U^2}{2},\ E_{Ah} = U.I.t = 3600.U.I.t,[s],\ C_F = \frac{3600.I.t}{U}[F]$$ [8]

*Or 12V battery with 1Ah in ampere hour's capacity has Faraday's capacity of 600 F.*

The following task can be formulated: - to make a regenerative energy source with two batteries. To compare how the system works with or without a regenerator. By "Regenerator" will mean twice the diagram shown in Fig.06, i.e. parallel push-pull two switches and two capacitors from the batteries to the load. The result is shown in Fig.07 with and without the battery and this result speaks alone - without an interpreter.

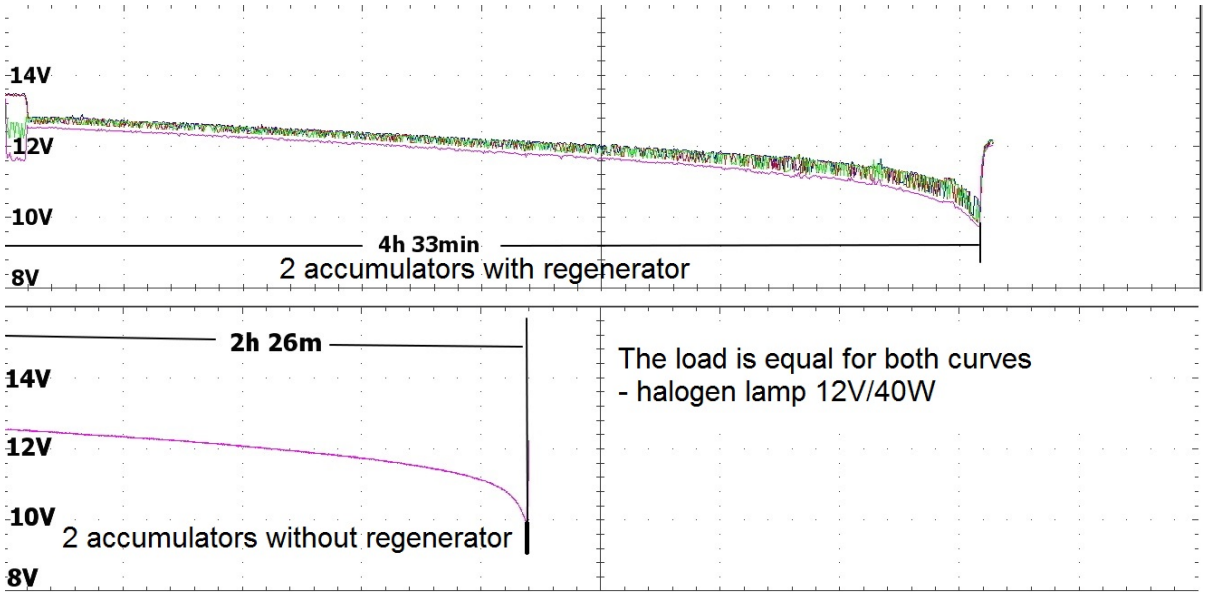



Fig. 7

On Fig.07 are shown two graphics - the upper (almost twice longer) is a graphic of two 12V accumulators with regenerator. Below is a graphic of two accumulators without regenerator - just in parallel. The load is equal for the both a halogen lamp 40W/12V.

**Conclusions:**

1. The possibility is proved for twice longer work time of the energy sources. This is a very real reason to continue active work on them.

2. The possibility is shown for a new life of all possible electric drives, working with batteries or accumulators.

3. For many reasons, we can't study here the accelerated charge of lead acid batteries. This idea is still "baby", but it's promising, because in the foundations of regeneration stays the idea to return back energy from "out" to "in". And how more susceptible is "in" - such higher is $K_{Re}$. It's another theory to follow and some day it will be possible to compare electric and gasoline cars with advantage for the electric ones. Mainly because of the possibility electric cars to regenerate the batteries alone in rest condition. Slowly and gently.

**Session 3**

# *Remote Sensing and Geoinformation Systems*

Chairman: Assoc. Prof. Doyno Petkov
Secretary: Chief Assistant Denitsa Borisova

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ПАЛЕАГЕОГРАФИЯ НА НЕОГЕНСКИТЕ БАСЕЙНИ В СЕВЕРНА БЪЛГАРИЯ

**Хернани Спиридонов, Георги Желев**

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

***Ключови думи:*** *геоморфология, палеогеография, неотектоника, палеореки, северна България*

***Резюме:*** *Палеогеографията на неогенските басейни в северна България е интересен природен феномен. По времето на горен еоцен – олигоцен - долен миоцен, преди баден (Serravallian) са се образували ерозионни долини, достигащи на дълбочина до 1800 m (подобна формация е днешната каньонообразна долина на река Колорадо в Северна Америка). В района са се образували около 7 ерозионни долини с меридиан ориентация. Те са започвали от Балкана (Стара планина) и са завършвали в депресия Petroshani (Южните Карпати), отличаващи се с дължина между 200 и 500 km, широчината достига до 12.5 km, и врязващи се на дълбочина на българска територия до 1800 m, а на румънска територия - до 2500 m. Депресия Petroshani се намира в Южните Карпати (Румъния), които се покрити по време на гореспоменатия интервал с наноси с дебелина между 1300 - 2100 m. През горния миоцен (Parathetis, баден) на българска територия се е формирал дълбок залив на Предкарпатското море (Ломски басейн). В рамките на около 13 милиона на година, този залив, заедно с дълбоките палеоерозионни долини са запълвани с наноси (пясъци, глини, алевролити и конгломерати). В днешно време, този Северобългарски регион представлява огромна седиментационна равнина. По време на горения плиоцен (Gelasian), тя е била изпълнена с чакъли, пясъци и глини с дебелина до 50 – 60 m, а в участъците в непосредствена близост до река Дунав - с плейстоценска еолична покривка (льос). Сега върху нея са разположени земеделски земи, населени места и ядрени мощности.*

# PALEOGEOGRAPHY NEOGENE BASINS IN NORTH BULGARIA

**Hernani Spiridonov, Georgi Jelev**

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

***Keywords:*** *Geomorphology, Paleogeography, Neotectonics, Paleorivers, North Bulgaria*

***Abstract:*** *The paleogeography of the Neogene basins in North Bulgaria is an interesting natural phenomenon. During the interval Upper Eocene – Oligocene – Lower Miocene, fore-Baden (pre-Serravallian) erosion valleys reaching a depth of up to 1,800 m were formed. (A similar formation is the nowadays canyon valley of the Colorado River in North America.) Here, about 7 erosion valleys were formed with meridian orientation. They started from the Balkan (the Stara Planina mountain) and ended in the Petroshani depression (the Southern Carpathians), featuring a total length between 200 and 500 km, width of up to 12.5 km and cut-out into Bulgarian territory up to 1,800 m, and on Romanian territory – up to 2,500 m. The Petroshani depression is located in the Southern Carpathians (Romania), which was filled up during the above-mentioned interval with sediments of thickness between 1,300 – 2,100 m. During Middle Miocene (Parathetis, Baden), a deep bay was formed on Bulgarian territory of the pre-Carpathian Sea (the Bay of Lom). Within about 13 million of years, this bay, together with the deep paleoerosion valleys, was filled with sediments (sands, clays, alevrolites and conglomerates). Nowadays, this North Bulgarian region represents a vast sedimentation plane. During the Upper Pliocene (Gelasian), it was filled with gravels, sands, and clays of thickness of up to 50-60m, and in the vicinity of the Danube River – with Pleistocene Eolian cover (loess) featuring well-developed agriculture, settlements, and nuclear power stations.*

## Въведение

При уточняване на границата неоген–кватернер се използват данни от биостратиграфията, както и от магнитостратиграфията, климатологията, радиометрията (радиовъглеродни датирания и на изотопите на U и Th). При обсъждане на тази граница в

глобален аспект се привличат материали от изследванията на Световния океан. Значителна информация е събрана за Средиземноморския басейн, отнасяща се за различни микроорганизми (нанофосили, планктонни и бентосни фораминифери), които най-често се сравняват с магнитохроноложката скала на Mankinen & Dalrymple (*1979*). Тук може да се разширят в известна степен изследванията на някои италиански учени (*Колалонго и др., 1984*). Те установяват две характерни палеотемпературни захлаждания през плиоцена. Първото от тях е интервала 3.1-3.0 Ma, второто застудяване се проявява около 2.5–2.2 Ma. Те довеждат до масови измирания на планктонни и бентосни фораминифери. Всъщност, това събитие се проявява на границата на смяната на нормалната полярна епоха Гаус с обратната Матуяма (2.43 Ma) и съответства на долен роман (Piacenzian). В този интервал се наблюдава Биберското (Претиглийското) заледяване в Алпите и Западна Европа. Според Zagwijn & Dopert (*1978*) по това време в Холандия съществува тундра, по на юг тя се заменя със степна аридна растителност.

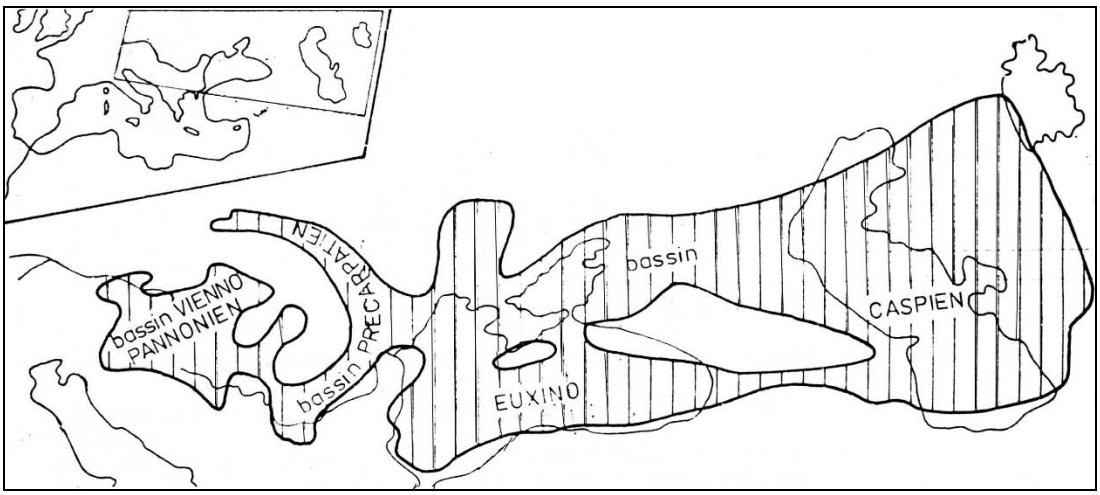
Унгарските учени Kretzoi и Pécsi (*1979*) и Ронаи (*1984*) отбелязват, че по това време Панонското езеро е напълно пресъхнало и започва неговото алувиално–седиментно развитие. Всъщност, те приемат магнитната промяна между Гаус и Матуяма за край на плиоцена и началото на кватернера. При изучаване историята на развитието на растителността, основана на палинологически анализ на сондажни ядки от дълбоки сондирания се установява, че горната магнитна граница съвпада с най-съществено изменение на климата на Панонския басейн. Климатът преди това събитие бил изключително топъл и сух. Обширните широколистни гори с разнообразна дървесна растителност, развити през миоцена, започнали да регресират през плиоцена и в началото на долния роман напълно изчезнали. Долният роман (Piacenzian) се характеризира с почти пустинен климат. Тази пустинна климатична обстановка се променя именно при посочената по-горе палеомагнитна смяна на полярността. Всъщност, от края на миоцена, между понта и дака (Zanclean), постепенно настъпва бавно изменение на климатичната обстановка. Може да се отбележи, че първата значителна климатична граница, преди да настъпят големите глобални заледявания през кватернера, е започнала именно в края на миоцена, т.е. преди около 4–4.5 Ma. Някои изследователи разширяват този геохрон до 7.0 Ma и го свързват с голямата Месинска регресия в Средиземно море, като допускат, че по това време в южното полукълбо е имало значително заледяване. У нас то може да се корелира с понтийската регресия, настъпила между портафера и босфора, довела до прекъсването на връзката между Предкарпатския и Панонския басейни. Според Асеев (*1985*) тогава нивото на Черно море се понижава с 200 м. Именно през горен понт според Коюмджиева и Попов (*1988*) глинестите отложения на Смирненската свита се заменят с белезникавите и жълтеникави пясъци на Арчарската свита и с повишено съдържание на железни хидроокиси. Затова на отделни места те получават ръждивокафяв цвят. Последните са предимно олигомиктови, главно кварцови. Около гр. Арчар те имат дебелина около 20 до 60 m, а на изток към гр. Лом 100–120 m. Трябва да се отбележи, че плиоценските отложения почти много трудно се доказват в България, затова по-надолу ще разгледаме този период по-подробно върху територията на северна България.

Литостратиграфията на северозападната част на Мизийската платформа и по-конкретно на Ломския басейн е въведена в официална употреба през 1988 година от изследователите-геолози Коюмджиева и Попов. Ломският басейн е част от Паратетиса и е имал връзка с Панонския, Предкарпатския, Понтийския и Каспийския басейни, (Фиг. 1 и 2).

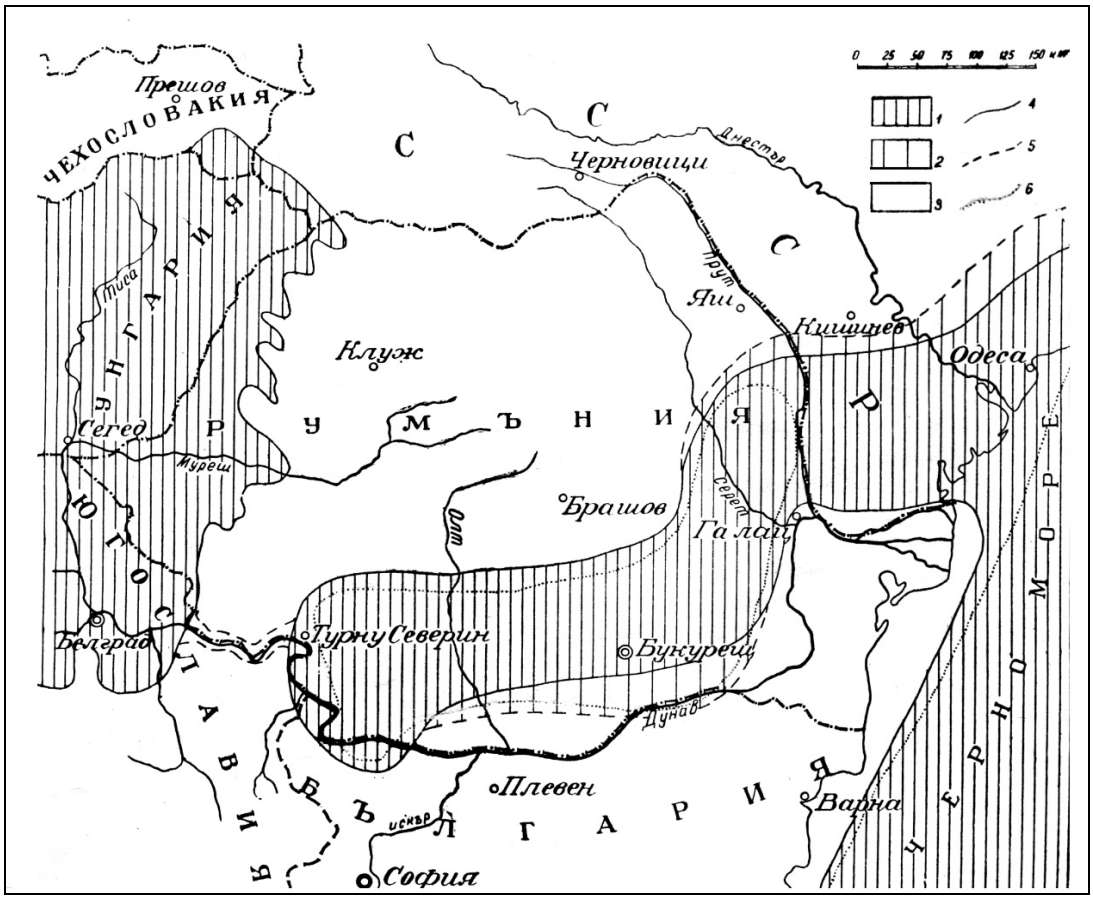
Неогенските седименти са отнесени към следните литостратиграфски единици: Опанецка, Благовска и Делейнска свити с баденска възраст (среден миоцен): Криводолска, Димовска, Фуренска и Флорентинска свити със сарматска възраст, следващите свити са Смирненската, Арчарската, Брусарската и Белослатинската (Фиг. 3).

Ще се спрем по специално върху плиоценските отложения. Разглеждаме ги по-подробно, защото палеонтоложките фосилни доказателства са по-надеждни и са потвърдени от много изследователи, работили в областта неогенската седиментология.

Първата плиоценска свита е Смирненската и е наречена с това име на едноименно село, разположено в долината на р. Лом. Последните по-рано са описвани като меотски и понтски глини (*Берегов, 1940; Попов, Коюмджиева, 1966*). Свитата се представя от редуващи се глини и пясъци. Глините са сивосинкави, плътни или слоисти, които най-често са алевритни и много рядко са песъчливи. Пясъците са разнобразни, от фино-до грубозърнести, често са косослоисти и обикновено са олигомиктови по състав. Пясъчници и песъчливи варовици се срещат много рядко и обикновено се наблюдават в базалната част на отложенията, където са обособени в отделен, известен под името Лехчевски член. Същият се следи като прекъсваща ивица по края на Ломската депресия. На запад тази ивица започва при с. Гайтанци, с. Държаница и на изток следват селата Ярловица, Дреновец, Киселево, Дреновец и по долното




Фиг. 1. Схематична карта на Паратетиса през долен сармат (*Kojumdjieva, 1983*)

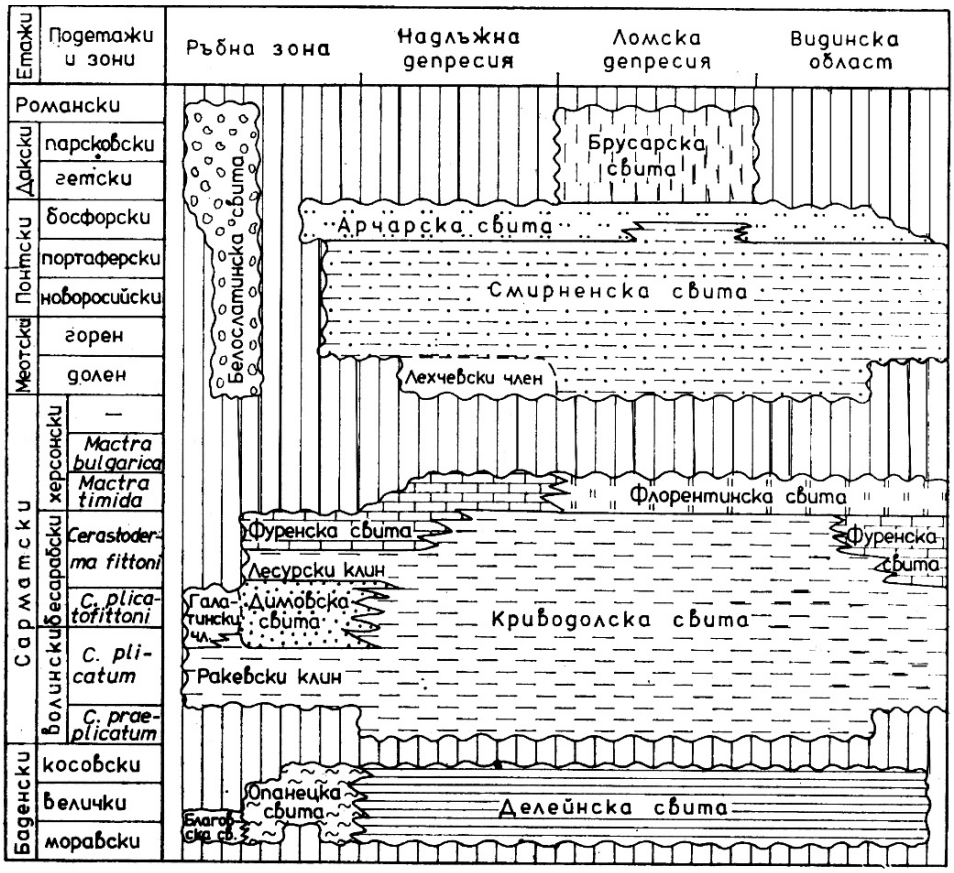



Фиг. 2. Скица на разпространението на неогенските басейни (*Попов, Коюмджиева, 1966*)
1. меотски басейн; 2. области на понтската трансгресия; 3. суша; 4. граници на меотския басейн; 5. граници на понтската трансгресия; 6. граници на дакския ( Zanclean ) басейн в Гетската и Евксинската област

течение на р. Огоста при селата Громшин и Лехчево. На север ивицата достига до гр. Оряхово на р. Дунав. Този член е много характерен за началото на меотската трансгресия. Той заляга несъгласно над варовиците на Фуренската горносарматска свита (долен херсон). Тя има дебелина около 5-20 m.

Лехчевският член най-често започва с конгломерати от късове на подложката, които са мактрови варовици от Фуренската свита и над тях следват детритусни или детритусно–песъчливи варовици. Особено по долината на р. Огоста често се срещат и пясъци с натечни пясъчникови плочи (*Попов и др.1961*). Спираме се повече на основните характерни особености

на Лехчевския член, защото това позволява по-нататък да се уточни възрастта на Белослатинскатата свита при използване на данни от румънски източници. Всъщност, Лехчевският член бележи брега на долномеотското море на българска територия в обсега на Мизийската платформа.




Фиг. 3. Схема на пространствено-временните отношения на неогенските седименти в Северозападна България (*Коюмджиева, Попов, 1988*)

Следващата е Арчарската свита, въведена е в употреба през 1988 г., отново от Коюмджиева Попов (*1988*). По-рано съответните седименти са отделяни като горнопонтски пясъци (*Берегов, 1940*). Свитата се състои от пясъци, разположени върху глините на Смирненската свита. Общо взето пясъците са белезникави и жълтеникави, на отделни места с повишена съдържание на железни хидроокиси, което им придава ръждивокафяв цвят. Преобладават предимно дребнозърнести пясъци, като само в най-горните участъци на пластореда се наблюдават грубозърнести. Те са олигомиктови, но преобладават кварцовите късчета и минерали. Арчарската свита по разпространение напълно съвпада по площ с отдолу лежащата Смирненска свита. Нейната дебелина по периферията на басейна е около 20-60 m, докато в централната част в околностите на гр. Лом достига до 100-120 m. Може да се допълни, че в разкритията на Арчарската свита не е намерена фауна. Обаче в ниските, най-долни участъци на свитата, при прехода със Смирненската свита, са установени горнопонтски остракоди (*Stancheva, 1985*) и Dreissena rimestiensis Font. По тази информация Коюмджиева и Попов (*1988*) допускат, че долните две трети на свитата имат горнопонтска възраст, а за най-горните й части предполагат, че може да е дакска (Zanclean).

Следващата свита е Брусарската. Тя е въведена също така официално през 1988 г. от посочените по-горе автори По-рано съответните седименти са отнасяни към дака и леванта (*Берегов, 1940*). Всъщност свитата се представя от сиви до сивозеленикави чисти или песъчливи глини с тънки прослойки от пясъци. Непосредствено в най-долната част на свитата се наблюдават лигнитни въглища, които имат промишлено значение. Въглищният комплекс представлява алтернация на въглища (лигнити) с черни глини и растителни останки, като общата им дебелина достига около 18 m (*Манев и др., 1989*). По литоложката колонка на горните автори от дълбочина (134.80 m до 117.00 m , около18 m, се наблюдава въглищният комплекс и от 117.00 m до 41.20 m (общо 76.60 m) се разкриват глинесто-песъчливи седименти. Тук между 63.60 m до 49.20 m (14.40 m) се наблюдава характерен фациес, в който се редуват

глини, сиво-зелени, слабопесъчливи с варовити конкреции. Горният факт го отбелязваме, за да се види особената климатична епоха в края на горен дак, според цитираните по-горе изследователи. Според Коюмджиева и Попов (*1988*) възрастта на тези седименти е дакска (Zanclean), тъй като е намерена характерна дакска фауна, но в най-горните части не е открита никаква фауна и те допускат, че те могат да имат и романска (Piacenzian) възраст.

По-особено стои въпроса с т. нар. Белослатинска свита, също официално въведена през 1988 г. Общо взето свитата се представя от разнообразни литоложки съставки, но почти винаги преобладават пясъците, най-често средно–до едрозърнести, на отделни места с лещи от конгломерати. Срещат се също така алеврити и алевритни глини, които се наблюдават като прослойки. Това са типиични алувиални седименти с коса слоитост, със следи от стари речни корита. Белослатинската свита най-широко е разпространена между долните течения на реките Огоста и Искър, а така също и по билото на водела между р. Огоста, Искър и р. Вит. Според Коюмджиева, Попов (*1988*) при гр. Оряхово се наблюдава вертикално съчленяване на Белослатинската свита със Смирненската, в която е намерена долномеотска фауна с бракичен характер. Дебелината на свитата тук е около 125 м по сондажни данни. Също така, тук е бил намерен Tetralophodon grandicivus Schlesinger. В алувиалните утайки на свитата в кариерата при гр. Бяла Слатина са намерени кости от плиоценска гръбначна фауна: Anancus arvernensis Croizet, Zygolophodon borsoni Hays, Dicerorhinus schleirmacheri Kaup, Hipparion mediterraneum Gervais. (*Николов, 1965*). Отначало тези седименти са били приемани за вилафранкски чакъли, но вече е доказано, че те лежат с размив върху Белослатинската свита. Може да се заключи, че според посочените по-горе автори възрастта на Белослатинската свита, поне за ареала на гр. Оряхово се приема да е горен миоцен-плиоцен. Наистина, на издадените през последните 10 години геоложки карти в М 1:100 000, всички разкрития на млади седименти, автоматично без доказателства се отнасяха към Белослатинската свита.

Според последните румънски публикации (*Enciu & Andreescu, 1987, Enciu and al., 1990*), получени в резултат на многобройни сондирания в Южна Олтения, окръг Долж, за проучване на лигнитните въглища, са установени следните литостратиграфски единици–формации: Меришани (среден–горен понт), Бербешти (гетиан–долен парсковиан (дак = Zanclean), Жиу Мотру (горен парсковиан (дак)–долен романиан (Piacenzian) и Кындешти (горен романиан = Upper Palendavian).

Най-старата неогенска свита, която се разкрива на север на румънска територия и може да бъде сравнена с аналогична формация на българска територия, е Меришани. Тя може да бъде съпоставена със Смирненската свита, която по-рано и сега се приема, че е изградена от горномиоценски (меотски и понтски) глини (*Берегов, 1940, Коюмджиева Попов, 1988*). Единствената разлика се отнася до Лехчевския рифов член, който се наблюдава на българска територия като прекъсваща ивица и всъщност дефинира крайбрежието на Ломската депресия в началото на долния меот. На румънска територия безспорно депресията е била по-дълбока и подобни варовици заедно с късове от мактровите варовици на Фуренската горносарматска свита (долен херсон) не могат да се отложат. Те са били далеч от сушата. Друга не по-малка особеност е, че до този момент на румънска територия срещу българския бряг, между реките Цибрица и Огоста, на повърхността не са установени меотски отложения, а са наблюдавани само в сондажи. При с. Мачешу, срещу гр. Козлодуй, в сондаж № 47, са разкрити само средно до горнопонтски наслаги. Забоят на сондажа не е достигнал до меотски отложения.(*Enciu et al. 1990*). От тях са взети много проби и са установени молюски, които потвърждават горната възраст на седиментите. Установените тук понтийски отложения имат малка дебелина и тя не е повече от 10–20 m в двете издигания Леу–Балш–Опташ и Гура Въй. Последното се простира паралелно на р. Дунав и е разположено, северно от блатото Бистрец, при ширина около 3 km.

Друга формация с плиоценска възраст е свитата Бербешти и по своите фациални особености напълно съвпада с Брусарската Тя е установена в изследваната площ на Южна Олтения в редица сондажи и се наблюдавана само в едно единствено повърхностно разкритие на брега на р. Дунав при с. Завал, при устието на р. Жиу. Според Andreescu et al., (*1985*), формацията Бербешти е изградена от пясъци, алеврити, глинести пясъци. В нея са различени три члена (подсвити): долна – с преобладаване на пясъци, средна – представена от алевритно-глинести пясъци и горна – отново от пясъци. Общата дебелина на свитата е около 80–120 m. Долният член с дебелина около 40 m съдържа следните фосили: Dreissena rimestiens (Font), Dacicardium romanum (Font), Prosodacna sp., Euxinicardium sp., Pontalmyra sp., Plagiodacna sp., Gyraulus romanus Wenz Prososthenia sp., Lithoglyphus sp. (*Andreescu et al., 1985*). В този ансамбъл все още не се срещат типични видове за долния дак, но в съседен сондаж № 60167, при с. Дълга в долината на р. Жиу, са установени следните молюски: Dreissena rimestiensis, Euxinicardium insolidum Ebers., Pseudocatillus zlatarskii Adrus., Pharnaci (Fuchs) Pontalmyra sp., Pyrgula eugeniae (Neum), Prososthenis radmanesti (Fuchs), Gyraulus romdnus Wenz , Pisidium sp. Всичките тези видове индикират долен дак (гетиан). Към нея е привързана и остракодна фауна

(*Olteanu in Andreescu et al. 1984*). В средния член с дебелина около 20-40 m, изграден предимно от алевритни пясъци, е установена следната макрофауна: Zamphiridacna becenensis Andreescu, Prosodaenomya ex. gr. sturi. Тя отново потвърждава гетска възраст (долен дак). Горният член е известен с името "Завалски пясъци" и има дебелина около 10-25 m. Това са жълтеникави кварцови пясъци с ръждиво оцветени ивички и песъчливи лещи с лимонитен цемент (железни хидроокиси). Те за първи път са докладвани от Liteanu (*1955*) като „Завалски пясъци", които покриват гетски финозърнести глинести пясъци и съдържат мол юскова фауна, характерна за горния дак (парсковиан): Horiodacna rumana (Sabba), Prosodanomya stenopleura (Sabba), Dacicardium dacianum (Papaian), D. Moesicu (ndreescu) Parapachydaena serena (Sabba), Pachyprionopleura munieri (Sabba), Zamphiridacna cucestiensis (Font), Stylodacna heberti (Cob), Euxinicardium div. sp., Dreissena rimestiensis (Font), D.polymorpha (Pallas), Rumanio rumanus Tourn., Viviparus div. sp., Valvata div. sp., Hidrobia grandis (Cob), Lithoglyphus div. sp., Prososthenia radmanesti (Fuchs), Gyraulus rumanus Wenz, Melanopsis sp., (*Liteanu, 1955, Bandrabur, 1971; Pana et al., 1981; Andreescu et al., 1985*). Тази макрофауна недвумислено определя на тези „Завалски пясъци" горнодакска възраст (парсковиан).

Може да се направи извод на базата на молюсковата макрофауна, че възрастта на тази свита, известна под името Бербешти, е дакска (Zanclean) или по-точно обхваща целия гетски подетаж и долната част на Парсковианския подетаж.

Спряхме се по-подробно на Брусарската свита, тъй като съществува значително разминаване между нея и свитата Бербешти, които по фациални особености не се различават.

Според румънските изследователи, направили проучване през 80$^{-те}$ години по специална програма за търсене на лигнитни въглища и по много сондирания и изобилна намерена макрофауна (най-вече молюски), доказват че свитата Бербешти има дакска възраст (гетиан–долен парсковиан). Българските изследователи Коюмджиева и Попов (*1988*) предлагат официалните свити за неогена в Северозападна България. За разкриващите се при гр. Арчар, Видинско, пясъци те приемат, че имат горнопонтска възраст. Същите пясъци са широко разпространени и западно от гр.Видин, като заемат вододела между р.Тимок и р.Дунав (*Стойков, 1960*). Същото предлага още през 1940 г. и Берегов. Те използват сондаж № 2 при с. Черни връх като спомагателен разрез, съответно пачки 5 и 6, с обща дебелина около 50 m. На румънска територия свитата Бербешти достига средна дебелина около 80–120 m. В своята публикация от 1988 г. Коюмджиева и Попов посочват молюската Dreissena rimestiensis Font, като доказателство за горнопонтската възраст, но видяхме, че тази молюска се среща и в гетските и парсковианските отложения. Тук можем да добавим, че и някои румънски палеонтолози смятат, че двата члена (долният и средният) на свитата Бербешти имат понтска възраст (*Schoverth, Bandrabur,1963; Bandrabur, 1963*). Това показва, че тази молюнска не може да бъде достатъчно доказателство за горнопонтската възраст на Арчарската свита. На сондажната колонка (сондаж № 2 Черни връх, Ломско) се отбелязва, че на дълбочина 663.5 m се наблюдава размитата повърхност на сарматските глини (долен херсон) и нагоре до дълбочина 167.5 m се разкриват непрекъснато предимно меот–понтски глини, с обща дебелина 496,0 m (≈500 m). В тези 500 m глини много рядко се наблюдават тънки прослойки от пясъци. Нагоре в пластореда се разкрива от 167.5 до 83.5 m последователност от глини (с редки прослойки от глинести пясъци по средата на колонковия профил). Общата дебелина на свитата е около 84.0 m. Както посочихме по-горе, на румънска територия дебелината ѝ е средно между 80–120 m, което е нормално, тъй като е по на север, където се удълбава басейна. Трите подетажа на свитата Бербешти с намерените молюски и остракоди недвусмислено доказват дакска възраст (гетиан-долен парсковиан). На базата на направените сравнения между Брусарската свита и свитата Бербешти можем с известно съмнение да твърдим, че двете свити имат дакска възраст и свитата отразява важен климатичен фактор, който е довел до бързото осушаване на Ломския басейн и отлагане на пясъци. Както отбелязахме по-горе горномиоценските отложения (меот–понт) се обединяват в Смирненската свита. Характеристичният ѝ белег са глините, още от времето на Берегов, (*1940*) и наистина в сондаж № 2 при с. Черни връх, Ломско, се наблюдават около 500 m (496 m) сивосинкави до сивозеленикави, плътни или слоисти, алевритни и много рядко песъчливи глини. Обикновено пясъци се наблюдават в меотските отложения, включително и детритусни варовици, които оформят Лехчевския член. Последният очертава крайбрежието на басейна в началото на меота. Другият разрез на неогена при с. Смирненски, Ломско, има обща дебелина за меота около 90 m и само 8.2 m за долния понт и ако прибавим още 7 m за горния понт става общо 15.2 m. Трябва да се отбележи, че разстоянието между двата сондажа е около 30 km. Според авторите на предложените официални свити за неогена за Ломския басейн (*Коюмджиева, Попов, 1988*), Смирненската свита има средна дебелина около 15–20 до 50-60 m във Видинско и в южната част на Ломско и само в ивичка с посока север–юг от с. Черни връх към гр. Лом

дебелината вече става над 450–500 m. Ясно се очертава едно много дълбоко долинно понижение, широко не повече от 10 km.

Очевидно, след осушаването на сарматския басейн е останала речна долина, ориентирана с посока на юг от гр. Монтана към гр.Вълчедръм–Лом на север, която е била врязана в старата сарматска суша на повече от 400 m. Вероятно тук може да се говори за Палеоогоста, която е отводнявала Берковския Балкан (Западна Стара планина).

Може да се заключи, че след осушаването на сарматското море е имало един продължителен период, приблизително около 1 Ma, между 10 и 11 Ma години. Можем да направим извод, че през бадена и сармата тази стара долина (долинен врез) не е била окончателно запълнена, независимо от еродирането на част от долния херсон. Никъде в Ломския басейн досега не са установени горнохерсонски утайки. Още една друга особеност се наблюдава за горносарматските отложения. Например в сондаж № 12 при с. Делейна, Видинско, долнохерсонски глини се наблюдават на дълбочина около 23 m., а при с. Черни връх в сондаж № 2 на дълбочина 663.5 m, а в сондажи № 5 и № 68 при с. Гомотарци съответно на 119.3 m и 86.5 m и тук отново се наблюдава долен херсон.

Може да се направи извод, че активното нагъване в Предкарпатската депресия, станало в края на долния сармат, главно в нейните сегменти на Полша и Украйна, придружено също така и с навличане, в Ломският залив на същата депресия в българската част, не се проявява или ако е оказало някакво влияние то се изразява в бързо изплитняване и очевидно в края на долен херсон е окончателно ликвидиран (*Доленко, 1976*). Тази палеогеографска обстановка позволява през горен херсон да се прояви активна ерозия, която силно разчленява сарматската суша, защото меотските седименти на много места се разполагат не само върху долнохерсонските, но достигат и средносарматските отложения, особено в Ломско. Само така можем да си обясним голямата дебелина около оста на ерозионния долинен коридор.

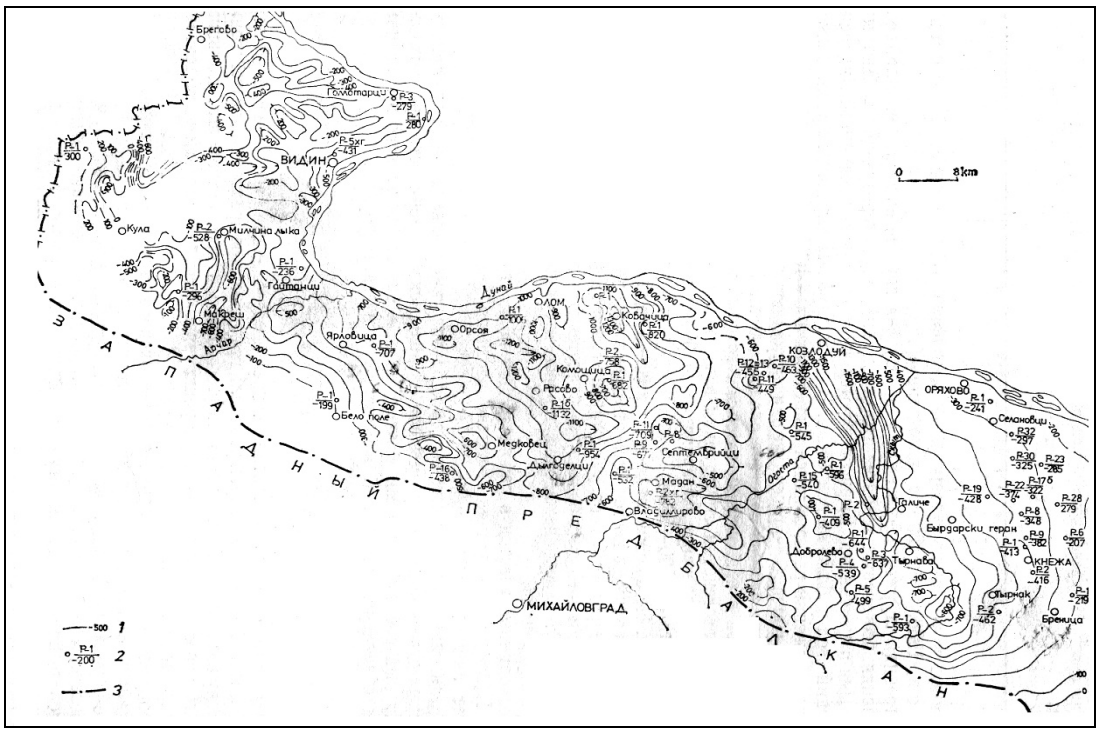
Без да навлизаме в повече подробности, вероятно голяма част от реките на Северозападна България, идващи от Западния Балкан, които са подхранвали Ломския горномиоценски морски басейн, са продължили след неговото осушаване да вливат своите води отново в него, поради вече съществущия най-нисък ерозионен базис. Това се отнася за реките Огоста, Скът, Искър, Цибрица и Лом. За големия размив преди отлагането може да се съди и по профила–зарисовка при с. Ярловица, Видинско, където са наблюдава базален конгломерат, който се състои от слабозаоблени и полузаоблени късове от средносарматски черупчести и детритусни варовици, с варовито–песъчлива спойка. В него на отделни места (Оряхово, Хайредин, Безденица и Смирненски) се срещат и малки рифови тела, изградени от бриозои (*Попов, Коюмджиева, 1966*).

Може да се направи извод на базата на отбелязьните по-горе факти, че подобна надлъжна депресия (ръбно понижение) с миоценска възраст реално не е съществувала. Представата за такава надлъжна депресия е предложена още през далечната 1966 г. в статията „Основни линии на палеогеографската еволюция.на Северозападна България през неогена" (Коюмджиева, Попов, 1966). На тази схема в обсега на това ръбно понижение (предпланинско понижение )може да се види, че при с. Галиче, Оряховско, в долината на р. Скът, неогенът се наблюдава на дълбочина 700 m, в долината на р. Цибрица при с. Черни връх, Ломско, на 500 m и при с. Милчина лъка, Видинско, на дълбочина около 600 m. Същата тази надлъжна депресия се разделя от напречни вододели с височина на 250–300 m. Този факт по-скоро показва наличието на ерозионни долини с меридионална посока, отколкото надлъжно понижение.

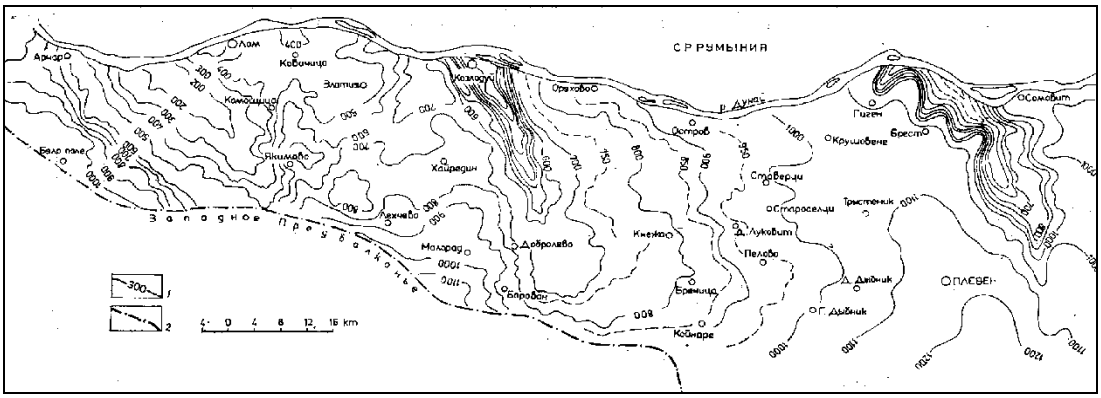
Трябва да се допълни, че на своите структурни карти, по основата на неогенските отложения, Боков, Витанова, (*1980, Фиг 18, Боков, Василева, 1989, Фиг. 7, 8, 9, 10*) никъде не отбелязват тази надлъжна депресия, а показват дълбоко всечени долини в близост до днешния Дунав с ерозионни врезове до 1300–1500 m със субмеридионална посока, (Фиг. 4).

Някои автори като Балинов и др. (*1989*) споменават за т. нар. Козлодуйско–Софрониевска палеодолина с врез над 1800 m, ширина около 6 km и дължина около 20 km. Те не я проследяват в южна посока. Освен посочените автори отделни допълнителни сведения за големи денудационни врезове могат да се открият в статиите на Вапцарова, (1988); Велев и др. (*1988*), Атанасов и др. (*1971*), така също в някои публикации на румънски автори (*Motas, Tomescu, 1983*), (Фиг. 5).

Най-старата изследвана преднеогенска долина от български изследователи е тази на р. Палеобръшляница, на север от гр. Плевен, още през далечната 1971 година. Тя е всечена в горнокредни (албски) материали (*Атанасов и др., 1971*).

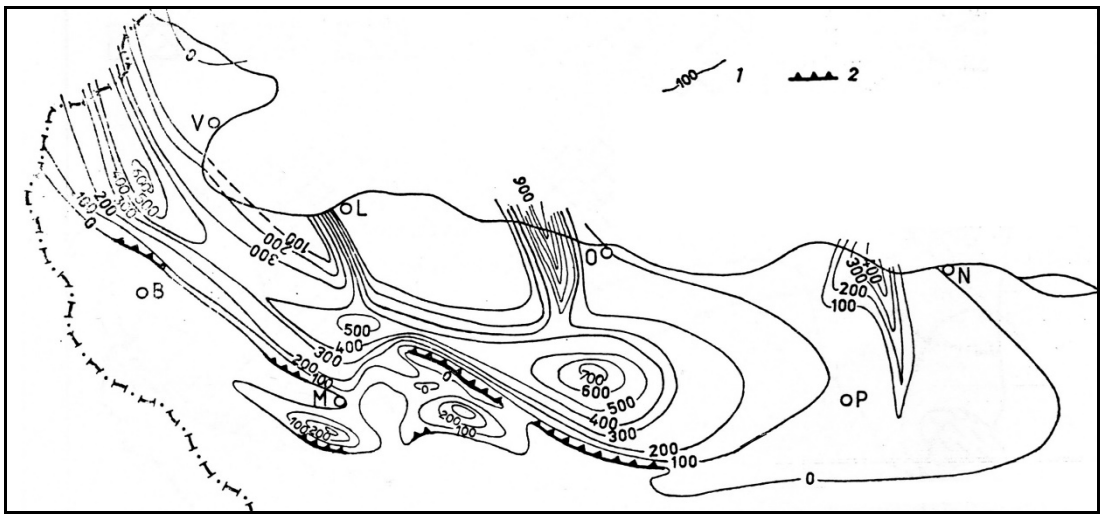



Фиг. 4. Структурна карта на основата на неогенските отложения (*Боков, Витанова, 1989*)
1. изохипси; 2. сондаж; 3. граница между Мизийската платформа и Предбалкана

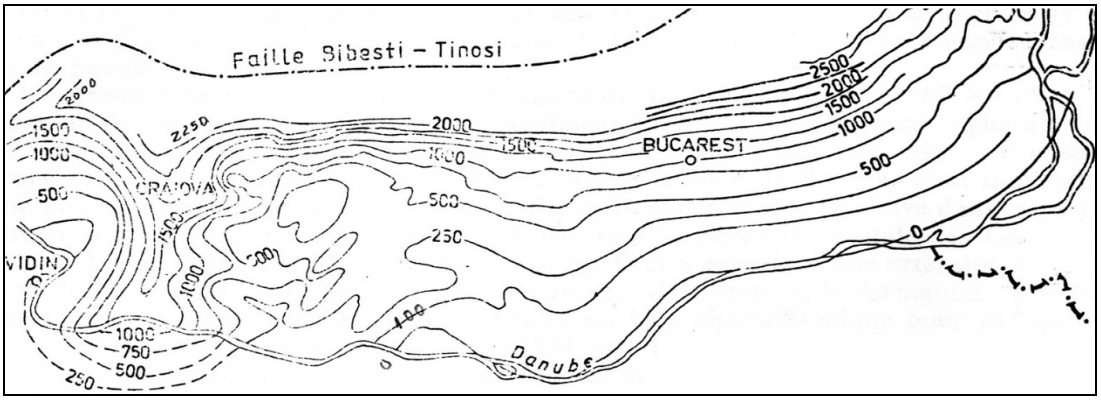



Фиг. 5. Карта на донеогеновия релеф (*Велев и др., 1988*)
1. изолинии над морското ниво, m; 2. северна граница на Предбалканската нагъната област

Същата скица може да се види на фиг. № 4 и № 8 и № 10 в статията на Kojumdgieva, Popov, (*1989*), за румънска територия схемата е изчертана по Paraschiv (*1983*). Ако проследим последователността на появата на данните за наличие на древни предбаденски палеодолини в северозападна България както посочихме пръв е П. Боков, който посочва още през 1968 г., че такива съществуват и той ги съответно именува както следва: Палеотополовица или Палеотимок при с. Делейна (сондаж № 12) Палеовойнишка или Палеовидбол при с. Милчина лъка, Видинско, (сондаж № 15 и сондаж Р-2), Палеоогоста (сондаж № Р-6) при с. Дългоделци, Ломско и северозападно от Монтана при селата Николово, Войници и Студено буче и съответно Палеоосъм или Палеовит, северно от гр. Плевен. През 1971 г. Атанасов и др. посочват р. Палеобръшляница, северно от град Плевен, за древна Палеовидбол говори Vaptsarova (*1988*). През 1980 г. Боков и Витанова съобщават за съществували Палеобързия, Палеоскът, Палеоботуня и Палеоогоста, южно от гр. Михайловград (сега Монтана). Още един път споменават Боков, Денчева през 1984 г. за Палеоскът, въз основа на сондажите № Р–1 при с. Софрониево, сондаж № R-9, при гр. Козлодуй, сондаж № R-1 при с. Гложене и сондаж № S-3 при Хърлец, Оряховско. За палеодолина между селата Расово и Ковачица, Ломско или за Палеоогоста ни съобщават Велев и др. (*1989*). През същата година излиза една обобщаваща статия на Kojumdgieva & Popov (*1989*), в която са посочени до този момент данни от всички автори, изследавали северозападна България, (Фиг. 6, 7 и 8).




Фиг. 6. Изопахитна карта на баденските и волинските седименти и разломи с олистростроми в Северна България (*Kojumdgieva & Popov, 1989*)

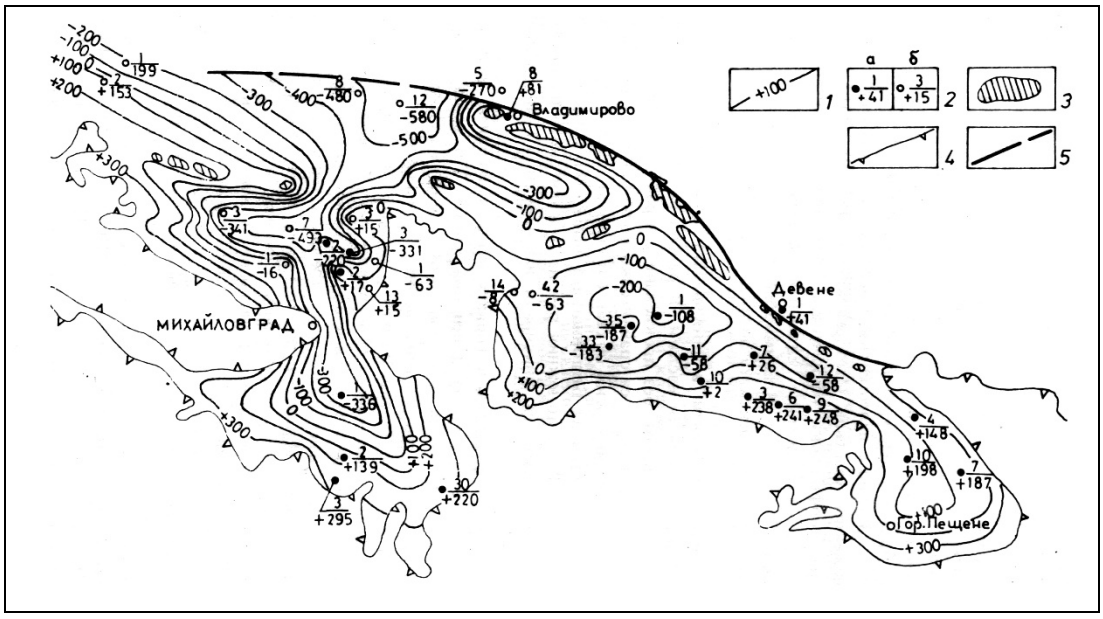



Фиг. 7. Изопахитна карта на основата на неогена, изопахитни непрекъснати линии на територията на Румъния, според Paraschiv (*1983*), и долно-средно сарматските (прекъснати) линии на територията на България (*Kojumdgieva &Popov,1989*)

Всъщност, те споменават това, което по-горе беше отбелязано като принос в изследването на този проблем, свързан с предбаденския (тортонския) ерозионен релеф. През същата година излиза нова статия на Боков и Василева под надслов "Структурно-тектонические особености Северо-Западной Болгарии" (*1989*), където на стр. 18 и 19 са дадени структурна карта на основата на неогена и геоложки профили. На неговата схема чудесно се виждат неогенските отложения и геоложките профили № 8, 9, 10, които пресичат съответно терени между с. Макреш–Милчина лъка–Видин–Гомотарци, вторият през селата: Дългоделци–Комощица–Ковачица, Ломско и третият през с. Добролево–Галиче–Оряхово. Както на основата на структурната карта на неогенските отложения, така и на геоложките профили, навсякъде отчетливо се наблюдават съответните преднеогенски ерозионни врезове. Те потвърждават изказаните идеи от Боков още през далечната 1968 година. Отново никъде не се засича посочената по-горе от Коюмджиева и Попов (*1966*), Коюмджиева и др. (*1982*), Коюмджиева, Попов (*1988*), Kojumdgieva, Popov, (*1989*) миоценска надлъжна депресия (през 1966 г. е наречена ръбно понижение). Ако се прегледа внимателно схемата още от 1966 година (*Фиг. № 1, Коюмджиева, Попов, 1966*) ще се установи, че в ръбното понижение по-големи дълбочини са установени до 700 m в днешната долина на р. Скът при с. Галиче, Белослатинско, после в долината на р. Цибрица при с. Дългоделци, Ломско, на дълбочина до 500 m и при с. Макреш, Видинско, на дълбочина 600 m. Тези отделни дълбочини се разделят от напречни плитчини до 300 м, което по-скоро говори за отсъствие на такава надлъжна депресия, а потвърждава идеите на Боков за наличие на дълбоки ерозионни палеодолини, ориентирани в меридионална посока. На схемата (*Фиг.№ 7, Боков, Василева, 1989*) по изчертаните изохипси чудесно се очертават редица долини. Най-назапад е р. Палеотимок, северно от гр. Кула, се наблюдава врез до 600 m, който в северна посока продължава през селата Бойница–Делейна–Ново село. Големят врез не може да се осъществи от такива реки като Тополовец и Войнишка, които са

прекалени къси и маловодни, а е известно, че всичането на всяка река започва от нейното устие. Следващият дълбок врез между селата Макреш и Милчина лъка е оформен от днешните две реки Видбол и Арчар, които при с. Макреш се събират и се отправят на изток през селата Ярловица и Орсоя с врезове до 900 m. На север и юг от него се наблюдават плитчини до 200 m, при днешното с. Гайтанци до 236 m и на юг към с. Бело поле отново до изохипса 200 m. Следващият врез, отбелязан западно от гр. Лом през селата Орсоя–Расово–Дългоделци (*Велев и др. 1988*) при първото и второто село е на 1200 m, при с. Дългоделци на 954 m (сондаж № Р-1), с. Габровница на 800 m.,при с. Студено буче, Войници и Николово е на 580–500 m, при гр. Монтана, северно, на 493 m (сондаж № 7) и южно от гр. Монтана към селата Трифоново и Пърличево е вече около 336 m (*сондаж № 1, Боков и др. 1978*), (Фиг. 8).

Тук при с.Благово дълбокият ерозионен врез се разделя на два ръкава, един западен, който съвпада с горното течение на р. Огоста и друг, който продължава на юг-югоизток към селата Стояново-Долно Озирово и от тук по течението на р. Черна, навлиза по оста на Згуриградската антиклинала. Два не особено забележителни ръкава се наблюдават по р. Ботуня и р. Бързия. По разкриващите се петна от баденски седименти може да се направи извод, че р. Ботуня някога се е вливала направо в р. Огоста преди гр. Монтана, южно от височината Пъстрина, т.е. е съвпадала с днешната долина на р. Шугавица. Участъкът от Стара планина, който се очертава на юг от антиклиналните височини на Язовска и Врачанска планина (съответно Стакевски свод, Мелянска и Згуриградска антиклинали), т.е. северно от Голашко-Костенско-Плакалнишкия възсед, е бил дълбоко разчленен именно от притоците, съществували през този продължителен сушев период на горен еоцен-олигоцен и долен миоцен. Той обхваща общо около 25 Ма години. Нещо повече те успяват и да се всекат до 1800 m в пределите на Мизийската платформа и до 500-600 m в Предбалкана, а на румънска територия на повече от 2250 m. Достигат до олигоценско-долномиоценската вътрешно-планинска тектонска депресия Петрошани, разположена между масивите на Парънг, Ретезат и Вълкан на Южните Карпати. В тази депресия са отложени между 1300-2100 м седименти с два продуктивни хоризонта от въглища (хатски и бурдигалски).




Фиг. 8. Структурна карта по долнището на миоценските отложения,южно от гр. Монтана (*Боков и др.,1978*),
1. изохипси по долнището на неогена; 2. сондажи: a. роторен; b. структурен;
3. разкрития на по-стари отложения; 4. граница на разпространение; 5. тектонски нарушения

Може да се направи извод, че големият широк врез, източно от гр. Лом при с. Ковачица е бил свързан с днешната река Огоста и се наблюдава на дълбочина 1300 m., после на юг при с. Мадан на 782 m., после завива на югоизток през днешните села Лехчево, Фурен, Три кладенци, Девене и достига до днешното село Баница, но вече в долината на р. Скът, после през селата Мало и Големо Пещене, с. Вировско, с. Тишевица и през седловината между р. Дъбник и горното течение на р. Скът, покрай гр. Враца, с. Паволче, Моравица и гр. Мездра се осъществява връзка с р. Искър. Последната след осушаване на Мездренския палеогенски басейн (долен–среден еоцен) се насочва на запад и всъщност формира широката долина на р. Скът в нейното горно течение. При днешните малки води, с които се характеризира р. Скът в

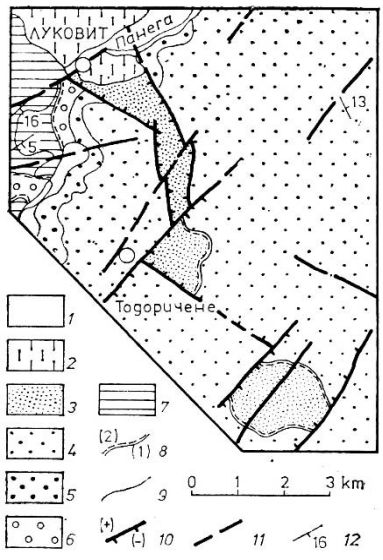
този участък, не може да се образува такава широка долина. Безспорно, нейната широка долина е могла да се оформи лесно върху меките мергели на Сумерската свита (арт–алб) и донякъде върху Малопещенските глауконитни мергели и пясъчници (арт–алб). Всъщност, тази широка долина заобикаля шарнира на Монтанската антиклинала (височините на Милин камък, 460 m). Ако се погледне на геоложкия картен лист Враца ще се види, че пластовете на мергелите на горните свити в пределите на долината са наклонени в южната част на юг, после на изток и накрая на север, със средни наклони около 5–10 градуса. И днес всеки изследовател може да се учуди, ако види широката долина на р. Дъбник южно от гр. Враца и ниския вододел на около 310–320 m северно от същия град и отделните заоблени възвишения по вододела между р. Скът и р. Дъбник. Река Искър се е вливала в Мездренския басейни и това може да се установи по петрографския състав на Паволченската свита, изградена изключително от полимиктови жълтеникави, сивожълти до белезникави рахли дебели до средно пластови пясъчници. В тях липсва каквато и да е гранулометрична сортировка и тези материали се наблюдават днес на височина около 600 m при с. Паволче и на изток до с. Брусен, източно от гр. Мездра. Свитата Паволче очертава бившите делтови отложения на р. Искър в басейна (*Аладжова - Хрисчева и др., 1991*). Това, което беше посочено по–горе може да се види на схемите на Боков и Василева (*1989*), където ерозионният врез в източна посока по долината на р. Рибине достига до минус 200 м в рамките на платформата и до минус 58 м при Големо Пещене (сондаж № 12) вече в Предбалкана и постепенно се задига в южна и западна посока до +300 m. Всъщност това е вече т.нар. Димовска свита (горен волин–долен бесараб). На геоложката карта това интересно събитие по разпространение на отделните свити чудесно може да наблюдава на картните листове Враца и Бела Слатина, (М 1:100 000), където се вижда дълбоко навлизане на Димовската свита и покриващата я Фуренска свита навътре по долината на р. Скът. Границата между двете дълбоки долини на р. Огоста и на р. Искър се определя още с отлагането през горен волин–долен бесараб на Галатинския член на Димовската свита. Към долината на р. Палеоогоста на запад и на изток към р. Палеоискър през горен бесараб и долен херсон вече няма отложения и се оформя вододел между тях, т.е. става осушаване на този участък. Както посочихме, в противоположни посоки от този вододел, могат да се видят вече отложенията на Фуренската свита, която има възраст горен бесараб–долен херсон, т.е. по-млади сарматски седименти. Може да се допълни, че в източна посока към р. Искър отново не се наблюдават седиментите на Фуренската свита, т.е. отново се очертава вододел. До тук на базата на посочените данни може да се заключи, че общо взето сарматските свити в своето разпространение се отлагат в древните долинни врезове и до края на горен миоцен ясно се запълват старите врезове в Стара планина и Предбалкана, а пълното им запълване започва през среден-горен миоцен (баден, меот, понт) и завършва през плиоцена в рамките на Мизийската платформа.

Що се касае до палеодолината на р. Палеоскът, за която за първи път съобщава през 1984 г. (*Боков и Денчева, 1984, Фиг. № 5*) на базата на сондажите при гр. Козлодуй, с. Софрониево и с. Гложене (R-1 и R-9 ), които са достигнали в дълбочина до седиментите на маастрихта, палеоцена и еоцена и се различават с повече от 900 m от (сондаж S-3 при с. Хърлец) на разстояние само няколко километра. Те допускат наличие на старата долина на р. Палеоскът. По-късно, през 1989 г,. колектив начело с Балинов и др. изследва по сондажни и сеизмични данни вече установената долина, която те наричат Козлодуйско–Софрониевска и смятат, че тя може да бъде природен резервоар и капан за пресни води и нефт. Според тях това е дълбочинен врез с посока ССЗ-ЮЮИ, дължина около 20 km, ширина до 6 km и амплитуда на вреза до 1200 m и допускат, че тази долина е запълнена с баденски седименти. Същата схема може отново да се види на Фиг. № 4 в статията на Kojumdgieva и Popov (*1989*). За тях няма съмнение, че това е старата долина на р. Палеоскът. През 1989 г. излиза нова обобщаваща публикация на Боков и Василева, на която са нанесени почти всички палеодолини (*Фиг. № 7, 8 ,9 и 10*). На посочените схеми те отбелязват дълбок врез, който започва от гр. Козлодуй на дълбочина около 1600 m и продължава в ЮИ посока през селата Галиче, Търнава и Попица на 700 m и към село Чомаковци и гр. Червен бряг излиза на дълбочина минус 200 m. В червенобрежкия пролом на р. Искър в Марковата антиклинала и сега може да се наблюдава Криводолската свита на самата повърхност на абсолютна височина +120 m, южно от гр. Червен бряг и отново в ЮИ посока на същата височина излиза вече отдолу лежащата Опанецка свита на левия бряг на р. Златна Панега от Червен бряг до Луковит и по-нататък, където и днес могат да се видят остатъците от старата пред баденска долина между гр. Луковит и с. Тодоричане, запълнена с глините на Опанецката свита. По-късно излезе статията на Недялкова и Даракчиева (1994), в която те доказват, че между посочените по-горе селища се наблюдава тесен грабен, широк до 1.5 km , с посока почти север–юг и запълнен с около 11,30 m. утайки, представени от глини, песъчливи глини и песъчливи пясъци. (Фиг. № 9 и 10.).

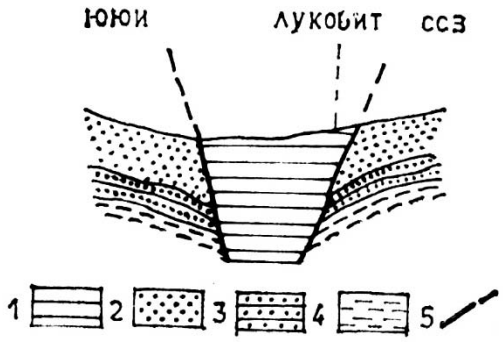
В тези седименти е намерена фауна от фораминифери, която се съпоставя с аналогично находище при с. Опанец, Плевенско. Неговата възраст е баденска (среден миоцен) и по фациес напълно съвпада със седиментите на Опанецката свита (*Коюмджиева, Попов, 1988*). В ЮИ посока, след с. Тодоричане тези седименти се наблюдават вече на самата повърхност на височина около +320 m, при с. Дъбен, западно от с. Торос и вече по на юг продължават по долините на реките Вит и Калник. Представата на двете авторки за наличие на грабен с дълбочина 11 m, без да се наблюдава разместване на пластореда на палеогенската Угърчинска свита, по-скоро говори за преднеогенска палеодолина, запълнена със седиментите на Опанецката свита, отколкото за грабен.

Може да се направи общ извод, че долината започваща от гр. Козлодуй и продължаваща през селата Галиче и Попица, градовете Червен бряг и Луковит до селата Тодоричане и Дъбен, представлява старата преднеогенска палеодолина на р. Вит. Тогава в нея са се вливали Бели и Черни Вит, р. Малък Искър и р. Калник, като е станало оформяне на дълбок пролом през Марковата антиклинала и на североизток долината е продължила с врeза до 1800 m през посочените села към днешния гр. Козлодуй и Олтения, в Югозападна Румъния. Южно от гр. Червен бряг напълно са изнесени седиментите на сарматската Криводолска свита и затова в рамките на днешната широка долина на р. Златна Панега, северно от гр. Луковит, се наблюдава нейната древна предбаденска долина.

Днешната обширна долина около гр. Луковит и гр. Червен бряг, широка до 5–10 km, е всъщност всечената както в палеогенската Угърчинска свита, така и в горнокредните и Романската долнокредна свити (арт-алб) предбаденска реликтова река Вит. При гр. Червен бряг тя е оформила пролом, широк до 3 km и в него вече може да се наблюдава Криводолската сарматска свита и то нейният Ракевски глинест член, характерен за по дълбоки участъци на долния сармат (горен волин), (*Коюмджиева, Попов, 1988*). Това може да се види или по-точно Ракевският член може да се наблюдава навсякъде в незапълнените по-древни долини, например при с. Бойница (р. Палеотимок), при с. Макреш и гр. Димово (р. Палеоарчар), северно от гр. Монтана при селата Войници, Николово и Ерден (р. Палеоогоста). Ракевският член се отлага върху различни размити участъци на бадена, но като характерен подетаж (член) може да се види само в незапълнените още от баденско време преднеогенски палеодолини. Ако се проследи схемата на Балинов и др. (*1989*) на Козлодуйско–Софрониевската палеодолина може да се видят изолинии до 1600 m дълбочина. Ако продължим в ЮИ посока и преминем през селата Галиче-Търнава, и достигнем до с. Попица, точно на големия завой на р. Скът на запад,




Фиг. 9. Геоложка карта в района на гр. Луковит (*Недялкова, Даракчиева, 1994*)
Кватернер: 1. алувиални образувания; 2. льос; Баден: 3. Опанецка свита; Среден долен еоцен: 4. Угърчинска свита; 5. Луковитска свита; 6. Ъгленски член на Луковитската свита; Горна креда: 7. Кайлъшка свита; Литоложки граници: 8. траисгресивна; 9. нормална; 10. разсед; 11. предполагаем разсед; 12 – слоистост




Фиг. 10. Геоложки профил при кариерата на тухларната фабрика в гр. Луковит
*1.* Опанецка свита;
*2.* Угърчинска -свита;
*3.* Луковитска свита;
*4.* Ъгленски .член на Луковитската свита;
5. разсед

вече се наблюдава изолиния, оконтурваща дълбочина 700 m. На юг изолиниите се сгъстяват към Марковата антиклинала, а се вдават дълбоко на СИ като достигат до днешните селища: гр. Кнежа, Долни Луковит, Койнаре, Староселци, Телиш, Горни и гр. Долни Дъбник, Садовец и отново може да се види Димовската свита високо по Плевенските височини на +240 m при селата Брестовец и Тодорово, западно от гр. Плевен. (горен волин-долен бесараб) и още по на север, при селата Гривица, Буковлък, Вървица, Божурица и Рибен. Но тук около гр. Плевен това е вече Димовската свита, с горно волинска-долнобесарабска възраст. Ракевският член на Криводолската свита на ЮИ се наблюдава от с. Долни Луковит до Маркова могила на юг до селата. Девенци, Телиш, Искър (Пелово), Писарово, Горни и гр. Долни Дъбник до днешните селища Градина, Ясен и гр. Долна Митрополия. Изолинията от 500 m започва при устието на р. Огоста и на ЮИ достига до с. Търнак и опира в Марковата антиклинала, южно от с. Еница. Изолинията от 300 m започва от гр.Оряхово и преминава през с. Бреница и достига южно от с. Девенци. Изолиния 0 м се наблюдава вече към с. Садовец, Петърница и Градина (*Боков, Василева, 1989*) и на север – до линията Долна и Горна Митрополия с. Долни Луковит. Всъщност, това е дълбокият залив, образуван в началото на волина. Ракевският член на Криводолската свита е типичната Криводолска свита и той е започнал да се отлага веднага с нахлуването на водите на волинския басейн (долен сармат). Тук е налице дълбока палеодолина, която започва от днешния гр. Козлодуй и продължава в ЮИ посока, започвайки с врез от 1600 м като постепенно намалява своята дълбочина, като само през днешния гр. Червен бряг се осъществява проломяване на Марковата антиклинала, и продължава на юг, чак да днешното село Дерманци. От тук се свързва със съвременната долина на р. Вит и нейните притоци върху днешните вододели. Разширяването на същия врез на изток е тясно свързано с долините на днешните реки: Тученица, Чернелка, Катунец и Каменица. Тук цялата речна енергия е отишла да се разрушат и транспортират палеогенските отложения (Комаровска, Авренска, Петревенска, Луковитска и Угърчинска свити). И днес се наблюдават отделни петна от палеогенски седименти, например по шарнира на Катунецката синклинала на север по долината на р. Беглежка, като ерозията е достигнала да аптската Свищовска свита на горна креда. Всъщност, това тук е оста на Марковата антиклинала, тъй като тя на изток след големите височини над 400 м, източно от с. Беглеж е унищожена. Горните течения на днешните балкански реки :Малък Искър, Бели и Черни Вит и Калник и изброените по-горе долини от Централна Северна България са формирали вкупом обширната дълбока долина на р. Златна Панега (Козлодуйско–Софрониевска). За изследователите Kojumdgieva, Popov (*1989*) това е р. Палеовит (фиг. № 4, 8, 10). И ние я наричаме р. Палеовит, независимо, че долината на последната река е млада долина и е формирана след минделската заледяване, преди 600 000 години, след като р. Дунав започва за излива своите води в Черноморския басейн. (*Ros et al, 1978, Старовойтов и др., 1990*). Обаче в рамките на Предбалкана и Стара планина и днес съществуват нейните начални участъци: Бели и Черни Вит.

В източна посока на СИ от гр. Плевен се простира долината на р. Палеобръшляница (*Атанасов и др., 1971*). Последните автори подразделят изследваната област около гр. Плевен на три структурни единици: Източна окрайнина на Ломската депресия, Плевенско–Корабийско издигане и Бръшлянишка ерозионна палеодолина (*стр.193*). Очевидно, по това време те не са имали достатъчно данни да говорят за древна долина на р. Вит и другите реки, които са се вливали между Марковата антиклинала на юг и селата Садовец, гр. Долна Митрополия, Староселци, Ставерци и на север на р. Дунав при днешното село Галово, Оряховско и затова се приели, че това е югоизточен дълбок залив на Ломската депресия. В същата страница се отбелязва, че Коюмджиева и Попов възприемат тази структура като Предбалканско ръбно понижение, което по-късно се приема за Миоценска надлъжна депресия (*Kojumdgieva et al., 1978; Коюмджиева и др.1982*). На Фиг. 2, 3, 4 в статията на Г. Атанасов и др. (*1971*) се отбелязва дълбока ерозионна палеодолина, имаща посока около ССИ–ЮЮИ, която се наблюдава на юг при с. Владиня и с. Дренов и в северна посока продължава през с. Пелишат, гр. Пордим, селата Коиловци, Мечка, Бръшляница, Милковица, Гулянци, Брест и големия завой на р. Дунав, западно от с. Загражден. Еродирани са били палеогенските, горнокредните и част от албските седименти. Амплитудата на вреза надхвърля 600 m. Същият врез продължава и на румънска територия. Ширината на долината надхвърля 20 km. Тази предбаденска долина е врязана в Плевенско-Корабийското издигане. Ако съществуваше надлъжна депресия, тя трябваше да продължи и в южната част на тази палеодолина. Нещо повече, тук са установени големи олистостроми при селата Владиня, Бохот, Пелишат, Згалево и градовете Пордим и Славяново. Днес те се наблюдават на височина 280 m.

Трябва да се отбележи, че на изток от гр. Пордим към градовете Летница, Левски и при с. Обнова се наблюдават отново седиментите на Димовската свита на най-ниска височина, около 80 m и разкриват петна от Тръмбешката свита на апта, както и лежащата върху нея Свищовска свита (също апт). В случая е видно, че в тази р. Палеобръшляница са вливали две

предбаденски долини: едната е идвала от юг, а другата от изток. Тази, която е идвала от юг може да се свърже с днешната р. Осъм, идваща от Стара планина, а другата, която е идвала от изток може да бъдат днешните р. Ломя и р. Росица. По правилно е да променим името на долината на р. Палеобръшляница на р. Палеоосъм, тъй като р. Палеобръшляница се явява един къс сегмент от една по-голяма палеодолина. В случая тази палеодолина е р. Палеоосом. Фиг.11.

В източна посока дълго време съществуваше неяснота относно долината на р. Янтра и дали и тя се е врязвала в Мизийската платформа през неогена. Последните наблюдения върху тази част от Мизийската платформа и по-конкретно върху територията между р. Осъм и р. Янтра разкриха, че в този участък също са отложени неогенски седименти и в тях са всечени реките Барата, Студена и Ерийска. Техните наслаги се наблюдават на височина над 50-60 m абсолютна височина, покрити с дебел льосо-педокомплекс до 30-40 m. Посочените по-горе реки формират по вододела широки долини с меки очертания и заливни тераси от няколко километра. Беше наблюдаван врез по течението на р. Барата източно от днешния Никополско-Сломерски вододел, който през неогена е представлявал удължен рид (остров) в посока СЗ-ЮИ и през целия неоген никога не е бил заливан от морски води. Това се потвърждава и от сондаж № В4 при с. Любеново, Никополско. Сондажът е заложен на абсолютна височина H=242.8 m и след като премине пред кватернерния льосо-педокомплекс с дебелина от 62.8 m достига подложката на аптските варовици на абсолютна височина 180 m. (*Евлогиев, Й. 2006*).

Друг подобен остров е съществувал в рамките на гр. Свищов и селата Царевец, Българско Сливово, Драгомирово и Ореш. Този дълбок залив е бил свързан с горномиоценско-плиоценския басейн (дакийски), част от който се разкрива и между гр. Русе и гр. Силистра в Побрежието. Тук в неговия обсег същите седименти с дебелина 50-60 m се наблюдават над четирите кватернерни тераси, оформени изразително върху десния дунавски бряг между градовете Русе и Тутракан. Терасите са всечени върху аптски варовици и отгоре са покрити с последователно увеличаващи се льосо-педокомплекси. (*Михайлов, 1961, 1966; Евлогиев, и др. 1995*). Фиг.12. Но преди да формира тези тераси р. Дунав в този участък е денудирала плиоценските отложения, които са дебели над 50-55 m. И те се разкриват на юг от тях като оформят стръмния дунавски откос над терасите. Затова както край р. Дунав между градовете Русе и Тутракан, така и по вододела между реките Осъм и Янтра, непосредствено над съвременното ниво на р. Дунав, не се наблюдават неогенски отложения, защото се отнесени от дунавските води, а се разкриват различни свити от варовици с кредна възраст. Неогенските седименти се разкриват по вододела между реките Осъм и Янтра на абсолютна височина над 50 m. Също не се разкриват по склоновете на съвременната долина на р. Янтра, защото долината ѝ е всечена по източната периферия на басейна в различни свити на долната креда. Мекият релеф и широките речни долини тук са оформени изключително в неогенски седименти и кватернерни льсо-педокомплекси, затова са останали дълго време неразкрити. Почти на всички геоложки карти в този участък под кватернерните отложения се отбелязват отделни петна от млади наслаги, които се отъждествяват с Белослатинската свита. Тези седименти започват с горнопонтски варовити глини и продължават през дака до горен роман (2.5 Ma). Може да се допусне, че тази горномиоценска трансгресия е свързана с преодоляване на месинския кризис и нахлуване на океански води в Средиземно море и по-нататък към всички вътрешни морски басейни.

В палеогеографията на Дунавската равнина след осушаването на неогенските басейни най-важното събитие в нейната еволюция е свързано с появата на р. Дунав и достигането на водите му до Черноморския басейн. Уточняването на това събитие и извършено от колектива на 42 том в отчетите на изследователския кораб „Гломър Челенджър" още през 1978 година (*Ross D. A., Neprochnov Y. P. et all., 1978*). Това събитие се е случило в края на горна чауда на долния плейстоцен и е свързано с платовския (бакинския) криохрон и съвпада с инвазията на каспийски води в Черно море и разпространението на бакинския комплекс от молюски и остракоди като Didacna parvula и Drudis и Leptecythere adulata. Според руският изследовател В. А. Зубаков (*1986*) платовският (бакинският) криохрон е бил двустадиен и в континенталните отложения от това време му съответстват два хоризонта от льос (донски и миуски). В горния от тях (донския) е проявен двойния геомагнитен „екскурс яхно" (по-рано е известен като „уреки II") с разчетна възраст от 600 000 години. С този криохрон се корелира и пробивът на водите на р. Дунав в Черно море според изследователите от „Гломър Челенджър". Това събитие реално съответства на Минделското заледяване. То е изследвано и доказано и от други изследователи, които са проучвали делтовите отложения на р. Дунав. Те ги наричат „седиментационо сеизмически комплекси" и отбелязват, че вторият делтов комплекс на р. Дунав с дебелина до 700 m „е сформирован през втората половина на ранния плейстоцен, а по-младия (третия) през среден-горен плейстоцен" (*Старовойтов А.В. и др.,1990*). Делтовите наносни конуси лежат върху хоризонтален слой с дебелина около 1000 m, включително и върху

чауда (*Алексеев и др., 1986*). След него следва средноплейстоценската миндел-риска (лихвинска) междуледникова епоха и образуването на две средноплейстоценски и две горноплейстоценски надзаливни тераси, тясно свързани вече не само с р. Дунав, но и с еволюцията на Черноморския басейн.

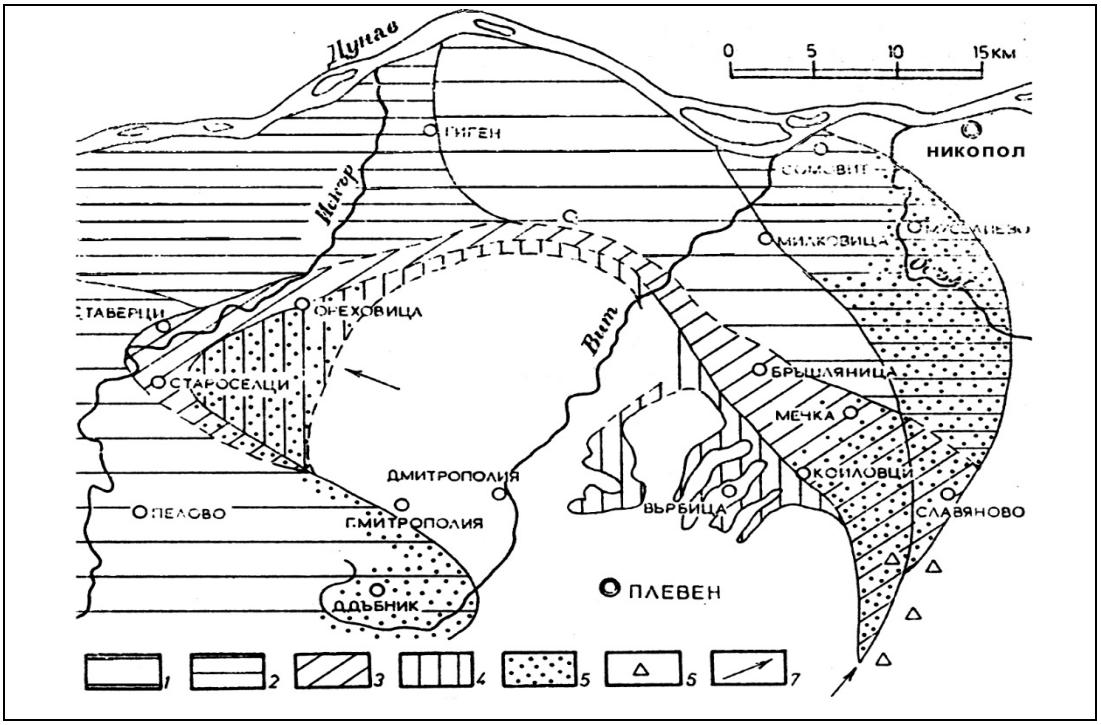
Достоверността на горните изследвания на посочените по-горе автори се потвърждава и от проучванията на Ц. Михайлов (*1966, 1969*), фиг.№ 12, който установява в Побрежието, между градовете Русе и Тутракан, четири надзаливни и две заливни тераси. Те са образувани през средния и горния плейстоцен и през холоцена. Реално при всички изследвания, които се провеждат в Северна България, в обсега на Дунавската равнина, не могат да се търсят тераси по-стари от средния плейстоцен, тъй като всички те са свързани с времето на навлизането на водите на р. Дунав. По всички други реки, които се вливат направо в Черно море могат да се наблюдават и повече тераси, тъй като те са свързани с еволюцията на самото море. В очертанията на Мизийската платформа след осушаването на Дакийския басейн в края на Piachenzian (Пиаченциан) (среден роман, Ma-2.588 ) до края на долен плейстоцен (Calabrian, 0.781 Ma) или около 1.804 Ma (*по International chronostratigraphic chart-2013*) са съществували континентални (сушеви) палеогеографски условия довели до пълно запълване и заравняване на бившия неогенски басейн. Не са установени врязвания, тъй като р. Дунав още не се е появила в територията на току-що осушения неогенски басейн. Нахлуването на водите на р. Дунав в Мизийската платформа се проявяват в заливане най-ниските участъци и лъкатушене из обширната песъчлива-чакълеста равнина като се формират отделни хидроложки понижения–ръкави. Реликти от долини–ръкави са наблюдават из ломската равнина, където те пресичат вододелите между реките Лом, Цибрица и Огоста. Такива ръкави-реликти пресичат всички вододели със североизточна посока и остатък от тях са днешните долини на р. Липница между с. Ковачица и с. Игнатово, Ломско; р. Мокрешка бара при едноименното село, р. Вировска (Мърчевска), Монтанско.Фиг.13. Всички ръкави са започвали от разливите на р. Дунав между селата Арчар и Добридол, Видинско и са формирали лъкатушещи удълбавания върху покритата с чакъли и пясъци бивша дънна повърхност на Ломския плиоценски басейн. Всички посочени по-горе долини-ръкави и днес съществуват, но в най-западните части на вододелите между реките Лом, Цибрица и Огоста, са покрити с льос и само след няколко километра се наблюдават техните бивши понижения, също покрити с льос, представляващи оврази с меки очертания и лек вълнообразен облик на фона на еднообразната равнина. Навсякъде където по-рано са съществували дунавски ръкави, всичащи се в плиоценските седименти, тези древни речни форми са по-ниски, независимо от дебелите льосови навеи, достигащи понякога до дебелина да 70-80 m.

Може още да се допълни, че за интервала от края на Piachenzian (Ma=2.588) до края на долния плейстоцен (Calabrian, Ma=0.781) в северна България за период от 1.804 Ma р. Дунав не е съществувала и всички притоци както от Карпатите, така и тези идващи от юг, откъм Стара планина, са продължавали до носят своите води и наноси и да ги отлагат в продължаващата да потъва северна част на платформата. Този факт може да се види на Геоложката карта на Румъния в М 1: 1 000 000 (*1978*). Всички тераси в Румъния са свързани с появата ва р. Дунав. Представите на българския изследовател J. Evlogiev в обща публикация с P. Enciu са погрешни и неверни (*2001*).Това е отразено и в неговата докторска дисертация (*2006*). Там са посочени много верни факти, но неправилно интерпретирани. От посочените по-горе данни се установява, че р. Дунав реално се появява в края на долен плейстоцен (Calabrian) и няма как да се образуват 6 (шест) тераси и понеже J. Evlogiev не ги установява на територията на Северна България ги търси под съвременното средно ниво на р. Дунав. Всички схеми, в които се посочват шест броя тераси са измислени и неверни. Изводът, че след като са установени осем льсови хоризонта и седем почвени, трябва да съществуват и шест тераси е също грешен извод. Например в Цокурския лиман на Кримският полуостров са открити 10 почвени слоя само за кватернера (*В.А. Зубаков, 1986*). Изрисуваната плиоцеска денудационна повърхнина (PDS) на вододела между гр. Никопол и с. Сломер е просто невярна, тя лежи върху кватернерни отложения с дебелина 62.8 m (фиг. № 28), което е недопустимо. Никъде не е отбелязано, че се отнася за повърхнина, разположена под кватернерните отложения. Що се отнася до т.н. Старо абразионно-акумулативно ниво (OAAL), което се състои от две нива: долнороманско-(Piachenzian) прибрежно и горнороманско (Gelasian) - долноплейстоценско (Calabrian) с прибрежна и акумулативна зони, също е плод на измислица. На посочените литолого-стратиграфски разрези на старото абразионно-якумулативно ниво (OAAL) (Фиг.19, Фиг.22) никъде не се установява врязване в разреза, а има само надслоявания, които непосредствено следват над плиоценските седименти. Това се отнася както до базалните чакъли и пясъци (BGS) със средна дебелина 12-14 m , така също и за покривните чакъли и глини (CGS) със средна дебелина около 8-9 m, влизащи в интервала от началото на Gelasian (2.588 Ma) до края на долен плейстоцен (Calabrian, 0.781 Ma). В такива граници горно романски (Gelasian)-долно

плейстоценски (Calabrian) (*International chronostatigraphic chart, 2013*) отложения са установени в Дунавската равнина, Предбалкана и Стара планина. Тази палеогеографска картина е установена и от други автори в обсега на посочените по-горе тектонски и геоморфоложки зони (*Бончев С., 1938; Мишев, 1959; Яранов, 1960; Минков, 1960; Михайлов, 1966, 1969; Мишев,Вапцаров, 1968, 1984; Вапцаров, Стоилов 1969 и много други*). Няма врязване, защото още не се е променил ерозионният базис. Той се променя радикално, когато се появяват водите на р. Дунав, които се разливат из обширното песъчливо дъно на осушения плиоценски басейн и покриващите го горноромански-староплейстоценски (Gelasian-Calabrian) чакъли и пясъци и после се формират наблюдаваните по склоновете на долината на р. Дунав четири надзаливни тераси. Преди терасите да се образуват речните води на р. Дунав се врязват не само в тези покривни надслоени чакъли и пясъци, но ще отнесат и не особено дебелите горнопонтски-плиоценски седименти по неговото поречие в участъка между р. Осъм и р. Янтра и в Побрежието между гр. Русе и гр. Тутракан.

Неверни са и твърденията, че през заледяванията се осъществява ерозионно врязване, а през междуледниковите епохи натрупване на алувий. Геолого-геоморфоложкото съдържание на междуледниковите епохи се изразява в рязко преобладаване на алувиалните и блатни отложения, също рязко се засилва дълбочинната ерозия и формиране на дълбоко врязани долини. По речните склонове на долините се формират тераси, а по морските крайбрежия също тераси и коралови рифове. През ледниковите епохи се натрупват морени, льос и се засилват делувиално-солифлукционните процеси. Речните долини се препълват и погребват от алувии и делувии, придружават се от някои мразови явления, замръзване на почвения слой, морени и льос. На всички разрези на кватернерните отложения от умерения физико-географски пояс през време на редуващите се заледявания навсякъде се започва с алувиални отложения с различна дебелина и нагоре следват льосови хоризонти, прослоени от погребани почви, образувани през топлите междустадиални и междуледникови интервали.

На края бихме искали да се спрем на Белослатинската свита и да се опитаме да направим корелация със седиментите, които се разкриват на срещуположния румънски бряг и напоследък намерили място в публикациите на Enciu, Andreesku, (*1987*) и Enchiu et al., (*1990*). Тази свита беше за първи път въведена в употреба през 1988 от Коюмджиева и Попов. Те смятат, че тя обхваща интервал от долен меот до края на плиоцена. Според тях при гр. Оряхово се наблюдава вертикално съчленяване и преход на Белослатинската свита над Лехчевския член на Смирненската свита с бракична долномеотска фауна. Тук Белослатинската




Фиг. 11. Фациална карта на Плевенско през горния волин. Морска фациална зона, (*Атанасов и др., 1971*)
1. участъци, залети от морето още през долния волин; 2. участъци, залети от морето още през горния волин; 3. преходна фациална зона; 4. континентална фациална зона; 5. пясъци; 6. олистостроми; 7. посока на постъпване на теригенен материал

свита е дебела около 125 m. и на 40–50 m над основата са намерени останки от горномиоценския Tetralophodon grandicivus Schlesinger. Южно от гр. Оряхово Белослатинската свита заляга трансгресивно върху различни неогенски седименти, включително и върху варовиците на Лехчевския член при с. Крушовица. Като се има предвид надморската височина при гр. Оряхово (абсолютна височина в рамките на града 225.2 m) и се приеме, че сондажът е направен западно от града, ориентировъчно на 200 m н.в. и се извадят 125 m на сондажа, се получава около 75 m. н.в. или ако още веднаж се извади абсолютната височина на брега при гр. Оряхово, която е 28.8 m ще се получи, че горномеотските отложения се наблюдават на същата височина както на румънския бряг при с. Завал в устието на р. Жиу, т.е. срещу гр. Оряхово, а тя е на отново на 46.2 m н.в. Може да се направи общ извод, че на двата бряга на една и съща височина се наблюдават сарматските отложения и непосредствено лежащите върху тях дакски седименти на свитата Бербешти, която е еднозначна на Арчарската свита. Като се има предвид, че румънските изследвания се базират на много сондажни данни, с обилни макро и микрофаунови ансамбли, можем уверено да приемем, че на българска територия Белослатинската свита има горномиоценска-плиоценска възраст.

През периода горен дак–среден роман на българска територия са съществували няколко остатъчни речни коридори, които от запад на изток са: Палеоогоста, Палеовит с всички реки, идващи от Плевенските възвишения и на изток реките Палеоосъм и Палеоянтра. Постепенното засушаване, което започва още в края на горния миоцен, когато се отлагат горнопонтските пясъци (*Берегов, 1940*), последвани от дакски (гетиан–долнопарсковиански) става окончателно запълване на трите най-големи остатъчни речни долини. Всъщност с тяхното запълване се отбелязва финалът на неогенските трансгресии в Северозападна България. Покривните чакъли, които днес се наблюдават повсеместно из цяла България представляват вече друга палеогеографска картина, но тя вече е свързана с джеласиан-калабрийските заледявания. Последните слагат началото на появата на студените аридни епохи, а в по-южните субтропични територии на плувиални епохи. Концепцията за аридните и плювиалните епохи е предложена още през 1863 г. от американеца Jemieson. По-късно неговата хипотеза беше блестящо потвърдена от Rassel (*1885*) и Gilbert (*1890*), които изучиха геоморфоложката история на езерата Лахонтан и Боневил в Северна Америка (Големият басейн в Кордилерите). Тогава се доказва синхронността на засилване на влажността и плувиалността като отражение на ледниковите епохи за субтропичните физикогеографски пояси. Тези плувиални условия обхващат субтропичните пояси на двете полукълба, както и някои терени от най-южната част на умерения пояс. В нашата страна това влияние се изразява в натрупване на изветрели продукти в подножията на планините и техните долини през епохите на заледявания и по-късно тяхното транспортиране по цялата територия на България през време на междуледниковите епохи. Всъщност, това са известните „покривни чакъли" на Ст. Бончев (*1923*). Реално в Северна България винаги е съществувал през време на заледяванията студен ариден климат с голям недостиг на влага, докато в Южна, на отделни участъци се проявява плювиален режим.

Във връзка с изучаването на преднеогенския релеф в Северозападна България (*Боков, 1968*) се достигна до някои изводи, които не са изчерпали и днес своето значение. Верен е и изводът му, че погребаните геоморфоложки форми, образувани през олигоцена и ранния миоцен деформират структурната картина на горнокредно-палеогенския подетаж и долната половина на неоген–четвъртичния подетаж (*Боков, Василева, 1989*). Потвърдени са неговите заключения, че нахлуването на морето е било много бързо, защото няма силна абразия, т.е. трансгресията е имала характер на ингресия. Последното се потвърждава от отделни заблатявания, овъглен растителен детритус, както и от наличието на алувиални, делтови и несортирани наслаги, тънката хоризонтална слоистост, обусловена от прослояването на глините с милиметрови прослойки от бяло варовито праховидно вещество или пък от глинести ивици (до 1–1.5 cm), набогатени с $CaCO_2$. Предполага се, че това са климатични ивици, свързани с годишните сезони, но този факт говори и за липса на силни подводни течения. Обикновено в тези дълбоки подводни долини никъде не са установени гипсови залежи, те се наблюдават в периферни плитки участъци на платформата (Видинско и на вододела при гр. Оряхово). Той допуска, че липсата на ръбно понижение на Предбалкана се дължи и на този преднеогенски разчленен релеф. Този важен факт не може да бъде по-късно оценен от други изследователи, които лансираха отначало идеята за ръбно понижение, а по-късно за миоценска надлъжна депресия, каквато реално никога не е съществувала и затова той предлага за Ломския басейн наименованието периорогенна депресия (понижение). И така, ако трябва да определим възрастта на Белослатинската свита на основата на подробните изследвания на румънска територия точно срещу българския брят, между гр. Козлодуй и с. Сомовит, се установява, че тук са наблюдавани като най-стари неогенските скали на сармата, реално българската Димовска свита, възраста на която е горен волин–долен бесараб. След осушаване

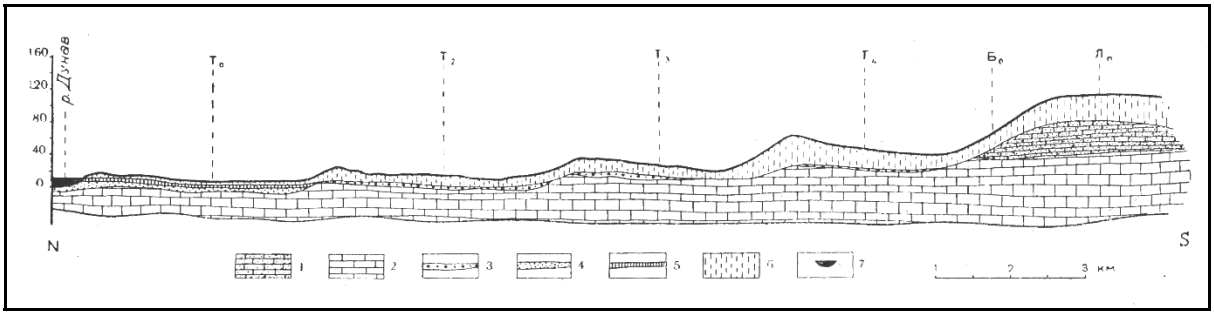
на сарматското море през долен херсон (горен сармат) и нахлуването на следващото неогенско море (трансгресия) през долен меот, се отлагат теригенните седименти на Смирненската свита (*Коюмджиева, Попов, 1988*). Както е известно Лехчевският член от същата свита се проследява по крайбрежието на Ломския басейн, като на запад започва при с. Държаница, Видинско и продължава в източна посока през селищата, Ярловица, Дреновец, Киселево, Дреновец, Смирненски, Безденица и по долното течение на р. Огоста от с. Громшин до гр. Оряхово (Фиг. 12, 13). На румънска територия такива седименти досега не са установени. Непосредствено върху сармата при с. Мачешу на абсолютна височина 65 m в сондаж № 47 по оста на издигането Гура Въй–Жиу на дълбочина между 125-150 m (дебелина около 25 m), направо върху сармата се разполага свитата Меришани с възраст среден–горен понт. При селищата Бекет и Островени дакските седименти лежат направо върху сармата. При с. Завал дакските (пиаченцките) седименти се наблюдават върху сарматските на дълбочина 17 m, при абсолютна надморска височина на брега от 28.8 m.

Само на 1 km северно от тези граница вече се наблюдават и понтски седименти с възраст среден-горен понт и по-нататък съответно свитата Бербешти (гетиан-долен порсковиан), докато следващата свита Жиу–Мотру е отмита и отнесена. Ако трябва да уточним долната и горната граница на седиментите срещу българския бряг, които могат да се корелират с Белослатинската свита, то е повече от очевидно, че обхватът на тази свита е меот, понт, дак (гетиан–долен порсковиан) и (горен парсковиан до среден роман), свита Жиу–Мотру, респективно Брусарската свита на българска територия.

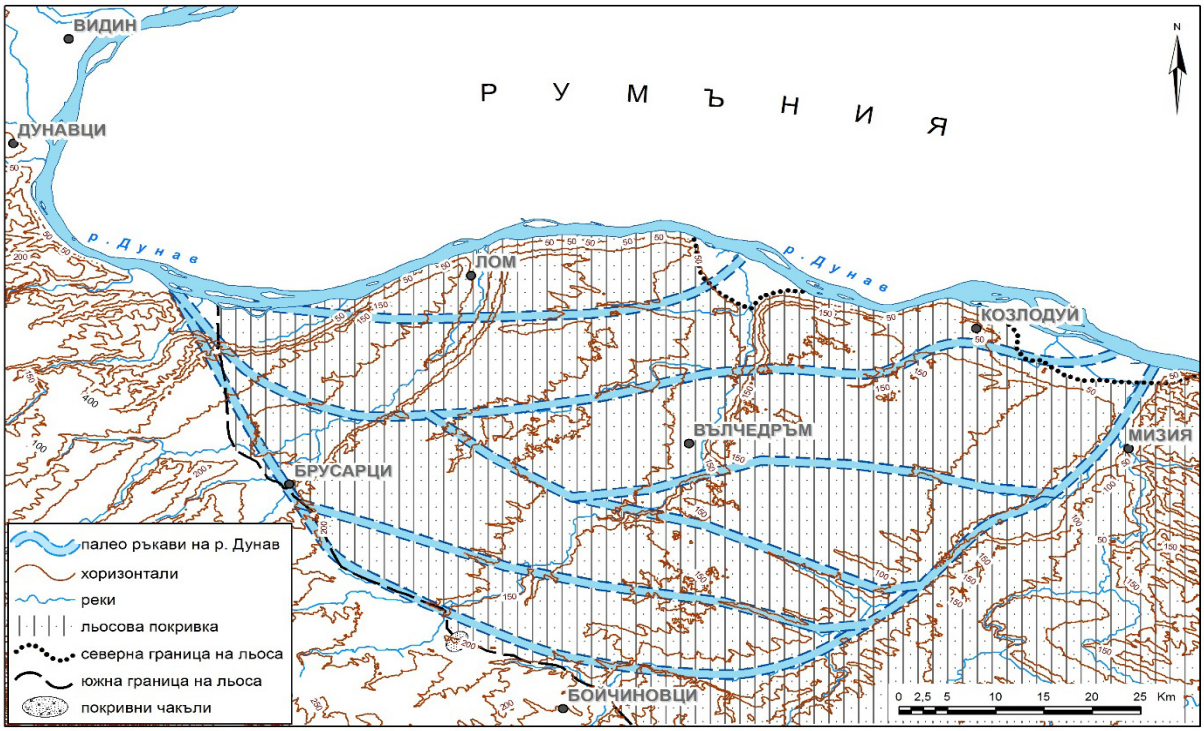
Видяхме, че след с. Бистрецу, в западно посока на румънска територия (сондаж № 30), рязко се увеличава дълбочината на свитата Бербешти от 30.9 m на 92.6 m. Тук се наблюдава старата долина на р. Палеовит, която на румънска теритоия е завивала на запад и се е вливала в Ломския коридор, където нейната дебелина се увеличава до 150 m. На юг от р Дунав, при гр. Лом, дебелината на тази свита е 100-120 m. Очевидно, на българска територия, източно от линията Лехчево-Оряхово, през долен меот и по-нататък до днешен ден не е настъпвала неогенска трансгресия. Данните за наличие на долномеотски седименти, които лежат над Лехчевския член на Смирненската свита в района на Оряхово, и в които е открит горномиоценски Tetralophodon grandicivus Schleslnger насочват за континентални отложения. Не трябва да се забравя, че цялата Белослатинска свита е континентална и се състои от различни литоложки развовидности: пясъци, най-често средно до едрозърнести, често с лещи от конгломерати, алевритни глини и алеврити. Това са речни отложения с коса слоистост, със следи от стари речни корита, изобщо бърза хоризонтална и вертикална изменчивост на литологията. Дори при с. Крушовица, южно от гр. Оряхово, тези седименти лежат направо върху Лехчевския член. на Смирненската свита.

Това ни дава основание да допуснем наличие на река и това може да бъде старата палеодолина на р. Палеовит, заедно с всички речни потоци, идващи от Плевенските височини, които са се вливали в този широк участък между р. Огоста на запад и р. Искър на изток. И наистина, Белослатинската свита се наблюдава изцяло върху вододела между р. Скът на запад и р. Искър на изток.

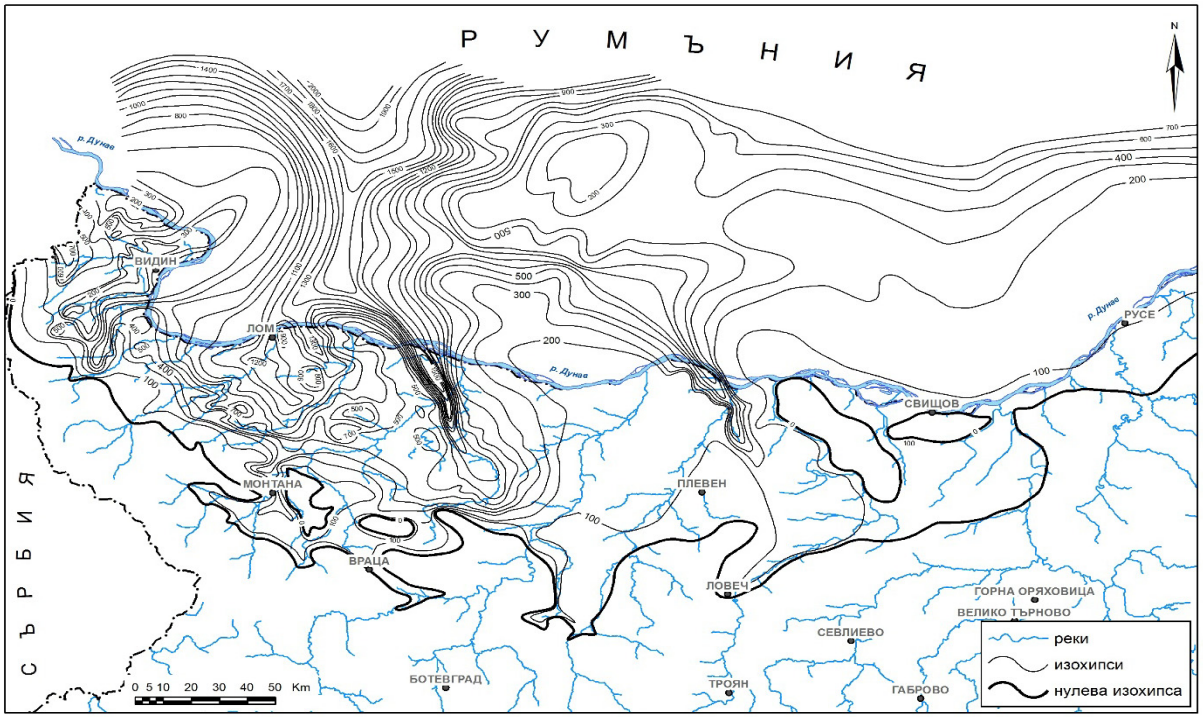
Не е установена в устието на р. Огоста, но може да се види източно от гр. Оряхово на височина 46-50 m да лежи върху Фуренската свита, а на изток върху Димовската, при с. Долен и Горен Вадин. Същата свита я няма и в устието на р. Искър. На запад от с. Попица, с. Борован




Фиг. 12. Обобщен схематичен геолого-геоморфоложки профил на Побрежието на р. Дунав (*по Ц. Михайлов, 1966*). 1) плиоценски глинесто-песъчливи отложения; 2) аптски варовици; 3) базални чакълесто-песъчливи алувиални отложения от надзаливните тераси; 4) алувиални чакълесто-песъчливи отложения от заливната тераса; 5) алувиални глинесто-песъчливи отложения от заливната тераса; 6) льосова покривка (льосови образувания и льос); 7) река Дунав, $T_0$-заливна тераса 2-4 m, 4-6 m; $T_2$-втора надзаливна тераса 15-22 m; $T_3$-трета надзаливна тераса 29-36 m; $T_4$-четвърта надзаливна тераса 59-63 m; Бо – брегови откос; Лп – льосово плато




Фиг. 13. Палеоръкави на р. Дунав в обсега на Ломския плиоценски басейн съществували в края на долен плейстоцен




Фиг. 14. Контур на неогенските басейни и схема на донеогенския врез на Старопланинските реки (*по Атанасов и др.1971; Боков, Витанова, 1980, 1989; Paraschiv, 1983; Велев и др., 1988; Kojumdgieva & Popov, 1989; Недялкова, Даракчиева, 1994* и с допълнения от авторите)

и с. Софрониево също никъде не се разкрива или по-точно не е забелязана досега. Всичко това ни дава основание да твърдим, че след долен херсон през горния херсон в този участък е настъпило пълно осушаване и през време на новата трансгресия, започнала през меота тя не е заливана от морски води. Тук вече са се вливали всички речни притоци на р. Палеовит, включително и тези идващи от Плевенските възвишения и затова навсякъде наблюдаваме Белослатинската свита от р. Скът на запад до р. Вит на изток и то със значителна дебелина до 123 m. Затова изводът на Коюмджиева и Попов (*1988*), че обхватът на Белослатинската свита

започва вероятно още през меота е логичен, независимо че на румънска територия най-старите доказани скали и свити са със средно-горнопонтска възраст. Може да се заключи, че окончателно запълване на старите преднеогенски палеодолини Палеоогоста, Палеовит, Палеоосъм и Палеоянтра е станало в края на долния роман с Брусарската (Жиу-Мотру) свита. С това приключва горномиоценско–плиоценският етап от еволюцията на Мизийската платформа в Северна България и започва един нов период, който след новото уточняване на кватернера е т.н. джеласиански етаж. Той обхваща времето от 2.558 Ma до 1.806 Ma или това е около 0.782 Ma. (това е обхватът на среден и горен роман). Джеласианът влиза в горната половина на нормалната магнитна епоха Гаус и долната половина на обратната магнитна епоха Матуяма до началото на нормалния магнитен епизод Олдувей (1.67–1.87 Ma). Всъщност, от тази епоха започва началото на големите заледявания през ранния кватернер (джеласиан) и плейстоцена. Може още да се допълни, че долината на Палеоогоста, която се е разполагала източно от гр. Лом при с. Ковачица–Долно Линево се е запълвала вече през епохите меот–понт–дак до среден роман само от реките Огоста, Лом и всички други реки от северната периферия на Западния Предбалакан и Стара планина. Може да се заключи, че предбаденските долини около гр. Лом, както и долините на реките Палеовит, Палеосъм и Палеоянтра най-късно престават да съществуват като остатък от древни долини в рамките на северно ориентираната Ломска депресия. Нейното начало вероятно трябва да търсим далеч назад, още през мезозоя и то от горен триас (рет), когато след кимерската фаза се оформят редица понижения и издигания (*Атанасов и др. , 1971*), според други-хорстове и депресии, между които и бъдещото Ломско–Крайовско мердионално понижение (*Enciu, P. et al., 1990*) (Фиг. 14).

**Заключение**

Разгледаната стратиграфия на неогенските седименти дава възможност да се проследи по техните запазени на отделни места разкрития пространството на разпространение на неогенските басейни. На изчертаната схема на неогенските басейни и врязванията на преднеогенските долини са използвани материали както на български, така и на румънски изследователи и се получи поне за българската територия значително по-друга палеогеографска картина. Оказа се на базата на различни проучвания, че на българска територия, врязванията на някои от старопланинските палеореки е надхвърлял 1500 m в Мизийската платформа и е навлизал дълбоко в обхвата на Предбалкана, включително и в Стара планина. Особено дълбоко навлизане, най-вече на сарматския басейн, се наблюдава по долината на р. Огоста в пространството на Салашката синклинала, между Предбалкана и Стара планина, южно от днешния гр. Монтана. В този участък се наблюдават и много острови-височини, остатък от Монтанската антиклинала, като Пъстрината, Боровanската могили и др. Също дълбоко навлизане се наблюдава по горното течение на р. Скът, понастоящем в тази участък речното легло е широко около 1.5 m, вероятно през сармата е осъществявана връзка с водите на р. Искър след осушаване на Мездренския палеогенски басейн. Подобно дълбоко проникване на палеорека с врез до 11 m на височина 320 m на седименти с баденска възраст, се наблюдава на вододела между реките Вит и Златна Панега в околностите на гр. Луковит и после на юг той се свързва с горните течения на реките Бели и Черни Вит, но вече в пределите на Стара планина. Обаче най-сериозни изменения се наблюдаваха на вододела между реките Осъм и Янтра. Там се установиха плиоценски седименти над 50-60 m абсолютна височина, както е в Побрежието по течението на р. Дунав, между градовете Русе и Тутракан. Там южно от Дунавските тераси на абсолютна височина 55-60 m се наблюдават горнопонтски-плиоценски седименти с дебелина около 55 m. След нахлуването на р. Дунав, неогенските отложения са еродирани и след това са формирани четири тераси, покрити по-късно със средно-горно плейстоценски алувий, льос и педокомплекси. Терасите са вдълбани върху лежащите отдолу аптски варовици, а покриващите ги плиоценски отложения формират стръмния откос на десния дунавски бряг. Такава е и картината на вододела между реките Осъм и Янтра. Там такива малки реки като Барата, Студена и Ерийска образуват долини с обширни заливни тераси, широки до 2-3 km и никъде не се показват кредни варовици.

Релефът е мек и плавен, без разкрития на кредни варовици. Само на отделни маста са установени петна от пясъци, на които условно им е дадана плиоценска възраст и са привързвани към Белослатинската свита Има и още една особеност, която е характерна за Побрежието и отсрещния румънски бряг. Тук между гр. Русе и гр. Тутракан на българска територия, съответно в Румъния, между гр. Гюргево и гр. Олтеница, не се наблюдава първата надзаливна тераса –Т 1 (10-12 m). Тя е еродирана. В останалата част по крайбрежието на р. Дунав, по българския десен бряг, навсякъде тази тераса е много добре засебена, включително и в Румъния. Причината е непрекъснатото издигане на този участък като част от

Северобългарското подуване (Лудогорско) и формиране на румънска територия в него на т.н. коридор на Бурнас. В началото на този коридор тази тераса може да се види при гр. Гюргево и на изток в устието на р. Арджеш, аналогично и на българска територия. На румънска територия, даже в основата на заливната тераса, се наблюдава и горнището на романските (Piachenzian) отложения, последвани от долноплейстоценски (Calabrian), разкриващи се по северния и южния откос на този надлъжен рид, успореден на р. Дунав. Този издигащ се рид реално спира всички потоци, които идват от север и ги принуждава да се насочват на изток към р. Арджеш.

**Литература:**


1. Асеев, А. 1985. Геоморфология четвертичного периода. В: XI конгресс ИНКВА итоги и пирспективы, М.,Изд. „Наука" с. 137-153.
2. Атанасов, А., Ст. Богданов, Хр. Дачев. ,1971. Мизийска плоча. Тектонски строеж на България. ДИ" Техника",138-204.
3. Аладжова-Христчева, К., Л. Недялкова, Ц. Цанков. 1991. Литостратиграфия и деформации палеогеновых отложеннй в западной и средней части Предбалканья и Стара-планины. — Geologica Bale., 21, 6, p. 49—90.
4. Алексеев, М.Н., А. А. Чистяков, Ф. А. Щербаков. 1986. Четвертичная геология материковых окраин. М.,Изд. „Недра". 243.
5. Атанасов, Г., Попов, Н., Трашлиев, С., Коюмджиева, Е., Горанов, А., & Данов, Д. 1971. Литолого-стратиграфска и фациална характеристика на сармата в Плевенско. Год. СУ, Геол.-геогр. фак, 63, 191-216.
6. Боков, П., Денчева Цв. 1984. Палеогеоморфология на Ломската депресия към края на къснокридната и през палеоценското епоха и газоносна перспективност. Нефтена и въглищна геология, 20, 25-37.
7. Боков, П., Н. Витанова, И. Монахов. 1978. Геологические карты Северной Болгарии по горизонтальным срезам. Geologica balcanica, 8, 4. 79-86.
8. Берегов, Р. 1940. Плиоценът в Ломско. Сп. БГД, т.XI, кн.1, София.
9. Боков, П. 1968. Геологическое строение и нефтегазоносность Ломской депрессии (Северная Болгария). Дисс. на соиск. уч. степени канд. геол.-минер, наук.
10. Боков, П., Т. Василева, 1989. Структурно-тектонические особености Северо-Западной Болгарии, Geol. balcanica, 19, 2, p. 3-20.
11. Бончев, С. 1938. Геоложка карта на България в М 1:126000. листове: Брегово, Видин, Лом, Оряхово. София.
12. Бончев, С. 1923. Геология на Тимошката окрайнина. Сп. Бълг. природоизпит. д-во, 10, с. 1-20.
13. Вапцарова, А. 1988. Литология триасовых пород в Северной Болгарии и связанные с ними микрофации ( по данным бурения ).Geologica Balcanica;18., 5., 3-32.
14. Вапцаров, И., Д. Стоилов. 1969. Плио-плейстоценският етап от развитието на релефа и неговото място при образуването на разсипното златно находище в горното поречие на р.Огоста. Из. на БГД., IX, 27-35.
15. Велев, В., Т. Ненов, Св. Попов, С. Йовчев. 1988.Основные черты неотектонического развития и особености глубинного геологического строения Мизийской платформы между реками Арчар и Осым. Geologica balcanica, 18, 6. Sofia, 79-91
16. Вапцаров, И. 1964. Неотектоника на северния склон на Родопите между Асеновград и с.Сусам, Хасковско, с прилежащата му част от Тракийската низина. БАН, Изв. Геогр. и-т, т VIII, С. с. 61-76.
17. Гълъбов, Ж., К. Мишев. 1963. Тектонски деформации на плиоценските повърхнини на северната ограда на Тракийската алувиална низина, западно от р. Стряма. БАН, Изв. Геогр.и-т, т. VI, с. 49-71.
18. Доленко, Г. Н. 1976. Развитие нефтегазоносных провинций в свете тектоники литосферных плит. Геол. журн, (3), с. 19-27.
19. Евлогиев, Й. 2006. Плейстоценът и холоценът в Дунавската равнина. Дисерт. дгн. ГИ, БАН. 263 с.
20. Евлогиев, Й., В. Шопов. Н.·Попов. 1995. Сравнителни геоморфоложки и биостратиграфски изследвания на кватернерните континентални наслаги в Централна Северна България. Сп. БГД, т. 56, с. 47-55.
21. Зубаков, В. А. 1986. Глобальные климатические события плейстоцена. Гидрометеоиздат; с. 287.
22. Колалонго, М.Л, Пасини Дж.,Раффи С., Рио Д., Сартони С., Спровиери Р. 1984. Биохронология морского плиоцена и нижнего плейстоцена Италии, в: Четвертичная геология и геоморфология: Секция С.03, доклады т. 3, изд. Наука, М. с.49-57.
23. Коюмджиева, Е., Попов, Н. 1966. Основни линии на палеогеографската еволюция на Северозападна България през неогена. - Сп. Бълг. геол. д-во, 27, 3: 313-316.
24. Коюмджиева, Е., Станчева, М., Дикова, П. 1982. Опорни профили по сондажи на неогена от Северозападна България. - Палеонт., стратигр. и литол., 16: 49-60.
25. Коюмждиева, Е., Н. Попов. 1988. Литостратиграфия на неогенските седименти в Северозападна България. Палеонтология, стратиграфия и литология. кн. 25, БАН, С. с. 3-26.
26. Манев, Г., В. Вутков, Стоянов. 1989. Структурно-механични и реологични свойства на глините от покриващите комплекси на Ломския въглищен басейн. В кн.:Геология и полезни изкопаеми на Северозападна България. Д.И. "Техника", С., с. 179-186.

27. Минков, М. 1960. Льосът и льосовидните седименти между реките Скомля и Огоста. Труд.върху геологията на България, серия Стратиграфия и тектоника, кн. I, БАН, С. с. 249-294.
28. Михайлов, Ц. 1969. Льосовата покривка на речните тераси в Българските крайдунавски низини.Изв.на БГД, кн. IX, 65-75.
29. Михайлов, Ц., 1966. Геоморфология на Дунавските тераси в Побрежието. Изв. БГД, кн. VI, 47-60.
30. Михайлов, Ц. 1961. Льосът и льосовидните образувания между долините на Огоста и Искър. Изв. на БГД, кн. V, 37-79.
31. Мишев, К., И. Вапцаров. 1984. Вилафранкският етап в България: палеогеоморфоложки и морфотектонски проблеми. Изв.БГД, т.XXXII, Наука и изкуство, София, 9-18.
32. Мишев, К. 1959. Геоморфоложки изследвания на Дунавската хълмиста равнина между реките Видбол и Огоста. Изв.Геогр. и-т, с. 27-83.
33. Мишев, К., Вапцаров И. 1968. Върху някои особености от еволюцията на релефа през плио-плейстоцена по данни от Средния Предбалкан. Из. БГД, БАН, 3, 7-20.
34. Недялкова, Л., С. Даракчиева. 1994. Относно присъствието на Опанецката свита между Луковит и с.Тодоричане, Ловешко. БАН, Палеонтология, стратиграфия и литология, 30, София, 37-41.
35. Попов, Н., Христанова, М., Бецов, М. 1961. Върху присъствието на долен меот по долината на р. Огоста. – Сп. Бълг. геол. д-во, 22, 3: 287-292.
36. Ронаи, А., 1984. Основы четвертичной стратиграфии Паннонского бассейна, в: Четвертичная геология и геоморфология: Секция С.03, доклады т. 3, изд. Наука, М. с. 32-36
37. Старовойтов, А., М. Иванов, Л. Кульницкий, А. Мусатов, В. Калинин. 1990. Строение и история формирования подводного конуса выноса Дуная. В: Геологическая эволюция западной части Черноморской котловины в неоген-четвертичное время, изд. БАН, София, с. 610-617.
38. Стойков, С. 1960. Плиоценът във Видинско и Кулско.Сп.на БГД, кн.I, с. 28-37.
39. Яранов, Д. 1960. Тектоника на България. ДИ "Техника", с. 262.
40. Bandrabur, T. 1963, Contribuţii la cunoaşterea geologiei şi hidrogeologiei depozitelor cuaternare din bazinul Sf. Gheorghe. Dări de Seamă ale Şedinţelor Comitetului. Geologic, L (2): 415-431.
41. Bandrabur, T. 1971, Intinerary: Braşov-Coşeni-Sf. Gheorghe-Malnaş-Bicsad-Tuşnad-Braşov. Guidebook for excursion Prahova Valley - Braşov Basin, INQUA, 26-29.
42. Enciu, P. ,R. Macalet , I. Patrutofu, V. Macalet. 1990. Contribution to the kn owledge of Pliocene formations in the South Oltenia plain (Saraceaua-Desnatui-Jiu interflure) Rom, J., Stratigrapy. 76, p. 99-104. Bucharest.
43. Enciu, P., I.Andreesku, 1987.·Stratigraphy of the Pliocene-Pleistocene depos its in the south-western part of the Dacic Basjn. D. S. Inst. Geol.,Geofiz., 74/4, E/6 p. I4I-I56.Bucurest.
44. Evlogiev, J. and Enciu P., 2001. Lithostratigraphic correlation of the geomorphological forms in Central North Bulgaria and South Romania. Geologica Balcanica, 30 (3−4), 3−9.
45. Gilbert, G. K. 1890. Lake Bonneville. United States Geological Survey Monograph 1, 375p.
46. Kojumdgieva, E., Popov, N. 1989. Paléogéographie et évolution géodinamique de la Bulgarie Septentrionale au Néogéne. – Geol. Balcanica, 19, 1: 73-92.
47. Kretzoi, M., M. Pécsi, 1979. Pliocene and Pleistocene Development and Chronology of the Pannonian Basin. — Acta Geol. Acad. Sei. Hung. 23. pp.3-33
48. Liteanu, E. 1955. Fauna deciana de la Zdvdlu. Acad. R.P.R., st. Sect. geol., geogr., t. VII, Bucuresti, p. 763-768.
49. Mankinen, E. and Dalrymple, G., 1979. Revised geomagnetic polarity time scale for the interval 0--5 m.y. B. P. Journal of Geophysical Research 84: doi: 10.1029/0JGREA0000840000B2000615000001. issn: 0148-0227.
50. Mankinen, E.A. and Dalrymple, G.B., 1979, Revised Geomagnetic Polarity Time Scale for the Interval 0-5 m.y. B.P.: Journal of Geophysical Research, v. 84, no. B2, p. 615-626.
51. Motas, C., L. Tomescu. 1983. L'avant-fosse carpathique roumaine. Evolution et contenu, An. Inst. Geol. Geofiz., 60, pp. 147–158.
52. Nikolov, I. 1965 Neue Funde pliozäner und pleistozäner Säugetier-fauna aus dem Gebiet von Bjala Slatina. Trud. Vrh. Geol. Bulg., Paleont., 7: 225-259, 2 f., 1 tab., 9 pl., Sofia (en bulgare, resume en allemand).
53. Pana, I., C. Enache, I. Andreescu, 1981. Fauna de molusle a depozitelor cu lignite din Oletenia, I.P.Oltenia Craiova, 276 p.
54. Paraschiv, D. 1983. Stages in the Moesian Platform history, An. Inst. Geol., Geofiz., 60, pp. 178–198.
55. Ros, D. A, Y. P. Neprochnov et al., 1978. Initial report of the Deep Sea Drilling Project., v. 42, part. 2; p. 1244.
56. Russell, I. C. 1883. Geological history of Lake Lahontan, United States Geological Survey Monograph 11, 288p.
57. Schoverth, E., T. Bandrabur, 1963. Data noi asupra Pliocenului din zona Gura Jiuful.Com. Geol., Inst. Geol., Sl. tehn. econ., Bucuresti, p.63-70
58. Stancheva, M. 1985. Zonation of the Pontian in Northern Bulgaria on Ostracod Fauna. — Geologica Balc.,15, 2, 97—103.
59. Zagwijn, W.H. &. Doppert J.W.Chr, 1978 Upper Genozoic of the Southern North Sea Basin: Palaeoclimatic and Palaeogeographic evolution. Geol. Mijnbouw 57: 577-588.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# PARALLEL SOLVING OF SITUATIONAL PROBLEMS FOR SPACE MISSION ANALYSIS AND DESIGN

**Atanas Atanassov**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: At_M_Atanassov@yahoo.com*

***Keywords:*** *situational analysis, orbital events prediction, parallel calculations, parallel algorithms, multi-core calculations.*

***Abstract:*** *The preparations of space missions are based on different kinds of simulations. The design of satellite missions demands taking in account many geometrical and physical constrains. The determination of time windows of satellite orbital events (suitable for satellite experiments or routine operations) based on computer simulation and specific algorithms is known as* ***situational analysis****. When complex multi-satellite (with multi sensors on every of them) missions are analyzed, many such situation problems are solved for every sensor or complex of one type or different type of sensors. Some of situational problem account more than one constrains and some of them are connected with many calculations.*

*One way for reducing of calculation time for situational problems is parallelization of algorithms and using of multi core processors. An idea for situational analysis problems solver based on threads' parallelism is described. Some fragments of program realization in Fortran 95 language are shown. This solver is intended to work as subsystem of system for analysis and design of space multi-satellite missions. The solver is developed for working on multi core platforms.*

# ПАРАЛЕЛНО РЕШАВАНЕ НА СИТУАЦИОННИ ЗАДАЧИ ПРИ АНАЛИЗ И ПРОЕКТИРАНЕ НА КОСМИЧЕСКИ ЕКСПЕРИМЕНТИ

**Атанас Атанасов**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: At_M_Atanassov@yahoo.com*

***Резюме****: Подготовката на космически експерименти се основава на различни видове симулации. Проектирането на космически експерименти изисква отчитане на геометрични и физически ограничения. Определяне на времеви интервали подходящи за провеждане на експерименти и извършване на рутинни операции, основано на компютърни симулации и специални алгоритми е известно като* ***ситуационен анализ****. При анализ на многоспътникови експерименти (с много уреди на всеки от спътниците) ситуационни задачи се решават за всеки уред поотделно или за уреди от еднакви или различни типове, участващи в решаването на една или повече научни задачи. Някои от ситуационните задачи са свързани с проверка на повече от едно условия, които могат да изискват много изчисления.*

*Начин за намаляване на изчислителното време за ситуационни задачи е паралелизация на алгоритмите и използване на многоядрени процесори. Описана е идея за процесор за решаване на ситуационни задачи основан на изчислителни нишки. Показани са фрагменти и подпрограми на Fortran 95. Този процесор е замислен да работи като подсистема на програмна система за симулации на многоспътникови експерименти.*

## Introduction

The simulation of complex satellite missions, related to a broad circle of scientific and applicable problems, based on different kind of experiments and determination of suitable condition for their performance, demands satisfaction of large number of temporal, angle, spatial, physical and other kind of restrictions. Such restrictions are fulfilled on time intervals, while the satellites move by their orbits, depending on numerous different parameters of sensors and other instruments, parameters of environment (geo-magnetic and electric fields, radiation background), visibilities of the

Sun and other sky objects. The satisfactions of such restrictions are known as orbital events [1]. The time intervals mentioned above are known as “time windows” and play very important role in theory and practice of planning and scheduling space missions [2,3]. Determination of suitable for performance of space experiments time windows is very important on different stages of missions design.

The analysis for determination of time windows for every scientific problem is known as situational analysis (SA) [4]. Many scientific and practical problems lead to many situational problems (SP) to be solved, which require significant calculation time.

A model was presented [5] for description of situational conditions (SC) and SP, which includes more than one SC and processor for their solution.

Paraphrasing Simonsen [6] we can point several reasons the solution of time windows prediction problems related to space missions and experiment simulations to require much calculation time:

- complex calculation models are used for the calculation of different constraints of the events;
- simultaneous solving of many time windows prognostication problems are included in a simulation model;
- the investigated time interval ($t_0$,$t_{end}$) is large;
- repeatedly solving of events prediction problem for determination of the optimal space mission parameters.

Solving of large number SP in the frame of one space mission simulation could be related to much overhead and gives possibilities to search optimal solution. One way for acceleration of the calculation process is connected with applying of parallel calculations.

**Possible ways for parallelization of situational problems solving**

Two basic approaches for achieving parallelism in broad circle of problems are possible:

- parallelism across the method;
- parallelism across the system.

In the case of SA the first approach suppose a presence of possibilities for parallelization in the frames of the particular situational conditions. This is possible when particular independent segments present in the code, which could be executed in parallel on different processor cores (pipe-lining), or for some kinds of cycles with independent iterations.

“Parallelization across the system” is approach which is applicable to complex calculation model which could be decomposed on independent parts and every one of them could be executed as particular thread. This approach is used exclusively in the present work.

The second approach contains more potential in cases of SP, because the different conditions in the frame of one SP could be calculated on different processor core. When we have many SP then every one of them is possible to be solved on different processor.

**Situational analysis processors parallelization approach**

A processor for solving of situational analysis problem (SAP) was proposed in [5]. It was based on:

- model for description of elementary situational condition and situational problems;
- set of subroutines for every situational condition.

The processor receives set of preliminary defined situational problems and executes them in sequential steps of the system time. The different situational problems can be composed from different number of situational conditions. Every situational condition is described with specific set of parameters. The time for verification of every situational condition and the times for solving of different situational problems are different.

The new parallel version of SAP – parallel situational problem solver (PSPS) is proposed in the present paper. It is based on “pool of threads” program model [7]. This model is based on portioning of entire problem to particular sub-problems. Every sub-problem is one situational problem in our case. The number of solved situational problems could be much larger than the number of threads of the pool. The number of threads must be equal or less than the number of processor cores. When one thread finishes the execution of one situational problem it attempts to get a new one if there are such. In contrast to classical case, here threads compete in the frame of every system time step. Additional synchronization is necessary between threads and parent thread.

### Program realization

The creation of “pool of threads” is made on appropriate place in the program by special subroutine **CreateThreadsPool**. This is the same subroutine, which is used in our previous studies, for initialization of ordinary differential equation systems [8], but now it is made universal and will be applied in all analogous cases (fig. 1 and fig. 2).

```
external                          SituationProcessor
…
   CALL  CreatePoolThreads(SituationProcessor,num_Sit_threads,Sit_thread_par,Sit_ha_1)
                  ……..
   CALL  Data_Sit_Solver(num_sat,t,dt,xvn,xvk,dTrajectoryParam,sci_task,max_num_sit, &
                                                                          num_sci_task)
   CALL  Preparation_Sit_Solver(num_Sit_threads,Sit_thread_par,Sit_ha_1)
…
 DO   …
…
   CALL  sit_prob (num_sat,t,dt,xvn,xvk,dTrajectoryParam, &
                          sci_task,max_num_sit,num_sci_task) !
…
 END DO
```

Figure 1. Code fragment illustrating creation and initialization of situational analysis solver. The subroutine ‘Data_Sit_Solver’ prepares data for transferring to solver; the subroutine ‘Preparation_Sit_Solver’ executes control functions.

```
ENTRY    Preparation_Sit_Solver(num_SitThreads,thread_par,Sit_ha_1)

ALLOCATE (ha_end(num_SitThreads),     ha_beg(num_SitThreads),STAT=isv2);
                ha_end(:)= thread_par(4,:); ha_beg(:)= thread_par(3,:);
          ALLOCATE (ha    (num_SitThreads));    ha    (:)= thread_par(1,:)
         ha_1= Sit_ha_1;         num_Sit_threads= num_SitThreads
                  DO  i=1,num_SitThreads
                    k1= ResetEvent      (ha_beg(i))
                    k2= ResumeThread(ha       (i))
                  END DO; num_Sit_threads= num_SitThreads; ha_1= Sit_ha_1
          Sit_thread_par_adr= LOC(thread_par) ! Sit_thread_par_adr is transfered to buffer
                                              ! subroutine by common area

RETURN
ENTRY    Data_Sit_Solver(num_sat,t,dt,xvn,xvk,dTrajectoryParam,sci_task, &
                                                 max_num_sit,num_sci_task)

      numsat= num_sat; num_sit= max_num_sit; num_task= num_sci_task
             t_adr= LOC(t);   xvn_adr= LOC(xvn); TrajectParam_adr= LOC(dTrajectoryParam)
           dt_adr= LOC(dt); xvk_adr= LOC(xvk);   sci_problem_adr= LOC(sci_task)
       glb_counter= 0
  adr_glb_counter= LOC(glb_counter)

RETURN
```

Figure 2. Code fragments of subroutine ‘Data_Sit_Solver’ and ‘Preparation_Sit_Solver’

The subroutine, which creates the solver, starts some number of threads. The subroutine creates also an event **ha_1** which is used for synchronization and control of the threads by getting next situational problem (fig. 5) and ensures that there is no doubling and solving the same problem from more than one thread. A couple of events are created for every thread, which serve for synchronization of their control. One of the events **ha_beg** (fig. 3, fig. 5) starts execution of every of the threads for every step of the system time. Every thread report that the calculations are finished when there are not more situational problem for solving by using the second event **ha_end** (fig. 3, fig. 5).

A buffer subroutine **SituationSolver** is used as parameter for creation of threads of the situational solver. Addresses of all data for processing and control are transferred to PSPS through this subroutine. Global type data are used for transfer of these addresses on this stage.

```
SUBROUTINE     sit_prob(num_sat,t,dt,xvn,xvk,eps)
 USE  DFmt
  real*8                t,dt,xvn(6,num_sat),xvk(6,num_sat),eps(6,num_sat)
  common   /cadr_traekt/adr1,adr2,glb_counter,numsat
… … …
          glb_counter= 0;
a: DO  i=1,num_thrd
      k= SetEvent    (ha_beg(i)) ! Events for start of threads
  END DO a
      k= WaitForMultipleObjects(num_thrd, ha_end,WaitAll,Wait_infinite)
b: DO  i=1,num_thrd
      k= ResetEvent(ha_end(i)) ! Events for waiting ending of threads
  END DO b
… … …
END SUBROUTINE  sitanal
```

Figure 3. The **sit_prob** is subroutine which serves for synchronization between parent thread and threads of the solver and for transfer of control data and results between parent thread and threads of the solver.

```
SUBROUTINE     SituationSolver(th_id_num)
 USE DFlib
 USE DFmt
   integer                              th_id_num
!___Transferred pool control parameters_____________________
   integer                  Sit_thread_par_adr, ha_1
   common   /cSit_nth/   num_Sit_threads,Sit_thread_par_adr, ha_1 ! nth- threads number
   common   /cSit_const/num_sat,max_num_sit,num_sit_prob  ! constant data to buffer
subroutine
   integer          t_adr,dt_adr,xvn_adr,xvk_adr,TrajectParam_adr,sci_problem_adr
   common   /cSit_data/ t_adr,dt_adr,xvn_adr,xvk_adr,TrajectParam_adr,sci_problem_adr
   integer                    adr_glb_counter,glb_counter,ha_1l
   common   /cSitThrdPool/adr_glb_counter
!___________________________________________________________
   integer     thread_par_local(4),thread_par(4,num_Sit_threads) !
   AUTOMATIC   ha_1l
       POINTER(Sit_thread_par_adr,thread_par)

        ha_1l= ha_1 ! locat value of the handler
               thread_par_local(:)= thread_par(:,th_id_num);   ! Storing tread's parameters
                                                               ! in the tread's stack storage

 CALL  SitProblemsPool(num_sat,t_adr,dt_adr,xvn_adr,xvk_adr,TrajectParam_adr, &
          sci_problem_adr,max_num_sit,num_sit_prob,thread_par_local,adr_glb_counter,ha_1l)

END SUBROUTINE  SituationSolver
```

Figure 4. The **SituationSolver** is buffer subroutine which serves to transfer initial control data to solver.

The threads are created in suspended state. When all variables and areas necessary for initialization of PSPS are loaded with information, the state of the threads is changed to non-suspended and their execution begins. Every thread copies transferred information in private storage and reaches place in the solver were waits for beginning of the real work connected with solving of situational problems.

Instead of standard calling of particular subroutine, the control of the threads is realized by changing the states of the control events of the thread in **sit_prob** subroutine, which is part from the parent thread. This is possible by respective library functions **SetEvent** and **ResetEvent** [9]. The parent program starts the threads on appropriate place and transits in waiting state until all situational problems are solved. A program fragment which illustrates this is shown on figure 3.

Figure 4 presents the buffer subroutine **SituationSolver**. All control parameters and data are transferred through common areas.

```
SUBROUTINE     SitProblemsPool(numsat,t_adr,dt_adr,xvn_adr,xvk_adr,TrajectParam_adr, &
                    sci_problem_adr, max_num_sit,num_sit_prob,thread_par,adr_glb_counter,ha_1)
USE DFmt
 USE  RN
  integer                    t_adr,dt_adr,xvn_adr,xvk_adr,TrajectParam_adr,sci_problem_adr, &
                        thread_par(4),adr_glb_counter,ha_1
!
  type    (TrajectoryParam)    TrajectParam(numsat)
  type    (sit_task)               sci_task(0:max_num_sit,num_sit_prob) !
  integer            glb_counter
  integer, AUTOMATIC :: loc_ha_1,ha_beg,ha_end, loc_numsat !
  real*8             t,dt,xvn(6,numsat),xvk(6,numsat)
   POINTER(t_adr,t);          POINTER(dt_adr,dt)
   POINTER(xvn_adr,xvn);   POINTER(xvk_adr,xvk); POINTER(sci_problem_adr,sci_task)
   POINTER(adr_glb_counter,glb_counter);              POINTER(TrajectParam_adr,TrajectParam)

        ha_beg= thread_par(3);      ha_end= thread_par(4); ! Stored in the threads' stack storage
       loc_ha_1= ha_1;            loc_numsat= numsat;

 DO WHILE(.true.)
    k=  WaitForSingleObject(ha_beg,WAIT_INFINITE)  ! Event for thread's starting for time step
  DO WHILE(glb_counter.LT. num_sit_prob)                    !
    k= WaitForSingleObject(loc_ha_1,WAIT_INFINITE); ! The event 'ha_1' preserves doubling
                                                          ! of situation problem
                                                    ! until current local pointer is formed 'ha_1'is
                                                    ! made un-signaled automatically
              glb_counter= glb_counter + 1;     ! Toward the next situation problem
         loc_counter= glb_counter;              ! Storing in local thread's storage for using as
pointer
                  k= SetEvent(loc_ha_1)     ! Allow other thread to may select situation problem
                                            ! if there is
           IF(loc_counter.GT. num_sit_prob) EXIT

   CALL  Psitanal(loc_numsat,t,dt,xvn,xvk,TrajectParam,sci_task(0,loc_counter),max_num_sit)

  END DO;!
    k= ResetEvent(ha_beg) ! Prepare the threads' starting event for the next time step
    k=    SetEvent(ha_end) ! Signals parent for end of solver threads' calculations
 END DO;

END SUBROUTINE  SitProblemsPool
```

Figure 5. **SitProblemsPool** subroutine organizes the synchronizations of the threads with main routine in the frame of the pool and calls the real situational processor (subroutine **Psitanal**).

Figure 5 shows the code of the subroutine **SitProblemsPool**, which illustrates the joint work of the threads in the frame of the pool and all communication processes with the main program. Every thread of PSPS calls subroutine **Psitanal** which solves only one SP. The subroutine **Psitanal** is version of previous serial code subroutine **sitanal** [5]**.**

**Conclusion and future work**

A stage of development of PSPS, which determines time intervals appropriate for performing measurements in the frames of space missions, is proposed. PSPS is intended for parallel calculations on platforms with multi-core processors and shared memory systems. At this stage it is included in developed program system for simulation of multi-satellite space experiments [5].

Experiments will be performed for establishment of effectiveness of PSPS by competition with other parallel subsystem in the frames of above pointed program system. On this stage, the integrator of ordinary differential equation system is the basic competitor for using processor cores. This competition is not fully direct because the two subsystems don't work simultaneous – the results from the integrator are used from the situational solver.

Development of algorithms and codes for new situational conditions are in progress.

**References:**


1. L e e y, B.-S. and K i m, J.-H., Design and Implementation of the Mission Planning Functions for the KOMPSAT-2 Mission Control Element, J. Astron. Space Sci. 20(3), 227–238 (2003)
2. P e m b e r t o n, J. C., F. A G a l i b e r, constraint-based approach to satellite scheduling. In E.C. Freuder, R.J.Wallace (editors), Constraint Programming and Large Scale Discrete Optimization, DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, 57, pages 101-114, 1998.
3. H a r r i s o n, S. A., M. E., P r i c e, Task scheduling for satellite based imagery. In Proce. of the Eighteenth Workshop of the UK Planning and Scheduling Special Interest Group, pages 64-78, University of Salford, UK, December 1999.
4. P r o k h o r e n k o, V. I., Study of satellite situations mission. Acta Astronautica, v.10 №7, 1983, 499-503.
5. A t a n a s s o v, A., Program System for Space Missions Simulation - First Stages of Projecting and Realization, Proceedings of "Eighth scientific conference - Space Ecology Safety", 2012, 209-214.
6. S i m o n s e n, H. H. Exrapolation methods for ODE's: continuous approximations, a parallel approach, Ph. D. thesis, Math. Sci. Div., Norwegian Inst. Of Tech., Trondheim, Norway, 1990.
7. R a u b e r, T. and R ü n g e r G., Parallel Programming. For Multicore and Cluster Systems, Springer, 2010, 455.
8. Digital Visual Fortran Programmer's Guide.
9. A t a n a s s o v, A., An Adaptive Parallel Integrator of Ordinary Differential Equations System for Space Experiment Simulation, 2012, 203-208.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ORBIT PATH FILTER FOR DETECTION OF DANGEROUS SATELLITE-SATELLITE AND SATELLITE-SPACE DEBRIS CLOSE APPROACHES

**Atanas Atanassov**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: at_m_atanassov@yahoo.com*

***Keywords:*** *Satellite conjunction screening, Orbit path filter, Satellite collision, Space debris*

***Abstract:*** *The constantly growing space debris population poses a significant increasing of collision risk with operational satellites. The development of approaches and algorithms for evaluation of the collision risk for satellites and other orbiting objects is of fundamental importance in space situational awareness programs.*

*The minimum orbital intersection distance is used for the fast identification of potentially hazardous near Earth objects. Orbit Path Filter for Detection Satellite-Satellite Close Approaches based on orbital line of intersection is proposed. One of the conditions for collision is two orbiting objects to be located on the line of intersection between the Kepler's orbit planes. The transformation of intersection line toward orbital plane of the first object and later on toward orbital plane of the second one allows easily calculation of its intersection points with Keplers' ellipses. The comparison between calculated coordinates for points of couple objects transformed to geo-equatorial coordinate system determines close hazardous orbits' approaches.*

*The proposed approach is based on exact solutions of algebraic systems for determination of points of passing of satellites through orbits' intersection line.*

# ГЕОМЕТРИЧЕН ФИЛТЪР ЗА ОТКРИВАНЕ НА ОПАСНИ СБЛИЖАВАНИЯ МЕЖДУ СПЪТНИЦИ СЪС СПЪТНИЦИ И СПЪТНИЦИ С ОРБИТАЛНИ ОТЛОМКИ

**Атанас Атанасов**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: at_m_atanassov@yahoo.com*

***Резюме****: Постоянното увеличаване на космическия боклук води до увеличаване на риска от сблъскване със спътници, чиито експлоатационен период не е изтекъл. Разработката на подходи и алгоритми за оценка на риска от стълкновение между спътници и други обекти е от изключителна важност за неговото намаляване и избягване. Минималното разстояние между орбитите върху тяхната пресечница се използва за бърза идентификация на потенциално опасни обекти на околоземна орбита. Предложен е „Orbit Path Filter" за установяване на сближавания между спътници, основан на пресечницата между орбиталните равнини. Едно от условията за стълкновение между два обекта е да се намират на пресечницата на двете Кеплерови равнини. Трансформацията на пресечницата към орбитална координатна система, свързана с орбитата на първия спътник, и след това съответно за втория, позволява лесно изчисляване на пресечните им точки с Кеплеровите им елипси. Сравняването на изчислените координати на точките за двойка обекти, трансформирани към гео-екваториална координатна система, определя възможни опасни орбитални сближавания.*

*Предложеният подход се основава на точни решения на алгебричните системи уравнения за определяне на точките на преминаване на спътниците през пресечната линия между орбитите им.*

## Introduction

The space activity of mankind crowds the space around the Earth with different debris from rockets and rockets engines which move without any control by its orbits with possibilities to approach to operating satellites. The number of these debris steadily increase and raise the risk of direct

collisions, which can destroy or damage some instruments of the satellites or cancel part or entire missions. This lead to establishment of new scientific discipline, connected with risk assessment and development of total control on behavior of orbiting particles and strategies for risk mitigation and escaping damaging of operation satellites.

The exact determination of the conjunction between objects on Earth orbit is possible on the base of numerical integration of their motion equations. One simplified problem is connected with finding possible approaches between important operative satellites with aim to escape their direct collisions. More general problems are connected with prediction of possible approaches between operative satellites and space debris, or between big debris. The collisions between big debris will increase the number of debris particles. Estimation of the number of objects with size bigger than 10 cm is about 29,000 and bigger than 1cm is about 740,000 [1]. The solution of these problems can be obtained after solving huge number of equations of motion, which is difficult from computing point of view. Different simulation experiments are performed [2, 3, 4, 5] with number of objects between $8x10^3$ and $30x10^3$.

Hoots developed and proposed three types of analytical filters [6]. With them the possibility for close approach between two orbiting bodies could be evaluated relatively easy. Precise calculations are performed only for couple of objects with threat for collision under some critical threshold $D^*$.

An analytical method for situational analysis based on transformation of situation condition toward Kepler's plane was proposed [7].

This method solves some classes of situation problems by representing situational conditions using respective geometrics objects - strait lines, conical, cylindrical or parabolic surfaces.

In this article threat conjunctions between two orbiting objects lie on interception line of their orbital no-coplanar planes. Very simple method based on transformation of interception line toward orbital planes is proposed.

**Determination of intersection between two Kepler's plains in geo-equatorial coordinate system**

The 6-tuple $<a,e,i,\Omega,\omega,\tau_0>$ fully determines Kepler's orbits [8]. The different symbols denote respectively: a - major semi-axis, e - eccentricity, i - inclination, Ω - argument of ascending node, ω - argument of perigee and $\tau_0$ - moment of passing through perigee. We may say that $<i,\Omega>$ - determine the orientation of Kepler's plane (fig. 1), $<\omega>$ - the orientation of Kepler's orbit in orbital plane, $<\tau_0>$ - the object position on the orbit and <a,e> - the shape of the orbital ellipse.
The Kepler's plane is determined by mixed product in Geo-equatorial coordinate system (GEcs):

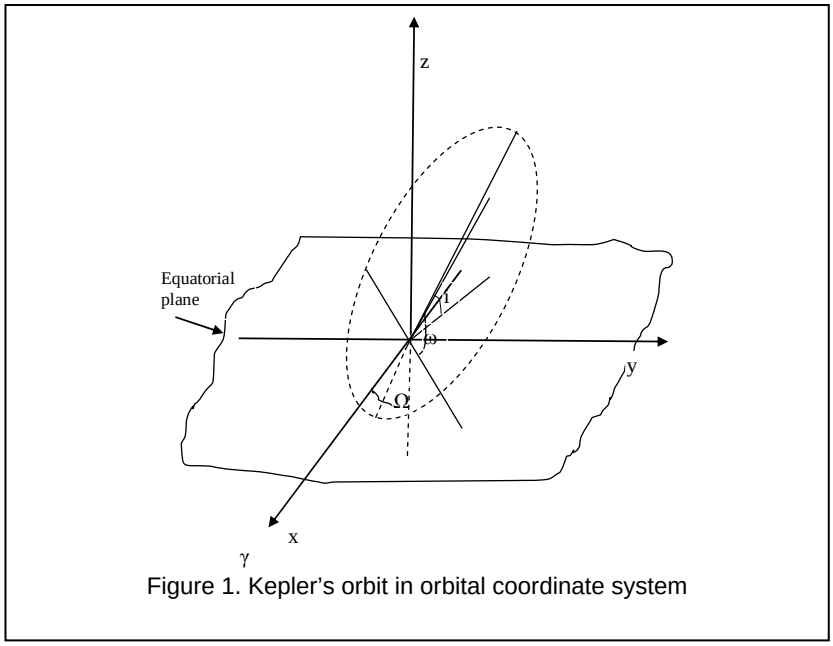


Figure 1. Kepler's orbit in orbital coordinate system

1. $\vec{x} \cdot \vec{b} \times \vec{c} = 0$,

where the unit vector $\vec{b}$ is collinear to intersection between equatorial plane and Kepler's plane and is pointed to point of autumnal equinox - $\gamma$. The unit vector $\vec{c}$ is collinear to the large axis of Kepler's ellipse and is directed to his perigee. These two vectors can be written in terms of <i,Ω> as:

2. $$b_x = \cos\Omega \qquad b_y = \sin\Omega \qquad b_z = 0$$
$$c_x = \cos(\Omega + .5\pi).\cos i \quad c_y = \sin(\Omega + .5\pi).\cos i \quad c_z = \sin i$$

The unit vector $\vec{n}$ normal to Kepler's plane could be presented as:

3. $\vec{n} = \vec{b} \times \vec{c}$

The unit vector $\vec{\tau}$ collinear to intersection line between the two orbital planes of two satellites (fig. 2) is:

4. $\vec{\tau} = \vec{n}_1 \times \vec{n}_2$

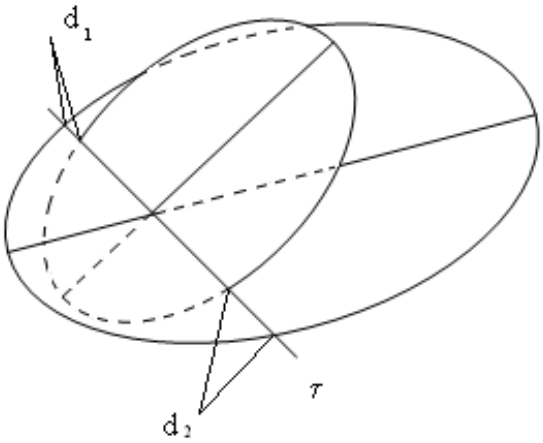



Figure 2. Intersection line between two Kepler's orbits-a place for collisions

**Determination the closest approach distance between two elliptic orbits along the intersection line of Keplers' planes**

From historical point of view, the first investigations of conjunction problems are related to close approaches of asteroids and comets to planets [9, 10]. Some recent authors continue the development of such problematic [11, 12]. Different authors determine the closest approach between two orbits and in general case, this orbital conjunction couldn't lie on intersection line [3, 4, 13]. We define dangerous conjunctions on the presumption that collision between two orbiting objects is possible only when they lie on intersection line. Each of the satellites must be located in orbital plane of the other one.

Let transform intersection line τ from GEcs toward orbital coordinate system (Ocs) (fig. 3):

5. $\tau' = \alpha\tau$,

where α is transformation matrix [8]. We could consider the system of two equations:

6. $$\begin{cases} \dfrac{(\xi + c)^2}{a^2} + \dfrac{\eta^2}{a^2.(1 - e^2)} = 1 \\ \eta = k.\xi \end{cases}$$

The first one is equation of Kepler's ellipse, which focus is located in origin of Ocs. Thus this equation is not canonical. The second equation is for straight line passing through origin of orbital coordinate system. The solution of system (6) is easily produced by consecutively substitution of variables η and ξ in the first equation and elementary transformations to quadratic equation. The two roots of (6) correspond to two points $(\eta_1,\xi_1)$ and $(\eta_2,\xi_2)$, where $\tau'$ intersects the Kepler's ellipse.

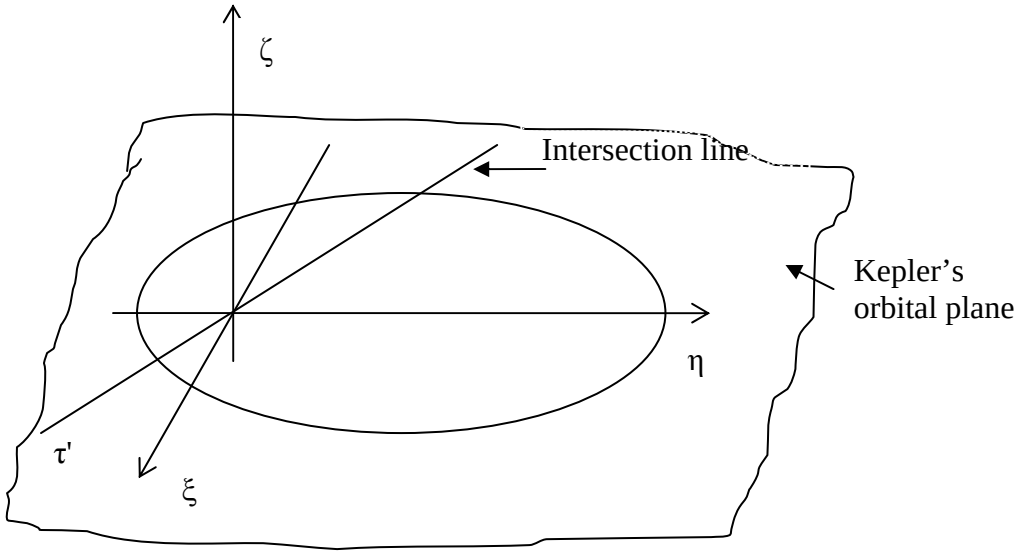



Figure 3. Kepler's orbit and intersection line in orbital coordinate system

The application of this procedure for a couple of orbital planes produces two couples of points - $((\eta_1,\xi_1)_I,(\eta_2,\xi_2)_I)$ and $((\eta_1,\xi_1)_{II},(\eta_2,\xi_2)_{II})$ for every object. The transformation of the two points $(\eta_1,\xi_1)_I$ and $(\eta_2,\xi_2)_I$ from first and the two points $(\eta_1,\xi_1)_{II}$ and $(\eta_2,\xi_2)_{II}$ from the second orbital plane toward GEcs allows to calculate the two distances on intersection line - $d_1$ and $d_2$ (Fig. 2).

**Evolution of Kepler's ellipse in the time**

Orbital elements <a,e,i,Ω,ω,$\tau_0$> are changing under influences of different perturbations [8,14]. We may write down for every one of them:

$$a_{0+t} = a_0 + \Delta a_T = a_0 + \dot{a}\Delta t$$
$$e_{0+t} = e_0 + \Delta e_T = e_0 + \dot{e}\Delta t$$
$$i_{0+t} = i_0 + \Delta i_T = i_0 + \dot{i}\Delta t$$
$$\Omega_{0+t} = \Omega_0 + \Delta\Omega_T = \Omega_0 + \dot{\Omega}\Delta t$$
$$\omega_{0+t} = \omega_0 + \Delta\omega_T = \omega_0 + \dot{\omega}\Delta t$$
$$\tau^0_{0+t} = \tau^0_0 + \Delta\tau^0 = \tau^0_0 + \dot{\tau}^0\Delta t$$

The secular changes in the orbital elements lead to changes of ellipses and orbital planes of every couple orbiting objects. The intersection between the two orbital planes of the couple of objects is changed too. Finally we have to apply the above described procedure to determine the distance on intersection line after change of orbital elements for every object.

Explained approach for determination of the distance between two Kepler's ellipses on their orbital planes intersections is very similar to another one, solved by transformation of situation condition toward Kepler's plane [7].

**Conclusion**

A multitude of subroutines was developed for solving broad classes of situation problems. Every class situation problems is based on different geometric objects for representation of the situation condition. The transformation of these geometrics objects toward orbital plane results in

different power curves. The algorithm to solve the presented problem could be organized on the base of the simplest one – passing of two satellites over the same place of Earths' surface.

Presented approach is based on non-iterative methods for solving of applied equations. The transformation from geo-equatorial coordinate system toward orbital one is significant from calculation point of view. It contains only 29 sin and cos functions and 20 float point operations.

**References:**


1. K l i n k r a d, H., (ESA) | RAeS Conference| 02-July-2013.
2. P o r t r e e, D. S. F., L o f t u s J. P., Orbital Debris: A Chronology, NASA/TP-1999-208856, 1999.
3. C o p p o l a, B. T., D u p o n t S., R i n g K., and S t o n e r F., Assessing Satellite Conjunctions for the Entire Space Catalog Using COTS Multi-core Processor Hardware, AAS 09-374, AAS-AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Pittsburgh, August 2009
4. R o d r i g u e z, J. R. A., F a d r i q u e F. M. M., Kli nkrad H., Collision Risk Assessment with a "Smart Sieve" Method, Proceedings of Joint ESA-NASA Space-Flight Safety Conference, ESTEC, Noordwijk (NL), 11-14 June 2002 (ESA SP – 486, August 2002)
5. Space Security 2010 / Ed. Jaramillo C. // Pandora Press. Univ. Of Waterloo, Ontario, Canada. 2010.
6. H o o t s, F. R., C r a w f o r d L. L. and R o e h r i c g R. L., An Analytic Method to Determine Future Close Approaches between Satellites, *Cel. Mech.* 33, 1984, 143-158.
7. A t a n a s o v, A. M., Methods for situational analysis based on the transformation of the situational condition towards the plane of Kepler's orbit, Compt. rend. Acad. bulg. Sci., vol. 45, no. 6, p. 49-52.
8. Э с к о б а л, П., Методы определения орбит, „Мир", Москва, 472, 1970.
9. W o o d b u r n, J. and D i c h m a n n D., "Determination of Close Approaches for Constellations of Satellites", Paper No. C-
10. S i ta r s k i, G., Approaches of the Parabolic Comets to the Outer Planets, Acta Astronomica, v. 18 (2), 1968, 171-195.
11. D y b c z y n s k i, P. A., J o p e k T.J. and S e r a f i n R. A., On the minimum Distance Between two Keplerian Orbits With a Common Focus. Celestial Mechanics, v.38, 1986, 345-356.
12. K h o l s h e v n i k o v, K. and V a s s i l i e v, N., On the Distance Function Between Two Keplerian Elliptic Orbits. *Cel. Mech. Dyn. Astron* 75**:** 75–83, 1999*.*
13. M i l a n i, A., C h e s l e y S. R., C h o d a s P. W., V a l s e c c h i G. B. Asteroid Close Approaches: Analysis and Potential Impact Detection, Asteroids III, The Lunar and Planetary Institute, 2002, 55-69.
14. А б а л а к и н, В. К., А к с е н о в Е. П., Г р е б е н и к о в Е. А., Д е м и н В. Г., Р я б о в Ю. А. Справочное Руководство по Небесной Механике и Астродинамике. Изд. 2-ое под ред. Дубошина Г.Н., М.: Наука, 1976, 864.

# DERIVING INFORMATION ON WINTER WHEAT PERFORMANCE FROM IN-SEASON VARIATIONS OF CROP CANOPY REFLECTANCE

**Rumiana Kancheva, Denitsa Borisova, Georgi Georgiev**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: rumik@abv.bg, dborisova@stil.bas.bg, ggeorgie@stil.bas.bg*

***Keywords:*** *winter wheat, spectral reflectance, vegetation indices, phenology, seasonal spectral response, growth variables, yield prediction*

***Abstract:*** *Agricultural monitoring is an important and continuously spreading activity in remote sensing and applied Earth observations. It supplies valuable information on crop condition and growth processes. Much research has been carried out on vegetation phenology issues. In agriculture, the timing of seasonal cycles of crop activity is important for species classification and evaluation of crop development, growing conditions and potential yield. The correct interpretation of remotely sensed data, however, and the increasing demand for data reliability require ground-truth knowledge of the seasonal spectral behaviour of different species and their relation to crop vigour. For this reason, we performed ground-based study of the seasonal response of winter wheat reflectance patterns to crop growth patterns. The goal was to quantify crop seasonality by establishing empirical relationships between plant biophysical and spectral properties in main ontogenetic periods. Phenology and agro-specific relationships allow to assess crop condition during different portions of the growth cycle and thus effectively track plant development and make yield predictions. The applicability of different vegetation indices for monitoring crop seasonal dynamics, health condition, and yield potential was examined.*

# ИЗВЛИЧАНЕ НА ИНФОРМАЦИЯ ЗА РАЗВИТИЕТО НА ЗИМНА ПШЕНИЦА ПО СЕЗОННИ ИЗМЕНЕНИЯ НА СПЕКТРАЛНОТО ОТРАЖЕНИЕ НА РАСТЕНИЯТА

**Румяна Кънчева, Деница Борисова, Георги Георгиев**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: rumik@abv.bg, dborisova@stil.bas.bg, ggeorgie@stil.bas.bg*

***Ключови думи:*** *зимна пшеница, спектрални характеристики, вегетационни индекси, сезонна динамика, фенология, параметри на състоянието, прогнозиране на добивите*

***Резюме:*** *Мониторингът в селското стопанство е важно и широко разпространено приложение на дистанционните изследвания, което предоставя ценна информация за състоянието на посевите и процеса на развитието им. Множество изследвания са посветени на въпроси на фенологията. Сроковете и ходът на вегетационната активност са важни при използването на дистанционни данни за класификация на културите, за оценка на тяхното развитие, условията на отглеждане и потенциалния добив. Правилната интерпретация на данните от дистанционните изследвания, както и изискването за по-голяма надеждност на информацията, налагат подробно наземно изучаване на сезонната динамика на спектралните характеристики на различните култури и установяване на връзката им със състоянието на посевите. Поради тази причина са проведени полеви експерименти, чрез които да се проследи сезонния ход на биофизичните и спектралните отражателни характеристики на зимна пшеница. Целта е да се изследват и опишат количествените връзки между биометричните параметри и спектралните свойства на посевите в различни фенологични фази на развитие. Тези зависимости позволяват оценка на състоянието на растенията в различни периоди на вегетаиця, което осигурява ефективно проследяване на сезонната динамика на растежа и по-голяма точност на прогнозирания добив.*

## Introduction

The rapid advances of space technologies concern almost all scientific areas from aeronautics to medicine and a wide range of application fields from communications and hazard warning to crop yield prediction. Without a doubt, vegetation monitoring is the most essential application of remote

sensing techniques. Vegetation plays a vital role in Earth's hydrological, biogeochemical, and ecological processes and helps in maintaining the balance of the carbon-dioxide level in nature. Remote sensing is an accepted source of information in environmental studies for ecosystems change detection, natural resources management, environment preservation and other problems of global importance.

Agriculture is a continuously spreading application area of remote sensing. Within Earth observation activities, agricultural monitoring supplies information on crop performance. Agricultural remote sensing involves characterization of plant canopies through multispectral and multitemporal measurements. Spectral response data collected over vegetative targets are analyzed to derive information on plant growth stage and physiological condition. Mapping farm-land use, crop area estimates, and spatial and temporal distributed information on crop development are preconditions for improving the efficiency of agricultural policies and management. This is especially important in the context of site-specific precision agriculture running. Remote sensing is a major source of relevant data. Monitoring agricultural fields during the growing season plays a significant role in precision farming [1, 2] provided that reliable phytodiagnostics is obtained. Regular and timely information is needed for tracking plant phenological development [3-5], evaluating the growth process [6, 7], and assessing crop health [8-11] in order to adjust farmland management and make yield predictions at different scales [12-16]. Particular efforts are put into the elaboration of methods for assimilation of remote sensing data of high spatial-temporal resolution in agronomical models [14, 17-19] to produce information needed in agricultural practice. Various data and data processing algorithms are applied to provide quantitative crop information. The acquired multispectral data are especially effective in deriving crop biophysical parameters used in growth models. A large amount of work has been published on the derivation of vegetation biomass, leaf area index and chlorophyll content from optical data [2, 6, 7, 20-22].

Much research is carried out on vegetation phenology issues. Phenology studies have many aspects. They are related to using remotely sensed data for phenology monitoring [23, 24], assessment of vegetation types distribution [25, 26], ecosystems forecasting [27], quantifying the carbon budget [28], evaluation of year-to-year spatial and temporal variations of vegetation seasonality, and the dependence of these variations on environmental factors [29, 30]. Knowledge of phenology and taking into account phenological events are crucial elements in vegetation data interpretation. In agricultural remote sensing observations, the timing of seasonal cycles of crop activity is important for species classification [31], evaluation of plant development and growing conditions, identifying stresses, and evaluating potential yield.

However, the use of airborne and satellite data in agricultural monitoring requires detailed knowledge of species spectral behaviour under different conditions. For this reason, ground-based empirical studies complement the vast array of geo-spatial data products providing a reference data source and being associated with site-specific conditions. All the more so since data integration and sharing between different sources has become recently a leading concept [32] in remotely sensed data application and an answer to the question about the reliability of data interpretation results. Ground-based studies are an appropriate way of aiding and verifying the interpretation of remotely sensed data and a tool for validation of data processing and retrieval algorithms. Entering wider into their operational stage, remote sensing technologies face higher requirements to the accuracy of the information they provide. Because of this raising need, ground-based observations are considered one of the pillars of remote sensing observations. In-situ spectral modeling activities [33-36] are an integral part of remote sensing technologies. In vegetation studies, especially advantageous is the ability to vary and control the experimental conditions getting a precise picture of plant spectral response to different factors (species type, soil background, agricultural practices, stress impacts, etc.) as well as to track in detail the temporal behaviour of plant spectral properties during the ontogenetic cycle.

In the context of all this, our paper is devoted to in-situ observations of crop spectral response during plant growth and the performance of ground-derived spectral-biophysical relationships for the retrieval of crop canopy variables and yield prediction from multispectral and multitemporal data.

**Materials and methods**

The correct interpretation of remote sensing data along with the increasing demand for high reliability of the derived information require precise ground-truth study of the seasonal performance of different species, knowledge of the phenology-resolved behaviour of their spectral response and the relationship of species seasonal spectral patterns with crop vigour and productivity. For this reason, we conducted ground-based field and greenhouse experiments with the intention to investigate the multispectral response of winter wheat at different phenological stages and to relate reflectance patterns to crop seasonal development and yield. The focus of the work was on quantifying crop seasonality by establishing empirical relationships between plant biophysical and spectral properties in

different periods during the ontogenetic process. Both, growth variables and spectral-temporal response, strongly depended on crop phenology and condition.

The application of different nitrogen rates and fertilization forms as well as different water supply ensured varying growing conditions and provided for a wide range of crop performance by affecting plant vigour during the phenological development. All treatments were planted on the same date and replicated twice. Whole-season measurements of canopy reflectance were carried out with a multichannel spectrometer in the visible and near infrared region (400 to 820 nm). Multispectral data in 43 narrow wavebands were acquired at weekly intervals starting from emergence to full physiological maturity and harvest (Figure 1). Concurrent measurements of crop biophysical parameters were performed. They were recorded per unit area basis and comprised: vegetation canopy fraction (C), leaf area index (LAI), plant height (H, m), stem number (N), total above-ground and leaf biomass ($kg/m^2$): fresh ($M_w$, $M_L$) and dry ($M_d$, $M_{Ld}$), chlorophyll concentration (Chl), and grain yield (Y, $kg/m^2$). In addition, precise characterization of crop phenological events was made.

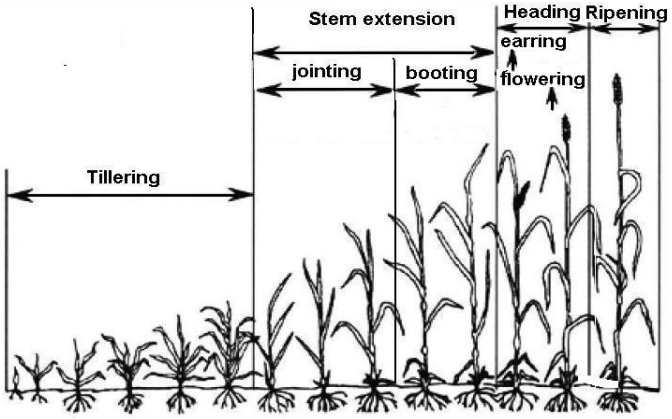



Fig. 1. Winter wheat growth stages: emergence, tillering, stem elongation (jointing, booting), heading (earring, flowering), ripening (milk, dough, and full physiological maturity)

Spectral and growth data were gathered throughout the entire growing cycle 2-3 times per each phenological stage. Due to the sampling number in terms of frequency and replicates available, and the samples variation range in terms of crop condition, the collected datasets had an amount and a range width sufficient to process them in a statistically meaningful way. Canopy spectral behaviour as a function of plant condition and phenology was statistically related to crop growth variables and yield using single-date data or datasets referring to a whole phenophase (see Fig. 1).

The measured spectral signatures were analyzed by employing vegetation indices (VIs). Various VIs were calculated from reflectance data and related to crop condition-indicative variables. We chose to present here mainly results of using ratio indices which exploit the contrasting high and low reflectance in specific for vegetation spectral bands. This choice was prompted by the most common implementation of various ratio indices and the possibility the obtained results to be compared with the results of other studies. The performance of VIs as spectral predictors of crop biophysical parameters and yield was examined. Their capability to effectively monitor plant development, to distinguish health condition and associate it with yield was assessed.

**Results and discussion**

Spectral data, growth patterns and yield showed variation between the trials due to the different treatment. Our purpose, however, was not to discriminate between the impact of the growing conditions, but to obtain spectral predictors of crop performance. The biophysical and multispectral measurements were used to examine by correlation analysis and describe by simple regression analysis the following relationships: first, physiological relationships - between crop growth variables, and between them and yield; second, spectral-biophysical relationships - between canopy spectral patterns, growth variables and yield.

In Table 1 and Table 2 results of the correlation analysis between winter wheat growth parameters at four phenological stages are presented as well as their correlation with yield. The strength of correlation between the examined variables revealed dependence on plant phenology and depicted crop physiological development and morphological changes. The correlation was higher in the periods of most intensive vegetative growth and at early reproductive stages before full maturity.

Table 1. Linear correlation coefficients of winter wheat growth variables and yield at tillering (up right) and heading (down left) stages

| | C | N | H | LAI | $M_w$ | $M_d$ | $M_L$ | $M_{Ld}$ | Y |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | | 0.9 | 0.69 | 0.96 | 0.93 | 0.73 | 0.98 | 0.98 | 0.91 |
| N | 0.86 | | 0.67 | 0.92 | 0.87 | 0.76 | 0.88 | 0.85 | 0.93 |
| H | 0.86 | 0.62 | | 0.72 | 0.63 | 0.73 | 0.72 | 0.68 | 0.71 |
| LAI | 0.96 | 0.83 | 0.82 | | 0.86 | 0.64 | 0.96 | 0.95 | 0.94 |
| $M_w$ | 0.96 | 0.89 | 0.8 | 0.97 | | 0.88 | 0.95 | 0.95 | 0.87 |
| $M_d$ | 0.92 | 0.71 | 0.86 | 0.91 | 0.98 | | 0.75 | 0.74 | 0.75 |
| $M_L$ | 0.94 | 0.88 | 0.77 | 0.94 | 0.98 | 0.85 | | 0.99 | 0.9 |
| $M_{Ld}$ | 0.82 | 0.8 | 0.84 | 0.76 | 0.74 | 0.9 | 0.68 | | 0.88 |
| Y | 0.94 | 0.83 | 0.91 | 0.92 | 0.9 | 0.86 | 0.83 | 0.84 | |

Table 2. Linear correlation coefficients of winter wheat growth variables and yield at booting (up right) and milk ripeness (down left) stages

| | C | N | H | LAI | $M_w$ | $M_d$ | $M_L$ | $M_{Ld}$ | Y |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | | 0.89 | 0.96 | 0.89 | 0.93 | 0.87 | 0.91 | 0.94 | 0.95 |
| N | 0.64 | | 0.76 | 0.76 | 0.87 | 0.77 | 0.89 | 0.87 | 0.79 |
| H | 0.92 | 0.62 | | 0.92 | 0.9 | 0.91 | 0.84 | 0.92 | 0.96 |
| LAI | 0.88 | 0.72 | 0.91 | | 0.96 | 0.93 | 0.92 | 0.96 | 0.89 |
| $M_w$ | 0.81 | 0.77 | 0.89 | 0.93 | | 0.93 | 0.97 | 0.98 | 0.9 |
| $M_d$ | 0.77 | 0.73 | 0.85 | 0.88 | 0.98 | | 0.85 | 0.96 | 0.84 |
| $M_L$ | 0.84 | 0.64 | 0.9 | 0.98 | 0.9 | 0.84 | | 0.94 | 0.87 |
| $M_{Ld}$ | 0.85 | 0.64 | 0.91 | 0.99 | 0.95 | 0.89 | 0.99 | | 0.88 |
| Y | 0.86 | 0.76 | 0.89 | 0.9 | 0.86 | 0.87 | 0.84 | 0.86 | |

Agricultural species are dynamic systems whose bioparameters change during plant growth. For this reason, the empirical modeling was performed at different stages of the phenological development. Single-date, phenophase-relevant and time-series spectral patterns were attributed to the set of crop variables. Some of the obtained relationships between winter wheat growth parameters are presented in Table 3. As it can be seen, high correlations existed at vegetative, reproductive and early maturation stages. With further maturing the relations weakened or became negligible.

Table 3. Linear relationships between winter wheat biophysical parameters as dependent on plant advanced growth

| predictor | variable | a | b | $R^2$ | predictor | variable | a | b | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| tillering | | | | | booting | | | | |
| C | $M_w$ | -0.327 | 2.29 | 0.86 | C | $M_w$ | -0.073 | 2.007 | 0.86 |
| C | $M_L$ | -0.119 | 1.918 | 0.96 | C | $M_L$ | -0.042 | 0.999 | 0.83 |
| $M_w$ | LAI | -0.678 | 1.209 | 0.74 | $M_w$ | LAI | 0.031 | 2.694 | 0.92 |
| $M_L$ | Y | 0.078 | 0.401 | 0.76 | C | Y | 0.024 | 0483 | 0.9 |
| heading | | | | | milk ripeness | | | | |
| C | $M_w$ | 0.298 | 4.067 | 0.92 | C | $M_w$ | -0.07 | 4.296 | 0.66 |
| C | $M_L$ | 0.198 | 0.478 | 0.88 | C | $M_L$ | -0.024 | 0.495 | 0.71 |
| $M_w$ | LAI | 0.058 | 1.211 | 0.94 | $M_w$ | LAI | 0.016 | 0.611 | 0.86 |
| $M_L$ | Y | 0.072 | 0.843 | 0.87 | C | Y | 0.019 | 0.497 | 0.88 |

The varying values of the regression parameters depicted crop dynamics during the physiological development. Thus, different slopes and correlation strength of the relationship between, for instance, LAI and the total biomass reflected LAI increase during the most active vegetative periods and its decrease with plant maturing and leaf senescence. Plant biomass, dry matter accumulation, leaf area index and canopy density are key parameters for assessing crop condition and productivity. The temporal patterns of these variables characterize not only crop phenological development but are as well indicators of plant health condition. Crop condition is assessed by evaluating the stage-specific values of growth variables and comparing them to a certain criterion in absolute terms or on a relative basis. Biophysical relationships can serve for verification of vegetation parameters retrieval and yield predictions from remote sensing spectral data.

Vegetation indices (VIs) are routinely used to monitor spatial and temporal changes in vegetation performance. The most common VIs are normalized differences (NDVI) utilizing visible and infrared spectral bands, and diverse ratio indices. We examined a big number of VIs for the strength of their correlation with plant growth variables. The formulae of some of them (mainly in the form of two or three-band combinations) that produced highest degree of correlation are presented in Table 4. The spectral indices were statistically related to crop canopy fraction, leaf area index, total and leaf fresh and dry biomass, crop density, plant chlorophyll, and grain yield. Strong correlation with spectral indices derived from the green (G=550 nm), red (R=670 nm) and near-infrared (NIR=800 nm) reflectance factors were observed (Table 4 and Table 5). Crop spectral response at different phenological stages was found to be sensitive to the variations of the growth variables that characterized plant vigour and seasonal development.

Table 4. Correlation between vegetation indices and winter wheat growth variables and yield of at heading stage

| No | VI | C | N | H | LAI | $M_w$ | $M_d$ | $M_L$ | Y |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | (NIR-R)/(NIR+R) | 0.95 | 0.86 | 0.93 | 0.93 | 0.88 | 0.80 | 0.87 | 0.96 |
| 2 | NIR/R | 0.97 | 0.92 | 0.93 | 0.95 | 0.94 | 0.84 | 0.92 | 0.94 |
| 3 | G.NIR/R | 0.84 | 0.60 | 0.54 | 0.81 | 0.70 | 0.52 | 0.78 | 0.72 |
| 4 | (NIR-G)/(NIR+G) | 0.88 | 0.89 | 0.92 | 0.91 | 0.91 | 0.85 | 0.92 | 0.9 |
| 5 | NIR/G | 0.97 | 0.95 | 0.75 | 0.98 | 0.96 | 0.88 | 0.98 | 0.92 |
| 6 | (NIR-R)/NIR | 0.79 | 0.80 | 0.96 | 0.81 | 0.82 | 0.76 | 0.82 | 0.9 |
| 7 | (G-R)/G | 0.87 | 0.82 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.75 | 0.85 | 0.83 |
| 8 | (NIR-G)/NIR | 0.83 | 0.85 | 0.95 | 0.86 | 0.87 | 0.81 | 0.87 | 0.86 |
| 9 | NIR/(G+R) | 0.99 | 0.95 | 0.74 | 0.98 | 0.96 | 0.87 | 0.99 | 0.96 |
| 10 | R/(NIR+G) | -0.83 | -0.83 | -0.94 | -0.84 | -0.86 | -0.78 | -0.85 | -0.83 |
| 11 | (G-R)/(G+R) | 0.89 | 0.82 | 0.80 | 0.85 | 0.85 | 0.74 | 0.85 | 0.79 |
| 12 | G/R | 0.89 | 0.80 | 0.73 | 0.85 | 0.83 | 0.71 | 0.84 | 0.82 |
| 13 | NIR/(G.R) | 0.90 | 0.94 | 0.65 | 0.89 | 0.95 | 0.94 | 0.93 | 0.77 |
| 14 | G/(G+R+NIR) | -0.94 | -0.93 | -0.85 | -0.95 | -0.95 | -0.88 | -0.96 | -0.93 |
| 15 | R/(G+R+NIR) | -0.88 | -0.86 | -0.92 | -0.88 | -0.89 | -0.81 | -0.88 | -0.8 |
| 16 | NIR/(G+R+NIR) | 0.91 | 0.90 | 0.90 | 0.92 | 0.92 | 0.84 | 0.92 | 0.94 |
| 17 | (NIR-G)/R | 0.91 | 0.82 | 0.82 | 0.95 | 0.94 | 0.75 | 0.85 | 0.86 |
| 18 | $[(G-R)/(G+R)+0.5]^{0.5}$ | 0.88 | 0.82 | 0.82 | 0.85 | 0.85 | 0.75 | 0.85 | 0.72 |
| 19 | $[(NIR-R)/(NIR+R)+0.5]^{0.5}$ | 0.83 | 0.84 | 0.94 | 0.85 | 0.86 | 0.79 | 0.85 | 0.92 |
| 20 | $[(NIR-G)/(NIR+G)+0.5]^{0.5}$ | -0.87 | -0.88 | -0.93 | -0.89 | -0.90 | -0.83 | -0.90 | -0.83 |

Table 5. Correlation between vegetation indices and winter wheat growth variables and yield at milk ripeness stage

| VI | C | N | H | LAI | $M_w$ | $M_d$ | $M_L$ | Y |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.94 | 0.89 | 0.95 | 0.92 | 0.81 | 0.78 | 0.71 | 0.93 |
| 2 | 0.97 | 0.93 | 0.82 | 0.93 | 0.95 | 0.90 | 0.97 | 0.91 |
| 4 | 0.88 | 0.71 | 0.88 | 0.92 | 0.90 | 0.88 | 0.94 | 0.89 |
| 5 | 0.86 | 0.95 | 0.70 | 0.85 | 0.89 | 0.84 | 0.94 | 0.87 |
| 6 | 0.94 | 0.84 | 0.86 | 0.87 | 0.86 | 0.84 | 0.74 | 0.94 |
| 8 | 0.81 | 0.71 | 0.87 | 0.92 | 0.85 | 0.83 | 0.92 | 0.87 |
| 9 | 0.95 | 0.79 | 0.93 | 0.98 | 0.94 | 0.89 | 0.95 | 0.93 |
| 10 | -0.93 | -0.83 | -0.84 | -0.84 | -0.84 | -0.83 | -0.71 | -0.86 |
| 12 | 0.86 | 0.77 | 0.71 | 0.71 | 0.74 | 0.72 | 0.73 | 0.81 |
| 13 | 0.77 | 0.78 | 0.78 | 0.84 | 0.64 | 0.8 | 0.84 | 0.79 |
| 14 | -0.70 | -0.83 | -0.79 | -0.89 | -0.76 | -0.73 | -0.90 | -0.78 |
| 16 | 0.95 | 0.83 | 0.93 | 0.96 | 0.93 | 0.90 | 0.90 | 0.95 |
| 17 | 0.93 | 0.85 | 0.87 | 0.95 | 0.92 | 0.88 | 0.95 | 0.93 |
| 19 | 0.93 | 0.83 | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.83 | 0.71 | 0.92 |

Subsequently, in order to quantitatively link spectral indicators to crop state-indicative parameters regression analysis was run over the datasets. Through simple regression, each vegetation index was related to each crop growth variable. The regression results for most of the examined VIs produced well-fitting models with predicted values close to the observed data values. This is illustrated by Figure 2a and Figure 2b where LAI empirical models derived from spectral reflectance data at two phenological intervals are presented. Figure 2c and Figure 2d shows the good correspondence between LAI predicted (estimated from the regression fits) and actual (measured) values. LAI is an essential descriptor of wheat canopies. As illustrated, it can be reliably estimated from multispectral data provided that phenology is taken into account. The same refers to other essential crop parameters such as canopy cover, and total and leaf biomass. The analysis of the

acquired spectral data showed that VIs were confidently related to plant variables through the bigger portion of the growing season before advanced maturity. The obtained empirical equations for some vegetation indices and crop yield and biophysical variables at earring stage are given in Table 6.

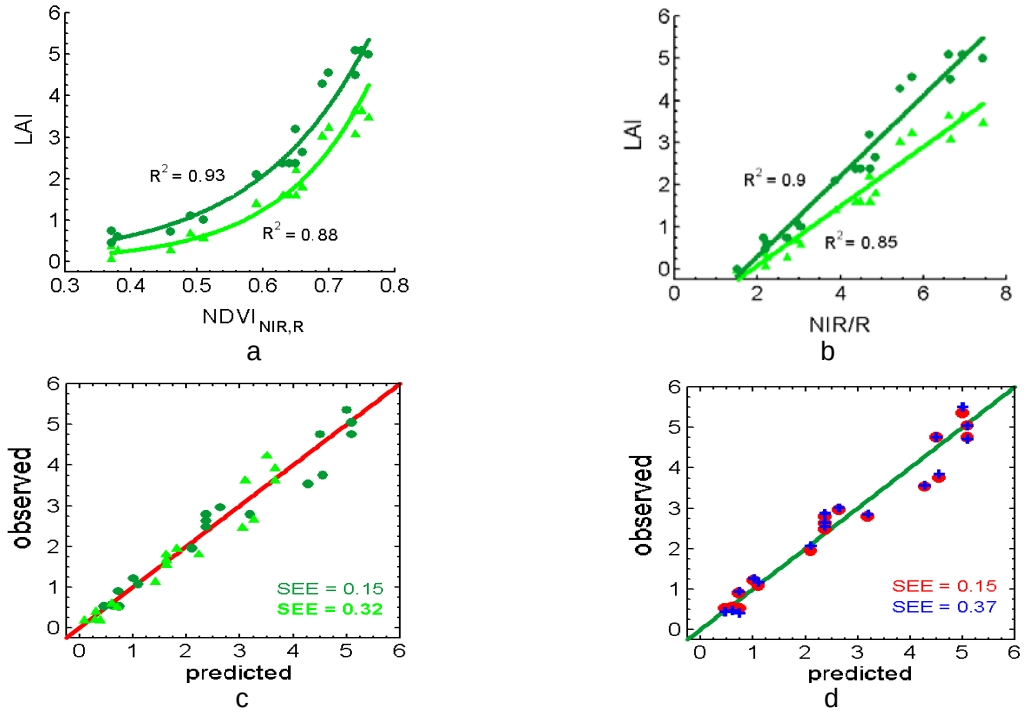



Fig. 2. $VI_1$ (a) and $VI_2$ (b) as spectral predictors of LAI for pre-heading (●) and post-heading (Δ) period; correspondence of LAI actual and predicted values: by $VI_1$ for both periods (c), and by $VI_1$ (●) and $VI_2$ (✚) at pre-heading (d)

Table 6. Empirical relationships of VIs with crop variables and yield at earring stage

| VI | variable | model | a | b | $R^2$ | VI | model | a | b | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | C | a+bx | -0.531 | 1.563 | 0.93 | 9 | a+bx | -0.1 | 0.243 | 0.91 |
| | $M_w$ | $e^{a+bx}$ | -1.252 | 3.123 | 0.9 | | a+bx | -0.92 | 1.22 | 0.94 |
| | LAI | $e^{a+bx}$ | -1.72 | 3.675 | 0.86 | | a+bx | -1.592 | 1.087 | 0.91 |
| | Y | a+bx | -0.373 | 1.058 | 0.9 | | a+bx | -0.054 | 0.131 | 0.9 |
| 2 | C | a+bx | 0.062 | 0.077 | 0.88 | 14 | a+bx | 1.816 | -7.34 | 0.87 |
| | $M_w$ | a+bx | -0.493 | 0.441 | 0.95 | | a+bx | 7.842 | -30.3 | 0.9 |
| | LAI | a+bx | -0.421 | 0.386 | 0.93 | | a+bx | 3.807 | -14.9 | 0.91 |
| | Y | a+bx | -0.006 | 0.047 | 0.89 | | | | | |
| 4 | C | a+bx | -0.588 | 1.813 | 0.81 | 16 | a+bx | -1.173 | 2.426 | 0.91 |
| | $M_w$ | a+bx | -5.928 | 13.08 | 0.82 | | a+bx | -9.003 | 15.87 | 0.88 |
| | LAI | a+bx | -5.66 | 12.22 | 0.88 | | a+bx | -8.449 | 14.7 | 0.93 |
| | Y | a+bx | -344.9 | 1018 | 0.83 | | a+bx | -0.856 | 1.616 | 0.91 |
| 5 | C | a+bx | -0.205 | 0.162 | 0.84 | 17 | a+bx | 0.074 | 0.094 | 0.88 |
| | $M_w$ | a+bx | -1.506 | 0.827 | 0.91 | | a+bx | -0.079 | 0.476 | 0.95 |
| | LAI | a+bx | -1.385 | 0.74 | 0.91 | | a+bx | -1.385 | 0.74 | 0.91 |
| | Y | a+bx | -0.039 | 0.052 | 0.88 | | a+bx | 0.039 | 0.050 | 0.88 |

The seasonal performance of VIs was a function of plant condition and growth stage. Examples of time-series VIs patterns of winter wheat trials are shown in Figure 3 for $NDVI_{NIR,R}$ ($VI_1$) and the simple ratios NIR/G ($VI_5$) and R/700 nm. These multitemporal profiles contain data from emergence to ripening and full maturity taken on 13 dates during the growing season. They tracked crop phenological development and distinctly monitored the temporal deviations in plant condition throughout the season. VIs temporal behaviour varied significantly between the trials depending on crop vigour. This provided for reliable discrimination between crop conditions during the season. Plant development rates and stages duration could also be distinguished from VIs profiles. The most pronounced amplitude differences were observed for mid-season values around heading. All trials showed uni-modal temporal spectral response during plant development. The temporal VIs curves had

a bell (Figure 3a and Figure 3b) or bowl (Figure 3c) shape depending on the positive or negative correlation with plant growth variables. Bell-shaped and bowl-shaped pattern could be found in the blue, red and NIR wavebands.

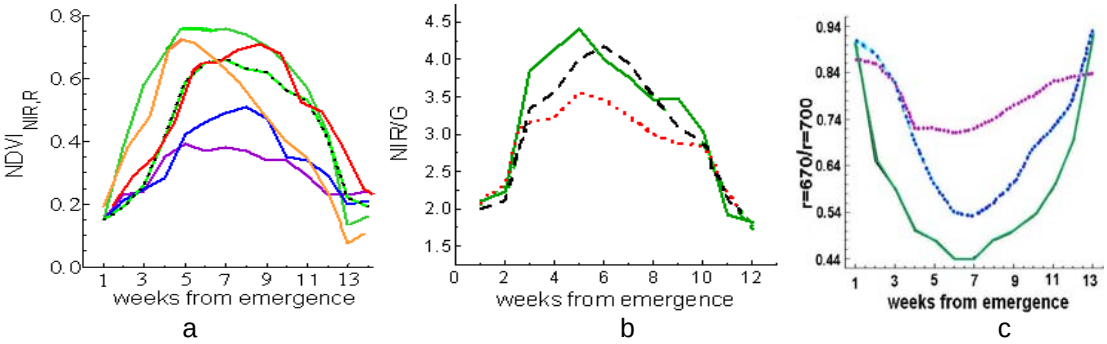



Fig. 3. Seasonal patterns of winter wheat vegetation indices:
a – $NDVI_{NIR,R}$ ($VI_1$),b – NIR/G ($VI_5$), c – 670 nm/700 nm

Besides monitoring pant growth performance, VIs was suitable for yield forecasts being strongly correlated with the grain yield within plant active growth and early reproductive periods. Figure 4a shows yield spectral models fitted from $VI_1$ and $VI_2$ values at heading stage. Verification of yield spectral predictions was performed through phisiological yield models linking yield to crop growth variables. Figure 4b presents the derived linear dependences of winter wheat grain yield on LAI values at two phenological stages. At later stages and higher LAI this relationship tends to curvilinear.

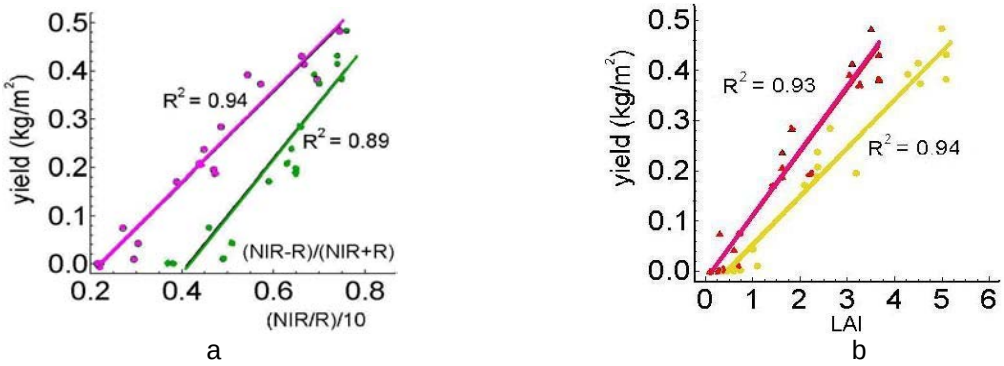



Fig. 4. Winter wheat yield prediction models: from $VI_1$ (●) and $VI_2$ (●) values at heading stage (a); from LAI values at stem elongation (Δ) and early-heading (●) stages (b)

Accumulated VIs values (temporal sums) during different growth periods produced high correlations with crop yield. Regression analysis between VIs temporal sums (ΣVI) and yield was performed to fit the empirical equations. Linear models with good statistical confidence were derived for the entire season sums as well as for different time intervals. Best performed in terms of yield prediction VI 1, 2, 4, 11, 13, 15 and 16. The $R^2$ values of their relationship with grain yield were above 0.9 (Table 7).

Table 7. Linear yield prediction models from VIs whole-season sums

| ΣVI | a | b | $R^2$ |
|---|---|---|---|
| 1 | -0.554 | 0.136 | 0.95 |
| 2 | -0.296 | 0.013 | 0.95 |
| 3 | -0.363 | 0.002 | 0.88 |
| 11 | 0.040 | 0.174 | 0.91 |
| 13 | -0.209 | 0.068 | 0.91 |
| 15 | 1.254 | -0.374 | 0.94 |
| 16 | -1.733 | 0.275 | 0.9 |

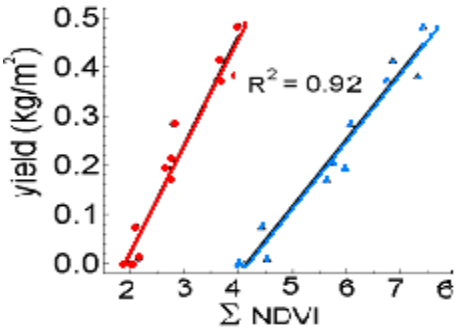



Fig. 5. Winter wheat yield prediction models from $VI_1$ half-season (●) and whole-season (Δ) temporal sums

In Figure 5 the derived spectral models for yield prediction from $VI_1$ half-season and whole-season sums are plotted. The integrated during plant growth VIs values proved to be a reliable yield prediction tool. The important point is that partial-season predictors also gave good results showing almost equally close relation with crop yield. This fact provides for early yield forecasts before the end of season.

**Conclusions**

The performance of various vegetation indices for monitoring crop seasonal dynamics, condition, and yield potential was examined. The temporal behaviour of vegetation indices revealed increased sensitivity to crop growth. The derived spectral-biophysical relationships allowed extraction of quantitative information about crop variables and yield at different stages of the phenological development. Relating plant spectral and biophysical variables in a phenology-based manner allows crop monitoring, that is crop diagnosis and predictions to be performed multiple times during plant ontogenesis. During active vegetative periods spectral data was highly indicative of plant growth trends and yield potential. The temporal sums of VIs values contributed to reliable yield prediction and showed very good correspondence with the estimates from biophysical models. For dates before full maturity most of the examined VIs proved to be meaningful statistical predictors of crop state-indicative biophysical variables. High correlations were obtained for canopy cover fraction, LAI, and biomass. Sensitivity to red, near-infrared and green reflectance showed both vigorous and depressed plants. As crops attained advanced growth stages, decreased sensitivity of VIs and weaker correlations with bioparameters were observed, yet still significant in a statistical sense. The results highlight the capability of the presented approach to track the dynamics of crop growth from time-resolved and time-integrated spectral data, and illustrate the prediction accuracy of the spectral models. The results of this paper may be useful in assessing the efficiency of various spectral band ratios and other vegetation indices often used in remote sensing studies of natural and agricultural vegetation. They suggest that the algorithm is particularly suitable for airborne cropland monitoring and could be expanded to similar sites at local or regional scale.

**References:**


1. Santhosh, K. S.n, Soizik. L., Casady, G. M. and Seielstad, G. A., “Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach”, Remote Sensing of Environment, 88 (1-2), 157-169 (2003).
2. Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P. J. and Strachan, I. B. “Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture”, Remote Sensing of Environment, 90, 337-352 (2004).
3. Jihua Meng, Bingfang Wu, Qiangzi Li, Xin Du, and Kun Jia, “Monitoring crop phenology with MERIS data: A case study of winter wheat in North China Plain”, Proceedings of Progress In Electromagnetics Research Symposium, Beijing, China, 1225-1228 (2009).
4. Viña, Andrés; Gitelson, Anatoly A.; Rundquist, Donald C.; Keydan, Galina P.; Leavitt, Bryan; and Schepers, James, "Monitoring maize (Zea.mays L.) phenology with remote sensing" Papers in Natural Resources. Paper 264 (2004) http://digitalcommons.unl.edu/natrespapers/284.
5. Xingzhi You, Jihua Meng, Miao Zhang and Taifeng Dong, “Remote sensing based detection of crop phenology for agricultural zones in China using a new threshold method”, Remote Sensing. 5, 3190-3211 (2013).
6. González-Sanpedro, M.C., Le Toan. T., Moreno, J., Kergoat, L. and Rubio, E., “Seasonal variations of leaf area index of agricultural fields retrieved from Landsat data”, Remote Sensing of Environment, 112 (3), 810-824 (2008).
7. Hatfield, J.L. and Prueger, J.H., “Value of using different vegetative indices to quantify agricultural crop characteristics at different growth stages under varying management practices”, Remote Sensing, 2,562-578 (2010).
8. Cagatay Tanrverdi, “Improved agricultural management using remote sensing to estimate water stress ındices”, Applied Remote Sensing Journal, 1(2), 19-24 (2010).
9. Baret, F., Houle`s, V. and Guer'rif, M., “Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management”, Journal of Experimental Botany, 58 (4), 869–880 (2007).
10. Franke, J. and Menz, G., “Multi-temporal wheat disease detection by multi-spectral remote sensing”. Precision Agriculture, 8(3), 161-172 (2007).
11. Cagatay Tanrverdi, “Improved agricultural management using remote sensing to estimate water stress ındices”, Applied Remote Sensing Journal, 1(2), 19-24 (2010).
12. Bolton, D. K. and Friedl, M. A., “Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics”, Agricultural and Forest Meteorology 173, 74– 84 (2013).
13. Jianqiang Ren, Zhongxin Chen, Qingbo Zhou, Huajun Tang, “Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong”, China, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 10 (4), 403-413 (2008).

14. Prasad, A. K., Lim Chai, Ramesh P. Singh, Menas Kafatos, "Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 8, 26–33, (2006).
15. Doraiswamy, P. C., Akhmedov, B., Beard, L., Stern, A., Mueller, R ., "Operational prediction of crop yields using MODIS data and products", ISPRS Archives, XXXVI, 8/W48, 45-49, (2006).
16. Uttam Kumar Mandal, U.S. Victor, N.N. Srivastava, K.L. Sharma, V. Ramesh, M. Vanaja, G.R. Korwar, Y.S. Ramakrishna, "Estimating yield of sorghum using root zone water balance model and spectral characteristics of crop in a dryland Alfisol", Agricultural water management, 87, 315–327 (2007).
17. Jianmao Guo, Weisong Lu, Guoping Zhang, Yonglan Qian, Qiang Yu, et al. "Incorporating remote sensing data in crop model to monitor crop growth and predict yield in regional area", Proc. SPIE 6411, Agriculture and Hydrology Applications of Remote Sensing, 64111C (2006) http://dx.doi.org/10.1117/12.692756
18. Dente, L., Satalino, G., Mattia, F., Rinaldi, M., "Assimilation of leaf area index derived from ASAR and MERIS data into CERES-Wheat model to map wheat yield", Remote Sensing of Environment, 112 (4), 1395-1407 (2008).
19. Clevers, J. G. P. W., Vonder, O. W., Jongschaap, R. E. E., Desprats, J. F., King, C., Prévot, L.and Bruguier, N., "Using SPOT data for calibrating a wheat growth model under mediterranean conditions", Agronomie, 22, 687-694 (2002).
20. Thenkabail, Prasad S., Smith, Ronald B., De Pauw, Eddy, "Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics, Remote Sensing of Environment, 71 (2), 158-182 (2000
21. Broge, N. H., Mortensen, J. V., "Deriving green crop area index and canopy chlorophyll density of winter wheat from spectral reflectance data", Remote Sensing of Environment, 81, (1), 45-57 (2002).
22. McNairn, H., Deriving percent crop cover over agriculture canopies using hyperspectral remote sensing. Canadian Journal of Remote Sensing, 34(S1), S110-S123 (2008).
23. Motohka, T., K.N. Nasahara, H. Oguma, S. Tsuchida, "Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology", Remote Sensing, 2, 2369-2387 (2010).
24. Zhang, X. Y., Friedl, M. A., Schaaf, C. B., Strahler, A. H., Hodges, J. C. F., Gao, F., et al.. "Monitoring vegetation phenology using MODIS", Remote Sensing of Environment, 84, 471−475 (2003).
25. Ferreira, L. G. and Huete, A. R., "Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices', Int. J. Remote Sensing, 25, (10), 1837–1860 (2004).
26. Ferreira, L.G., Yoshioka, H., Huete, A., Sano, E.E., "Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere–Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA)", Remote Sensing of Environment, 87, 534–550 (2003).
27. Stockli, R., Rutishauser, T., Dragoni, D., O'Keefe, J., Thornton, P. E., Jolly, M., Lu, L. and Denning, A. S., "Remote sensing data assimilation for a prognostic phenology model", J. Geophys. Res., 113, G04021 (2008)/
28. Jenkins, J. P., Braswell, B. H., Frolking, S. E. and Aber, J. D., "Detecting and predicting spatial and interannual patterns of temperate forest springtime phenology in the eastern U.S.", Geophysical Research Letters, 29 (24) 2201 (2002).
29. White, M. A., Brunsell, N., and Schwartz, M. D., "Vegetation phenology in global change studies", In M. D. Schwartz (Ed.), Phenology: An integrative environmental science, NY: Kluwer Academic Publishers, 453−466 (2003).
30. White, M. A., Hoffman, F., Hargrove, W.W., and Nemani, R. R., "A global framework for monitoring phenological responses to climate change", Geophysical Research, 32, L04705 (2005).
31. Vieira, C., Mather, P. and McCullagh, M., "The spectral-temporal response surface and its use in the multi-sensor, multitemporal classification of agricultural crops", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. XXXIII (B2), 582-589 (2000).
32. Teillet, P M., Gauthier, R P., Chichagov, A., Fedosejevs, G., "Towards integrated Earth sensing: Advanced technologies for in situ sensing in the context of Earth observation". Canadian Journal of Remote Sensing, 28 (6), 713-718 (2002).
33. Kancheva, R., Borisova, D., "Validation of crop spectral models", Proc. 11th International Scientific Conference "Solar-Terrestrial Influences", Sofia, Bulgaria, 125-127 (2005).
34. Sharma, A. R., Badarinath, K.V.S., Roy, P. S., "Comparison of ground reflectance measurement with satellite derived atmospherically corrected reflectance: A case study over semi-arid landscape", Advances in Space Research, 43 (1), 56-64 (2009).
35. Kancheva, R., Borisova, D., "Vegetation ground-level spectral modelling in support of remotely sensed data interpretation," Proceed of the 4th Workshop "Imaging Spectroscopy. New Quality in Environmental Studies", Warsaw, 817-825 (2006).
36. Numata, I. D., Roberts, A., Chadwick, O. A., Schimel, J. P., Galvão, L. S., Soares, J. V., "Evaluation of hyperspectral data for pasture estimate in the Brazilian Amazon using field and imaging spectrometers", Remote Sensing of Environment, 112 (4), 1569-1583 (2008).

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# RELATIONSHIPS BETWEEN PLANT OPTICAL PROPERTIES AND CHLOROPHYLL CONTENT

**Rumiana Kancheva, Denitsa Borisova, Georgi Georgiev**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: rumik@abv.bg, dborisova@stil.bas.bg, ggeorgie@stil.bas.bg*

***Keywords:*** *chlorophyll, reflectance, vegetation indices, red edge, spectral transmittance, fluorescence, chromaticity*

***Abstract:*** *At a time of rising global concern about environmental issues remote sensing techniques acquire increasing importance in vegetation monitoring. Multispectral optical data have proved abilities in assessment of vegetation condition and health diagnostics. The visible and near infrared spectral regions reveal significant sensitivity to plant biophysical variables and pigment content. The spectral signatures of leaves in this wavelength range are mostly defined by the composition of photosynthetic pigments and their plant-maturing or stress-induced changes. As such, the spectral response provides valuable information about vegetation physiological status. Since chlorophyll content is the most important bioindicator of plant condition being responsible for the light absorption and photosynthetic processes, techniques for its non-destructive assessment are of prime interest. In our study, multispectral data of reflected, absorbed, transmitted and emitted by plants radiation have been used to reveal the performance of different spectral features for chlorophyll estimation. Vegetation indices, red edge shift, spectral transmittance characteristics, fluorescence parameters, and chromaticity properties have been related to plant chlorophyll in order to examine the statistical significance of the spectral response changes to plant chlorophyll variations. High correlations have been found and quantitative dependences established between chlorophyll and their spectral features. Empirical relationships have been derived that allow plant condition and stress assessment (in terms of chlorophyll inhibition) to be performed by using different spectral indicators.*

# ВРЪЗКА МЕЖДУ ХЛОРОФИЛНОТО СЪДЪРЖАНИЕ И ОПТИЧНИТЕ СВОЙСТВА НА РАСТЕНИЯТА

**Румяна Кънчева, Деница Борисова, Георги Георгиев**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: rumik@abv.bg, dborisova@stil.bas.bg, ggeorgie@stil.bas.bg*

***Ключови думи:*** *хлорофил, спектрално отражение, вегетационни индекси, червено отместване, пропускане, флуоресценция, цветови характеристики*

***Резюме:*** *С нарастващата загриженост в целия свят относно проблемите на околната среда дистанционните методи придобиват все по-голямо значение за диагностика и оценка на състоянието на растителната покривка. Многоспектралните оптични данни са доказали възможностите си в растителния мониторинг. Видимата и близката инфрачервена област проявява значителна чувствителност към биофизичните параметри и пигментното съдържание на растенията. В този диапазон спектралните характеристики се определят предимно от състава на фотосинтетични пигменти и техните стрес-индуцирани изменения. Затова те предоставят ценна информация за физиологичното състояние на растенията. Хлорофилът е най-важният биоиндикатор, отговорен за поглъщането на светлината и за процеса на фотосинтезата. По тази причина неразрушителните методи за неговото определяне са от първостепенно значение. В нашия експеримент са проведени многоспектрални измервания на отразената, пропусната и излъчена радиация и е изследвана връзката между оптичните свойства на растенията и хлорофилното съдържание. За целта статистически са анализирани различни спектрални признаци като вегетационни индекси, червеното отместване, цветови характеристики, параметри на флуоресценцията. Установените значими корелации с хлорофила са позволили извеждането на количествени зависимости за неговото определяне чрез използване на различни спектрални показатели.*

## Introduction

Advanced monitoring and on-time alerting techniques, information extraction, modeling and forecasting technologies are a preposition for successful data application and decision support in environmental studies. The increasing ecological and economical concerns at local, regional and global scales are much relevant to vegetation land covers. The ever growing pressure on the environment imposes the necessity of efficient means for monitoring and assessing the impact of natural and anthropogenic factors on this most vital component of the biosphere. Different human activities, biotic and abiotic stresses are problems related to croplands as well as to the issue of natural vegetation resources degradation. In agriculture, proper growth and high production of crops are conditioned by a variety of environmental parameters and human-induced factors. One third of the world's agricultural plant production is destroyed by pests and diseases. The possibility for timely crop diagnostics and identification of stress situations is of particular importance for the agronomic production and management practices. Early detection of the presence of pathogens in crops allows proper forecasting and preventive control measures to be taken and makes it possible to decrease losses. Further development and extension of new technologies for the early detection and identification of plant pathogens is therefore of the utmost economic importance.

Among different methods used for plant health assessment, spreading role become to play various radiometric techniques which are the basis of Earth remote sensing The radiation behavior of vegetation land covers and their spectral response to changing conditions lie at the root of vegetation remote sensing. Visible and near infrared measurements have proved abilities in vegetation monitoring. The reason is that this wavelength range reveals significant sensitivity to plant biophysical and biochemical properties. The information is carried by vegetation spectral characteristics which depend on such parameters as chlorophyll content, biomass amount, leaf area, etc. These are growth parameters associated with plant phenological development and physiological state, and are closely related to growing conditions. As thus, the specific spectral behaviour of healthy plants and plants subjected to short-term or long-term stress impacts has the potential to be used as vegetation state indicator. Vegetation is in the focus of various remote sensing investigations, research work and experimental studies. It is a subject of a big number of recent projects and programs related to vegetation resources management and preservation. Spectral data have been successfully used for vegetation phenology monitoring [1-3], spatial distribution assessment of vegetation types [4], ecosystem forecasting [5], and evaluating year-to-year spatial-temporal variations of vegetation seasonality and their dependence on environmental factors [6, 7]. Monitoring of cropland dynamics is carried out with the main goal to track the phenological development, assess the growth process and forecast crop production. Remotely sensed multispectral data have been applied for plant growth monitoring and state assessment [8-11]. These data are particularly effective in deriving plant biophysical parameters. In recent decades, a large amount of work has been published on the derivation of vegetation biophysical parameters (e.g. of biomass, chlorophyll content, leaf area index, and others) from optical data [12-20]. Such information is valuable in yield modeling and forecast. Various data and data processing algorithms are applied to provide quantitative crop information and make yield predictions [21-22] at different scales. Crop stress detection [23-30] plays a significant role in monitoring agricultural fields during the growing season.

Much research has been is carried out on vegetation health issues. In order to use remote sensing data collected over vegetative targets for vegetation health assessment, multispectral data are analyzed to estimate green phytomass and other physiological variables related to plant growth and indicative of vegetation health status. Such key characteristic is plant chlorophyll content. Chlorophyll is a vital physiological parameter and an important bioindicator of the performance of vegetation especially when it is growing under various unfavourable environmental conditions. Chlorophyll determines the photosynthetic capacity and physiological status of plants. Chlorophyll a is the primary pigment for photosynthesis in plants, but the range of light absorption is extended by chlorophyll-b, carotenoids and other accessory pigments. Chlorophyll b exhibits a blue-green visual color and absorption peaks at 453 nm and 642 nm. It occurs in all plants and is usually about half as much as the chlorophyll a variety. Chlorosis when not the result of natural phenological development (senescence or maturing) is a basic symptom of vegetation stress. That is why the assessment of plant chlorophyll as well as other pigment indicators (carotenoids, chlorophyll a to chlorophyll b ratio, and chlorophylls to carotenoids ratio) is essential for vegetation state monitoring. Many papers have the objective to investigate the relations of plant chlorophyll with different spectral data from different sources and the possibility of using these data as chlorophyll spectral predictor [31-36]. Fluorescence occupies a special place in the study of vegetation photosynthesis system and stress-induced chlorophyll inhibition [37-29]. The goal of this paper is to study plant spectral response to changing chlorophyll content, to examine and compare its relations with different spectral features, and

quantitatively describe these relationships. Multispectral data of reflected, transmitted and emitted by plants radiation have been used to reveal the performance of different spectral signatures in chlorophyll estimation.

**Materials and methods**

The study comprised green-house and laboratory experiments. Agricultural species were cultivated in a greenhouse under different growing conditions and controlled combination of factors. Spring barley and alfalfa were grown on two soil types differing by their organic content and acidity (neutral chernozem soil with pH=7.0-7.5 and acid grey forest soil with pH=5.0-5.5),. Different nitrogen supply rate and fertilizer type were applied as well as heavy metal (Ni, Cd) contamination of the soils in different concentrations. The type of the fertilizer effected nitrogen access to plants. Besides, the two soils exhibited different behaviour to the heavy metals increasing their mobility and uptake by plants in the case of the acid soil treatments. A second set of experiments included spring barley and peas hydroponically grown in different media (water and algae supernatant) and subjected to Cd contamination. This variety of growing conditions and their interactive effects ensured a wide range of plant performance and physiological status thus causing considerable changes in plant pigments' content. Different spectral data and data processing techniques were applied to derive various plant spectral features (vegetation indices, red edge wavelength, transmittance, fluorescence parameters, and chromaticity characteristics). Empirical relationships have been established between a variety of spectral response features and plant pigment variables.

Spectral reflectance measurements were conducted at canopy level over plants grown in soil. A multichannel radiometer in the visible and near infrared region (400-820 nm) with a 10 nm step was used. Along with spectral measurements, the content of chlorophyll a, that of chlorophyll b, total chlorophyll and carotene content were measured and the ratios of chlorophylls a/b and of total chlorophyll to carotenoids (a+b)/car were determined.

Various spectral indices were calculated exploiting the specifics of vegetation reflectance and absorbance. A common technique for multispectral data analysis is the implementation of spectral transformations called vegetation indices (VIs). They represent various combinations of the measured reflectance factors $r(\lambda)$ at two or more wavelengths $\lambda$, usually in the form of various simple $r(\lambda_i)/r(\lambda_j)$ or other ratios $[r(\lambda_i)-r(\lambda_j)]/r(\lambda_i)$, $r(\lambda_i)/[r(\lambda_i)+r(\lambda_j)+r(\lambda_k)]$, differences $r(\lambda_i)-r(\lambda_j)$, weighted sums $ar(\lambda_i)+br(\lambda_j)+cr(\lambda_k)$, and normalized differences $[r(\lambda_i)-r(\lambda_j)]/[r(\lambda_i)+r(\lambda_j)]$. The wavelengths were selected corresponding to vegetation high reflectance and absorption bands in the blue (450 nm), green (550 nm), red (670 nm) and near infrared (800-900 nm) range or were located within the red edge interval (690÷760 nm) of steep reflectance increase. By derivative analysis of the spectral reflectance curves determination of the red edge position (wavelength) was performed and related to plant chlorophyll. From spectral reflectance curves, vegetation canopy tristimulus values X, Y, Z and color coordinates x, y, z (relative X, Y, Z stimulus) were calculated according to the CIE 1964 method and for $D_{65}$ light source. The efficiency of each colorometric variable, their ratios, and sums was examined in respect to their sensitivity to plant chlorophyll variations. The sum of the tristimulus values X+Y+Z showed highest correlation and was chosen for further regression analysis. Multispectral data of transmitted irradiance in the 540-800 nm spectral range was gathered from detached leaves of the hydroponically grown plants. These data were used to detect plant stress and discriminate between healthy and depressed plants as well as to assess plant physiological state associated with chlorophyll inhibition. Chlorophyll fluorescence is a measure of the efficiency of photosynthesis and is used, therefore, as an indicator of vegetation health and vitality. In our study, fluorescence emission spectra were also acquired from detached plant leaves. Chlorophyll red and far red fluorescence was excited by a blue light source at 470 nm. Empirical approach was used to test the performance of spectral data in response to pigment changes. Regression analysis was performed to reveal the relationships between different spectral variables and plant chlorophyll and carotenoid pigments.

**Results and discussion**

Since the objective of the work is to assess the capability of different spectral features to effectively distinguish plant health condition and monitor the physiological status defined by the amount of chlorophyll and carotenoid pigments, the presented here results illustrate some of the findings. Vegetation indices, red edge shift, spectral transmittance, fluorescence, and chromaticity features, were related in a statistical manner to plant chlorophyll in order to examine the statistical significance of spectral response changes to chlorophyll variations. High correlations were found permitting quantitative dependences to be established between chlorophyll in plants and their spectral properties. The assessment of plant stress (in terms of chlorophyll inhibition) from the derived

empirical relationships with different spectral indicators was in good correspondence with the objective plant state.

We examined a great number of spectral indices for their correlation with plant photosynthetic pigments chlorophylls and carotenoids. Many of the VIs were significantly correlated with the concentration of chlorophyll *a* ($C_a$), chlorophyll *b* ($C_b$), total chlorophyll *a+b* ($C_{a+b}$), carotene (Car) as well as with the chlorophylls to carotene ratio. Some of the results for canopy level measurements of spring barley are given in Table 1 and Table 2.

Table 1. Linear correlation coefficients between spring barley Vis and chlorophyll a+b concentration at different phenological stages

| Growth stage | NIR/R | NIR/G | G*NIR/R | (NIR-G)/(NIR+G) | $r_{\lambda=670}/r_{\lambda=700}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| tillering | 0.92 | 0.93 | 0.84 | 0.92 | -0/93 |
| stem elongation | 0.93 | 0.93 | 0.87 | 0.92 | -0.94 |
| booting | 0.94 | 0.96 | 0.88 | 0.93 | -0.94 |

Table 2. Linear correlation coefficients of spring barley Vis with carotene concentration and the ratio of chlorophyll a+b to carotene concentrations at stem elongation stage

| VI | Car | $C_{a+b}$/Car | VI | Car | $C_{a+b}$/Car |
|---|---|---|---|---|---|
| (NIR-R)/(NIR+R) | -0.91 | 0.78 | (G-R)/(G+R) | -0.89 | 0.84 |
| NIR/R | -0.90 | 0.81 | G/R | -0.88 | 0.84 |
| (NIR-G)/(NIR+G) | -0.87 | 0.70 | R/(G+NIR) | 0.90 | -0.79 |
| NIR/G | -0.89 | 0.73 | $R^2/r_{\lambda=620}* r_{\lambda=720}$ | 0.92 | -0.82 |

In Figure 1 the effects of the chlorophyll content on spring barley spectral reflectance factors at 550 nm, 670 nm, and 700 nm are shown. However, more significantly correlated with plant chlorophyll are different spectral indices. Figure 2 presents the derived empirical relationship between spring barley chlorophyll *a* concentration and the ratio index $r_{\lambda=670)}/r_{\lambda=700}$. It is an illustration of the indices-based approach to chlorophyll retrieval from multispectral data. The chlorophyll content was associated with plant growth and maturing. During maturing and senescence periods the correlation of spectral indices with chlorophyll weakened to insignificant. Besides, chlorophyll exhibited significant variations relevant to growing conditions. In the active vegetative stages decreased chlorophyll was an indicator of plant depression. Stresses inhibited chlorophyll and increased carotenoid pigments.

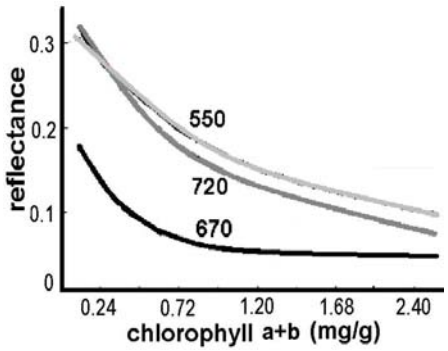



Figure 1 Effects of spring barley chlorophyll concentration on the spectral reflectance factors at 550 nm, 670 nm and 720 nm

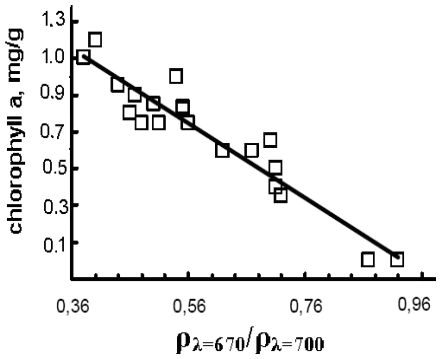



Figure 2 Relationship between spring barley chlorophyll a concentration and the ratio vegetation index $r_{(\lambda=670)}/r_{(l=700)}$

Derivative analysis was another technique used to link plant reflectance to chlorophyll content. Figure 3 shows a typical spectral curve of green vegetation. In Figure 4 the first derivative of the reflectance spectrum is plotted. Chlorophyll variations changed plant reflectance especially around the red band of the chlorophyll absorption.

The spectral response to chlorophyll inhibition was increased reflectance in the red absorption wavelength band and decreased in the red edge interval with shifts towards shorter wavelengths (Figure 5). The red edge shift was examined for deriving quantitative relationships with chlorophyll content. Through regression analysis, linear relationship $R^2$=0.87) between the red edge wavelength and the total chlorophyll a+b concentration in alfalfa at button stage was revealed. It is plotted in

Figure 6. The sensitivity of the red edge position to chlorophyll content proved the good potential of this spectral feature for quantitative assessment of chlorophyll and reliable stress detection in terms of chlorophyll deprivation.

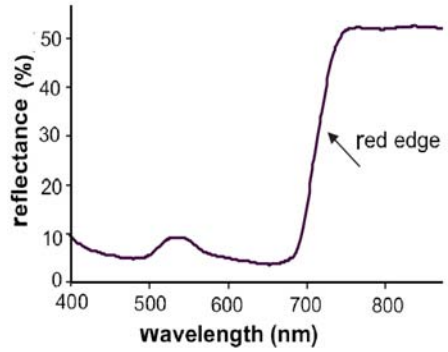



Figure 3. Reflectance of green vegetation in the visible and near infrared spectral range

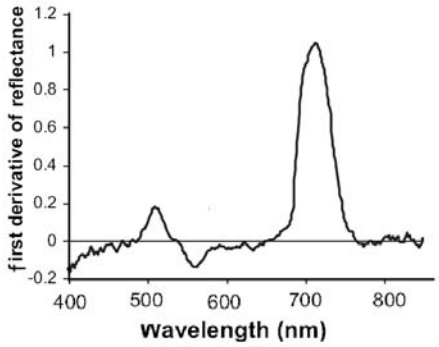



Figure 4. The first derivative of green vegetation reflectance characteristic

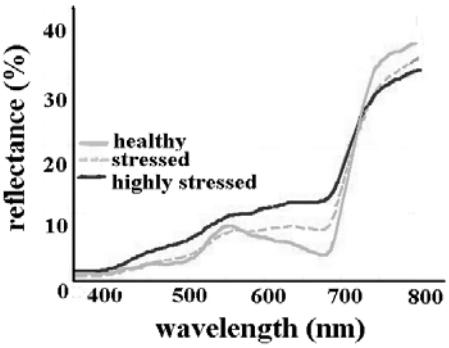



Figure 5. Spectral reflectance signatures of healthy and Cd-stressed alfalfa plants

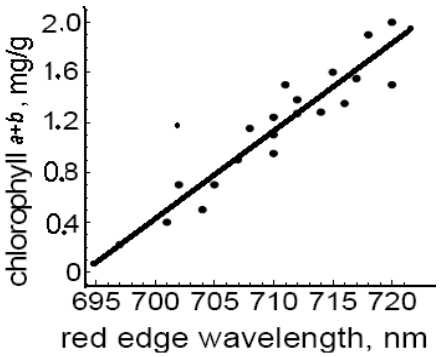



Figure 6. Linear relationship between the total chlorophyll a+b concentration in alfalfa and the red edge position (wavelength)

Vegetation canopy tristimulus values X, Y, Z and chromaticity coefficients x, y, z were calculated from the spectral reflectance curves and examined for their ability to serve as spectral indicators of plant chlorophyll variations. The tristimulus values sum X+Y+Z occurred to be most higly correlated ($R^2$=0.81) with plant chlorophyll content. Figure 7 presents the obtained regression fit between X+Y+Z and the total $C_{a+b}$ in spring barley.

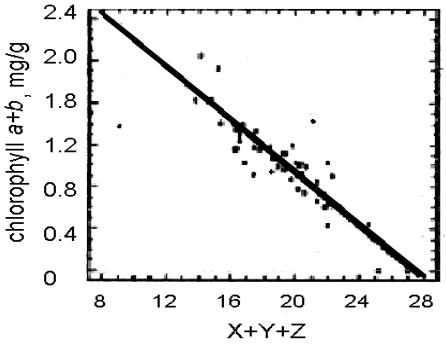



Figure 7. Linear regression between spring barley total chlorophyll *a+b* and the tristimulus values sum X+Y+Z

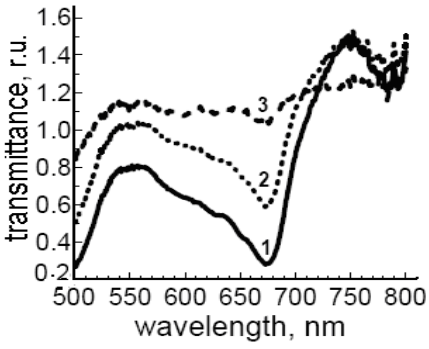



Figure 8. Transmittance of pea plants leaves with different chlorophyll content (decreasing from the control sample 3 to the stressed samples 2 and 1)

In the hydroponic experiment, leaf transmittance was measured and statistically related to plant pigment content in order to determine the presence and strength of correlations and the significance of the spectral response to variations of plant chlorophyll and carotene. Spectral transmittance in the 500-800 nm wavelength range of pea leaves with different chlorophyll content is

presented in Figure 8. The spectral feature ND (λ=670 nm) was estimated from plant transmittance spectra. ND is the normalized difference between the spectrograms of the control (3) and Cd-stressed (1 and 2) plants.

Table 3. Linear correlation between the ratio of the total chlorophyll to carotenoids (Ca+b/car) in pea leaves for 14-day and 20-day old plants and ND (λ=670 nm)

| Plant age | 14 days | 20 days |
|---|---|---|
| Correlation | 0.91 | 0.94 |

$$ND(\lambda_i) = \frac{t_{\lambda_i}^{contr} - t_{\lambda_i}^{pollut}}{t_{\lambda_i}^{contr} + t_{\lambda_i}^{pollut}}$$

The variable ND (λ=670 nm) was relared to the pigment ratio chlorophyll *a*+*b*/carotenoids. This ratio is indicative of vegetation health condition. It decreases in case of plant depression and chlorophyll inhibition. In Table 3 the coefficients of correlation between the ratio of total chlorophyll to carotenoids in pea leaves for 14 and 20-day old plants and the transmittance feature ND (λ=670 nm) are given. The correlation is higher for the older plants because of the bigger and more distinct differences in the pigment ratio. Higher levels of carotene, on the other hand, are plant protective reaction to improve resistance to stresses. Figure 9 shows ND (λ=670 nm) values for leaves with different chlorophyll and carotenoid concentrations. In Figure 10 the obtained statistical dependence of this spectral feature on the pigment ratio (in percentage to the control non-stressed plants) is plotted. Indicators of the adequacy and accuracy of the fitted model are the high coefficient of determination ($R^2$=0.93) and the narrow confidence limits. The ratio of C *a*+*b* to carotenoids is an indicator of the greenness of plants. Lower values of the ratio are indicators of senescence, stress, and damage to the plant and the photosynthetic apparatus, which is expressed by faster breakdown of chlorophylls than carotenoids.

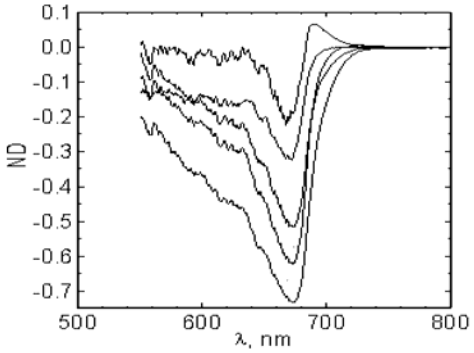



Figure 9. Transmittance $ND_{(\lambda=670\ nm)}$ values of pea leaves with different chlorophyll and carotenoid concentration

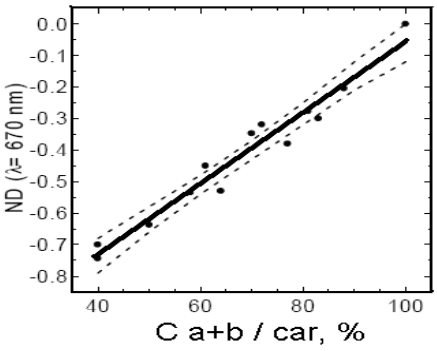
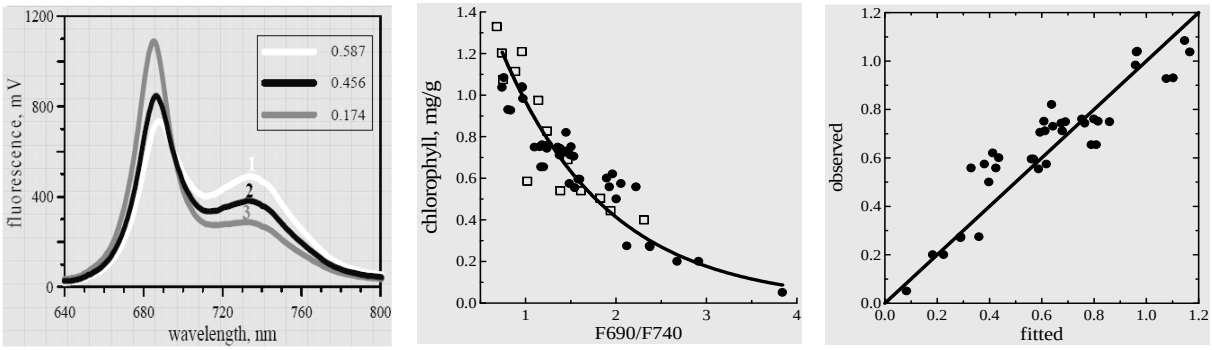



Figure 10. Dependence of $ND_{(\lambda=670\ nm)}$ values of pea leaves on the total chlorophyll *a*+*b* to carotenoid ratio relatively to the control plants

One more technique used in this study to relate plant spectral response to chlorophyll content was the analysis of plant fluorescence emission. Chlorophyll fluorescence is a measure of the efficiency of photosynthesis and can be used, therefore, as an indicator of vegetation vitality. Fluorescence spectra excited by a blue light source (470 nm) were taken from leaves of 14-day old spring barley plants grown hydroponically in two media and subjected to Cd-contamination. Each measurement record consisted of 10 consecutive spectra, automatically averaged. The fluorescence was obtained from the upper side of the leaf samples after 3 min predarkening. The objective was to evaluate the sensitivity of fluorescence parameters to chlorophyll content in order to detect and assess plant depression from fluorescence measurements. Visible light illumination excited chlorophyll fluorescence in the red and far red spectral band (675-740 nm) with peaks at about 685-690 nm and 735-740 nm. Fluorescence spectra obtained from barley leaves with different chlorophyll concentration are shown in Figure 11a.

The analysis of the fluorescence emission revealed high correlation of the red and far red fluorescence intensities with leaf chlorophyll. Fluorescence appeared to be very responsive to chlorophyll decrease at early stage of plant development before visual color or morphological signs of stress had been observed. Changes of fluorescence maxima intensities (termed as F690 and F740) as well as of the minimum emission values F710 were observed. Plants with less chlorophyll content exhibited increased red fluorescence F690 and decreased far-red intensity F740 along with decreased F710 values. With decreased chlorophyll, the red F690 peak manifested shifts towards shorter wavelengths while the position of the far-red maximum F740 remained consistent. Small wavelength

shifts were observed also in the F710 emission minimum but with the opposite to F690 behaviour, i.e. to longer wavelengths. Thus, chlorophyll variations were readily traceable through fluorescent measurements.




a) b) c)

Figure 11. Red and far-red fluorescence of spring barley leaves with different chlorophyll *a* concentration (a); relationship between chlorophyll in barley leaves and fluorescence F690/F740 ratio (●), independent data (□) (b); correspondence between the observed (measured) and fitted chlorophyll values (c)

In order to reveal the most reliable spectral indicator, correlation analysis was run over fluorescence and chlorophyll data sets. In Table 4 the results of the linear correlation are given (about 50 measurements). As commented above, the chlorophyll correlation with F710 and F740 intensities was positive while the correlation with the F690 emission and the wavelength bandwidths $\Delta\lambda_1=\lambda_{F710}-\lambda_{F690}$ and $\Delta\lambda=\lambda_{F740}-\lambda_{F690}$ were negative. Highest correlation with chlorophyll revealed the intensity ratio of the red to far-red fluorescence F690/F740.

Table 4. Coefficients of linear correlation between chlorophyll concentration and fluorescence parameters

| Fluorescence parameter | F690 | F710 | F740 | $\lambda_{F710}-\lambda_{F690}$ | $\lambda_{F740}-\lambda_{F690}$ | F690/F740 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Correlation coefficient | - 0.69 | 0.49 | 0.68 | - 0.81 | - 0.86 | - 0.91 |

Fluorescence response F690/F740 was exponentially regressed to leaf chlorophyll. The obtained empirical dependence is presented in Figure 11b. The results were confirmed by repeated experiments proving the consistence of the established relationships under the given experiment conditions. The adequacy of the fitted model was tested and confirmed by an independent dataset from treatments repetitions. Figure 11c shows the good correspondence between the observed (measured) and fitted chlorophyll values. The predicted (modeled) chlorophyll concentrations are in good agreement with the experimental data. Compared to reflectance, chlorophyll fluorescence was a more accurate predictor of plant chlorophyll able to detect slight changes at early plant growth.

**Conclusions**

The presented results obtained in the study of the relationships between chlorophyll content and plant spectral features come to prove the capabilities of different spectrally-based techniques to quantitatively estimate chlorophyll and detect slight chlorophyll variations from plant spectral response. Ground-based experiments and precise measurements under controlled conditions serve as a basis for remote sensing data verification and validation of retrieval algorithms.

**References:**


1. Schwartz, M. D., Reed, B., & White, M. A., "Assessing satellite-derived start-of-season (SOS) measures in the conterminous USA". International Journal of Climatology 22, 1793−1805 (2002).
2. Zhang, X., Friedl, M., Schaaf, C., Strahler, A., Hodges, J., Gao, F., "Monitoring vegetation phenology using MODIS". Remote Sensing of Environment 84, 471-475 (2003).
3. Motohka, T.., Nasahara, K.N., Oguma, H., Tsuchida, S., "Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of vegetation phenology". Remote Sensing 2, 2369-2387 (2010).

4. Ferreira, L. G. and Huete, A. R., “Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices”. Int. J. Remote Sensing 25 (10), 1837–1860 (2004).
5. Stockli, R., Rutishauser, T., Dragoni, D, O’Keefe, J., Thornton, P., Jolly, E., Lu, L. and Denning, A. S., “Remote sensing data assimilation for a prognostic phenology model”. J. Geophys. Res. 113, 1-19 (2008).
6. Jolly, W. M., Nemani, R., Running, S. W., “A generalized, bioclimatic index to predict foliar phenology in response to climate”. Global Change Biology 11, 619−632 (2005).
7. White, M. A., Brunsell, N., & Schwartz, M. D., “Vegetation phenology in global change studies”. Phenology: An integrative environmental science, 453−466 (2003).
8. Peroni, G., Gachelin, J-P, Saint-Pol, M., Legoff, V., Fontanot, F., Sannier, C., “New spectral data available for the controls in agriculture (CWRS) and for vegetation monitoring”. Proc. 16-th GeoCAP Annual Conference Geomatics in support of the CAP, 11-20 (2010).
9. Osório, J., Osório, M., Romano, A., “Reflectance indices as nondestructive indicators of the physiological status of Ceratonia siliqua seedlings under varying moisture and temperature regimes”. Functional Plant Biology 39, 588–597 (2012).
10. Doraiswamy, P.C., Hatfield, J.L., Jackson, T.J., Akhmedov, B. J., Prueger, A. S., “Crop condition and yield simulations using Landsat and MODIS”. Remote Sensing of Environment 92, 548–559 (2004).
11. Serrano, L., Filella, I., and Penuelas, J., “Remote Sensing of Biomass and Yield of Winter Wheat under Different Nitrogen Supplies”. Crop Sci. 40, 723–731 (2000).
12. Pacheco, A., Bannari, A., Staenz, K., McNairn, H., “Deriving percent crop cover over agriculture canopies using hyperspectral remote sensing”. Canadian Journal of Remote Sensing 34(S1), S110-S123 (2008).
13. Gilabert, M. A., Garcia-Haro, F. J. and Melia, J., “A mixture modeling approach to estimate vegetation parameters for heterogeneous canopies in remote sensing”. Remote Sensing of Environment 72, 328-345 (2000).
14. Gitelson, A. A. “Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation”. Journal of Plant Physiology 161, 165-173 (2004).
15. Gitelson, A. A., Stark, R., Grits, U., Rundquist, D., Kaufman, Y. and Derry, D., “Vegetation and soil lines in visible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction”. International Journal of Remote Sensing 23, 2537-2562 (2002b).
16. Colombo, R., Bellingeri, D., Fasolini, D. and Marino, C. M., “Retrieval of leaf area index in different vegetation types using high resolution satellite data”. Remote Sensing of Environment 86, 120-131 (2003).
17. Hatfield, J.L. and Prueger, J.H., “Value of using different vegetative indices to quantify agricultural crop characteristics at different growth stages under varying management practices”. Remote Sensing 2, 562-578 (2010).
18. Liu, J., Miller, J. R., Haboudane, D., Pattey, E., Hochheim, K., “Crop fraction estimation from CASI hyperspectral data using linear spectral unmixing and vegetation indices”. Canadian Journal of Remote Sensing 34, 124-138 (2008).
19. Colombo, R., Meroni, M., Marchesi, A., Busetto, L., Rossini, M., Giardino, C., Panigada, C., “Estimation of leaf and canopy water content in poplar plantations by means of hyperspectral indices and inverse modeling”. Remote Sensing of Environment 112, 1820–1834 (2008).
20. González-Sanpedro, M.C., Le Toan, T., Moreno, J., Kergoat, L., Rubio, E., “Seasonal variations of leaf area index of agricultural fields retrieved from Landsat data”. Remote Sensing of Environment 112 (3), 810-824 (2008).
21. Prasad, A, Chai, L., Singh, R.P., Kafatos, M., “Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters”. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 8, 26–33 (2006).
22. Uttam Kumar Mandal, U.S. Victor, N.N. Srivastava, K.L. Sharma, V. Ramesh, M. Vanaja, G.R. Korwar, Y.S. Ramakrishna, “Estimating yield of sorghum using root zone water balance model and spectral characteristics of crop in a dryland Alfisol”. Agricultural water management, 87: 315–327 (2007).
23. Kancheva, R., Iliev, I., Borisova, D., Chankova, S., Kapchina, V., “Detection of Plant Physiological Stress Using Spectral Data”. Ecological Engineering and Environment Protection 1, 4-9 (2005)
24. Samson, G., Tremblay, N., Dudelzak, A., Babichenko, S., Dextraze, L., Wollring, J., “Nutrient Stress of Corn Plants: Early Detection and Discrimination Using a Compact Multiwavelength Fluorescent Lidar”. EARSeL eProceedings 1, 214-223 (2000).
25. Estep, L. and Carter, G.A., “Derivative Analysis of AVIRIS Data for Crop Stress Detection”. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 71(12), 1417–1421 (2005).
26. Kancheva R., Borisova, D., Georgiev, G., “Informational Potential of Vegetation Spectral Reflectance in Anthropogenic Impact Studies”. Annual UMG St. Ivan Rilski, 46, 355-359 (2003).

27. Tanrverdi, C., “Improved Agricultural Management Using Remote Sensing to Estimate Water Stress Indices”. Applied Remote Sensing Journal 1(2), 19-24 (2010).
28. Baret, F., Houle`s V. and Guerrif, M., “Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management”. Journal of Experimental Botany 58(4), 869–880 (2007).
29. Franke, J. and Menz, G., “Multi-temporal wheat disease detection by multi-spectral remote sensing”. Precision Agriculture 8(3), 161-172 (2007).
30. Falkenberg, N.R., Piccinni, G., Cothren, J. T., Leskovar, D. I., Rush, C. M., “Remote sensing of biotic and abiotic stress for irrigation management of cotton”. Agricultural water management 87, 23–31 (2007).
31. Darvishzadeh, R., Skidmore, A., Schlerf, M., Atzberger, C., ”Inversion of a radiative transfer model for estimating vegetation LAI and chlorophyll in a heterogeneous grassland”. Remote Sensing of Environment 112 (5), 2592-2604 (2008).
32. Blackburn, G. A. “Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales: an evaluation of some hyperspectral approaches”. Remote Sensing of Environment 66, 273-285 (1998).
33. Broge, N. H., Leblanc, E., “Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density”. Remote Sensing of Environment 76, 156-172 (2000).
34. Broge, N. H. and Mortensen. J. V., “Deriving green crop area index and canopy chlorophyll density of winter wheat from spectral reflectance data”. Remote Sensing of Environment 81 (1), 45-57 (2002).
35. Daughtry, C. S. T., Walthall, C. L., Kim, M. S., Brown de Costoun, E. and McMurtrey III, J. E... “Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance”. Remote Sensing of Environment 74, 229-239 (2000).
36. Gitelson, A.A., Gritz, Y. and Merzlyak, M.N., “Relations between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves”. Journal of Plant Physiology 160, 271-282 (2003b).
37. Valentini, R., Cecchi, G,. Mazzinghi, P., Mugnozza, G., Agati, G., Bazani, M. et al., “Remote Sensing of Chlorophyll a Fluorescence of Vegetation Canopies: 2. Physiological Significance of Fluorescence Signal in Response to Environmental Stresses”. Remote Sensing of the Environment 47, 29-35 (1994).
38. Smorenburg, K., Lacoste, G., Berger, M,. Buschmann, C., Court, A., Bello, U., et al., “Remote Sensing of Solar Induced Fluorescence of Vegetation”. Proc SPIE 4542, 178-189 (2002).
39. Lichtenthaler, H., Wenzel, O., Buschmann, C. and Gitelson, A., “Plant stress detection by reflectance and fluorescence”. Annals New York Academy of Sciences, 271-285 (1999).

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ПРОСЛЕДЯВАНЕ ПРОМЕНИТЕ НА ЗЕМНОТО ПОКРИТИЕ В РАЙОНА НА СЕДЕМТЕ ЕЗЕРА, РИЛА ПЛАНИНА ЗА ПЕРИОДА 1988 - 2010 г.

**Александър Гиков, Петър Димитров**

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

***Ключови думи:*** *Земно покритие, Динамика на ландшафтите, Аероснимки, Рила планина*

***Резюме:*** *В доклада са представени резултатите от проучване на измененията на земното покритие в представителен ключов участък с площ 32,6 km$^2$, разположен по северния макросклон на Северозападна Рила. За установяването на измененията са използвани орторектифицирани аероснимки, направени с разлика от 22 години между заснеманията. Дискутирани са причините за наблюдаваните промени.*

# LAND COVER CHANGES IN THE SEVEN LAKES AREA, RILA MOUNTAIN FOR THE PERIOD 1988-2010

**Alexander Gikov, Petar Dimitrov**

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

***Keywords:*** *Land cover, Landscape dynamics, Aerophotographs, Rila mountain*

***Abstract:*** *This paper presents the results of a study of land cover changes in a representative test site with area 32.6 km$^2$, situated on the northern slope of Northwestern Rila Mountain. For the study two datasets of orthorectified aerial photographs with difference of 22 years between the acquisitions are used. The causes for land cover changes are discussed.*

## Въведение

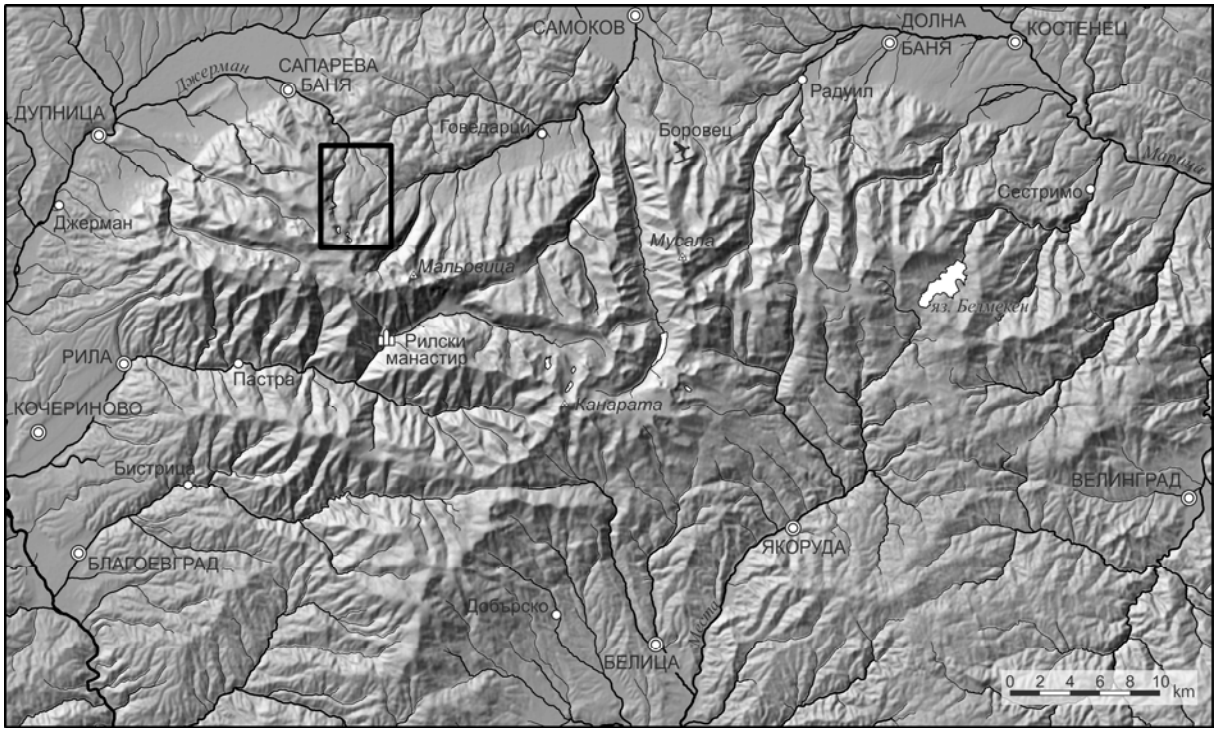
Динамиката в развитието на ландшафтите често се изразява в промените, които настъпват в тяхното земеползване. Типът земеползване на дадена територия има водеща роля за формирането на определен тип земно покритие на нея. В този смисъл чрез картографиране на типовете на земното покритие и промените, които настъпват в него за даден период, може да се направят и изводи за настъпилите изменения в ландшафта за този период. Без съмнение най-подходящото средство за изследване на промените на земното покритие са дистанционните методи [1, 2]. Може да се каже, че в световен мащаб те са се наложили като основен метод при подобни изследвания [3, 4, 5, 6, 7]. У нас дистанционните методи също се прилагат с успех при изследвания на промените на растителната покривка [8, 9], земното покритие [10], динамиката на водни обекти [11, 12] и др.

**Целта** на доклада е да се направи сравнителен анализ на промените в земното покритие за период от 22 години на територията на избран представителен ключов участък по северния макросклон на Рила. За целта са картографирани класовете земното покритие чрез визуална интерпретация на аероснимки, заснети в началото и края на изследвания период.

## Изследвана територия

Обектът на изследване представлява ключов участък с дължина 6,9 km и ширина 4,7 km, разположен на северния макросклон на Рила планина (фиг. 1). Размерите са му

достатъчни (32,6 km$^2$), за да обхване няколко от височинните пояси в планината. Във вертикалния обхват на изследваната територията попадат изцяло субалпийският безлесен и иглолистният горски пояс, а също и части от буковия горски и алпийския пояс на планината.




Фиг. 1. Местоположение на изследвания ключов участък в Рила планина.

Изборът на този район на изследване не е случаен. След пускането в експлоатация на седалковия лифт през 2009 г., районът на Седемте рилски езера се превърна в една от най-масово посещаваните части на планината. Най-много посетители се струпват през месец август, когато са и традиционните сбирки на дъновистите. По данни от Дирекцията на НП "Рила" броят на туристите, посетили района на Седемте езера през месец август 2009 г. е нараснал 4 пъти в сравнение с броя им през същия месец на предходната година [13]. В този смисъл напоследък той е подложен на все по-голям антропогенен натиск. От друга страна в района на проучване се намира деривацията „Джерман-Скакавица", която доби обществена популярност преди двайсетина години, във връзка с яростните протести на местните жители и екоактивисти. По-назад във времето горите в изследваната територия са били подложени на промишлен дръводобив, като са провеждани и голи сечи.

Характерният ледников релеф, развит главно над 2100 – 2200 m н.в., става обект на специализирани геоморфоложки проучвания още в края на XIX в. от сръбския учен Цвийч [14]. По-късно с изследвания в района се занимават главно български изследователи. Релефът е проучван последователно от Радев [15], Иванов [16], Балтаков [17], Велчев и др. [18], а също и от авторите [19]. В средата на XX в. се провеждат редица проучвания, свързани с изследване на езерата и езерната флора и фауна от Вълканов [20], Воденичаров [21], Иванов [22], както и на колектив от тогавашния институт по хидрология и метеорология при БАН [23]. Особено подробни палинологични изследвания, свързани с детайлно изучаване и датиране на седиментите в езерата Трилистника и Долното езеро са извършени от екип под ръководството на Божилова и Тонков [24, 25]. Формирането и съвременната структура на ландшафтите в горното поречие на р. Джерман е обект на изследване от колектив от Геолого-географския факултет на Софийския университет [26, 27]. Досега изследване на земното покритие и промените в него не е правено.

Въз основа на тези изследвания може да се даде следната кратка характеристика. Ключовият участък обхваща най-високата част на водосбора на р. Джерман и изворната област на р. Черни Искър, като надморската височина е от 1100 m до 2700 m. Скалите са представени основно от аплитоидно-пегматоидни гранити и различни метаморфити – най-вече биотитови гнайси и амфиболити. Характерни са няколкото малки тела от серпентинизиран дунит. Североизточният край на участъка е зает от високо издигнати палеогенски седименти [28-30]. Върху тази скална основа през кватернера са отложени на големи площи ледникови и колувиални наслаги [26, 27]. Широко развити в района са две заравнени повърхнини – на 2500-

2600 m н.в. (билна) и на 2300-2400 m н.в. (първо склоново ниво) [26]. Климатичните особености, почвените типове и растителността се изменят във височина като обуславят височинния спектър на ландшафтите. В най-високата част са Алпийските ливадни ландшафти и Субалпийските храстови и ливадни ландшафти [26]. Надолу по склона следват Високопланинските горски (бялборови и мурови), редколесни и храстови ландшафти, а под тях Средногланинските горски иглолистни (смърчови и елови) ландшафти [27].

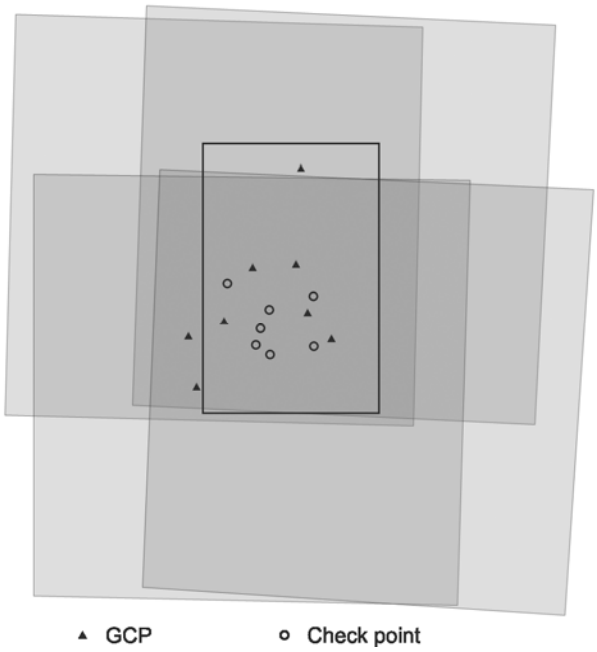
**Използвани данни и методи**

За визуална интерпретация и съставяне на картите с класовете земно покритие са използвани самолетни снимки. Причината е, че самолетните снимки предоставят достатъчно висока пространствена разделителна способност (ПРС) за да се разпознаят и оконтурят детайлно класовете земно покритие. Съвременните сателитни снимки също притежават такава ПРС, но за картографиране на земното покритие в началото на изследвания период няма как да се осигурят такива изображения. За тази цел са обработени черно-бели аероснимки, заснети през лятото на 1988 г. За отразяване на съвременното състояние на земното покритие са използвани обработени аероснимки от 2010 г.

Чернобелите аероснимки са част от архива на секция Дистанционни изследвания и ГИС към ИКИТ – БАН и са заснети на 8 юли 1988 г. с рамковата камера Wild RC-10. Фокусното разстояние на камерата е 152,77 mm, а размерът на кадъра е 23x23 cm. При обработката на снимките за района на изследване е съставен малък фотограметричен блок от четири кадъра. Два от тях са от северната ивица на заснемане и два са от южната (фиг.2). Двете ивици имат взаимно застъпване 37-40%, а застъпването между всеки два съседни кадъра от тях е около 60%. Северната ивица е заснета при височина на полета около 7500 m н.в. или около 5,5-6 km над терена и снимките имат мащаб, който варира в границите от 1:35 000 до към 1:40 000. Южната ивица е заснета от близо 8000 m н.в. тъй като обхваща билните части на Северозападна Рила, където надморската височина достига и дори на места надминава 2500 m и по този начин мащабът се запазва в същите граници.

За да могат да се използват като база за сравнение на дългосрочните изменения на земното покритие, тези архивни аероснимки трябва да се обработят. Обработката включва тяхното сканиране, орторектифициране и мозайкиране.

*Сканирането* е извършено с А3 скенер Microtek ScanMaker 9800XL с резолюция 1200 dpi. При тази резолюция на сканиране размерът на пиксела е около 90 cm. При фотограметричната обработка за предпочитане е да се сканира директно негативът, но в архива на секцията се пазят само контактните копия.




Фиг. 2. Разположение на четирите кадъра от фотограметричния блок, опорните точки (GCP) и точките за проверка на точността на аеротриангулацията в него (Check points). Правоъгълникът с черна рамка показва местоположението на изследвания ключов участък в блока.

*Орторектификацията* е задължителен етап от обработката на аероснимките, тъй като при нея аероснимките се трансформират от централна проекция към ортогонална и се

редуцира влиянието на релефа. По този начин всички кадри се привеждат към единна проекция и стават съпоставими в пространството с други снимки, заснети на същото място, но по друго време. Четирите кадъра, образуващи малък фотограметричен блок, са обработени чрез съвместно снопово-блоково изравнение при триангулацията в софтуерния пакет LPS 9.1 на ERDAS Imagine. Камерата Wild RC-10 е дефинирана в този софтуер, но тъй като не разполагаме с точните калибровъчни данни на тази конкретна камера, за отстоянията на четирите рамкови марки от централната точка на кадъра са използвани фабричните параметри (+/-106 mm). Поради това, а и заради използването на сканирани хартиени копия, а не негативи, средната грешка при вътрешното ориентиране е голяма – между 3,8 и 5,8 пиксела.

За осигуряване на абсолютната ориентация на кадрите от блока са използвани 8 опорни точки (GCP). Доколкото това е възможно в планинска територия със силно разчленен релеф, те са разположени относително равномерно, главно в обхвата на изследвания ключов участък. Координатите им са снети по време на теренните проучвания с GPS приемник Topcon GRS-1 с двучестотна антена PG-A1. Поради планинския релеф обикновено връзката с GSM мрежите не е добра и рядко има възможност за използване на GPS апарата в RTK режим. В местата, където не може да се получават корекции в реално време, за осигуряване на сантиметрова точност е приложена последваща обработка на GPS данните. Използвани са RINEX данни от перманентната EUREF станция SOFI (40 km) и от перманентната станция на фирма Навитек в Благоевград (30 km).

Точките, осигуряващи взаимното ориентиране на кадрите – т.нар. свързващи точки (Tie point) са с най-голям брой – общо 470. Първите 108 от тях са правени ръчно, чрез едновременното им разпознаване върху съседни кадри. Останалите са генерирани автоматично при две последователни итерации. Автоматичните също са проверени, тъй като някои от тях са разположени не на правилното място, което води до значително увеличаване на средната грешка от триангулацията. Причина за това е силно разчленения планински релеф. Грешните точки са разположени главно между двете редици. След коригирането на местоположението им средната грешка се редуцира няколко пъти.

За проверка на точността на аеротриангулацията са използвани 7 точки (Check point), чиито координати също са свалени по време на теренните работи със същия GPS приемник.

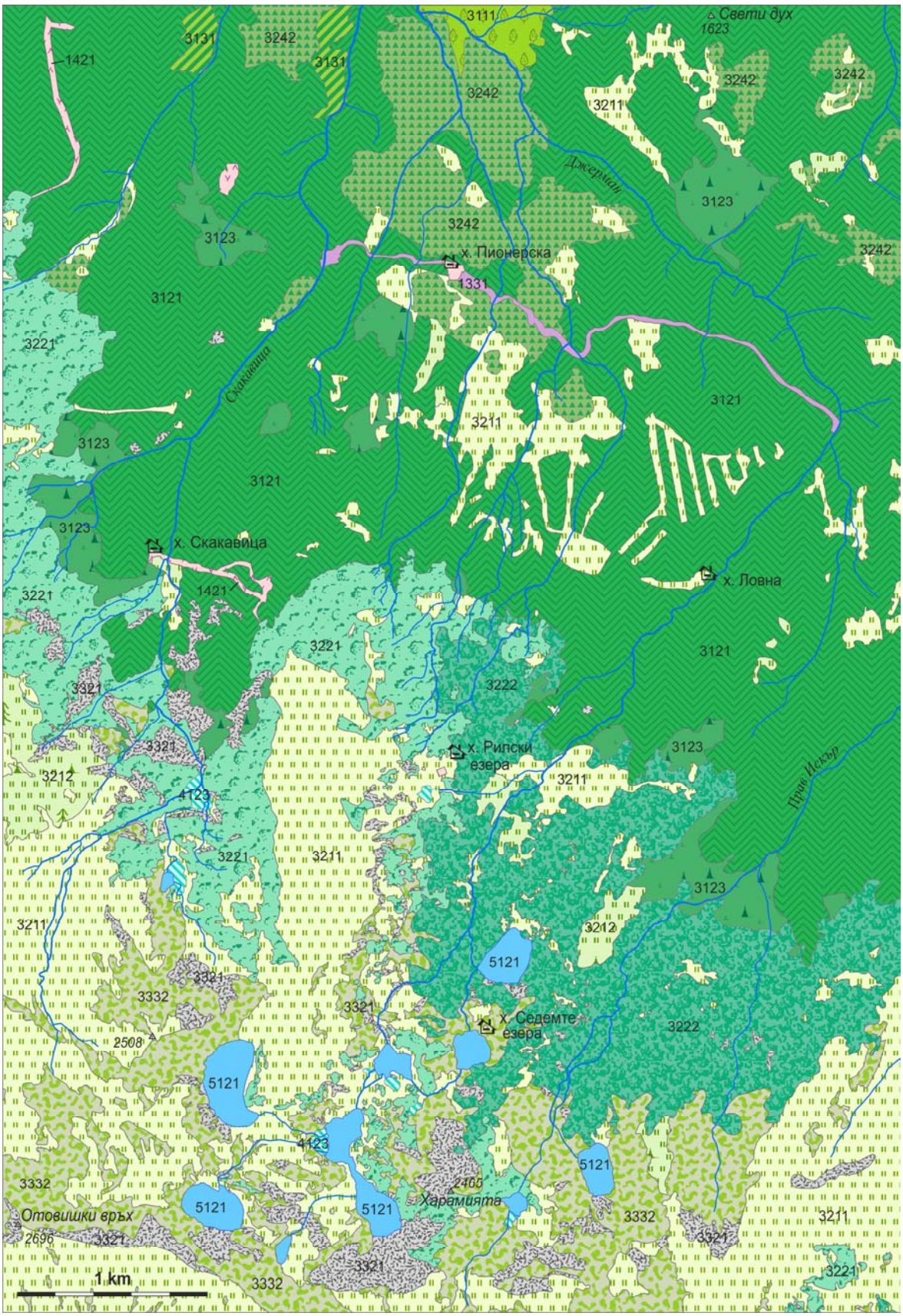
Резултатите от съвместното снопово-блоково изравнение при триангулацията са добри. Средната квадратична грешка е 1,1 m. Средната грешка по ***X*** от точките за проверка на точността (Check points) е 1,8 m , по ***Y*** 2,0 m, а по ***Z*** е 6,1 m.

*Мозайкирането* осигурява интеграцията на отделните аерофотоснимки в едно цялостно орторектифицирано изображение. При тази операция обикновено се използват само тези части от отделните кадри, които се намират най-близо до надира (most nadir) и по този начин в крайния продукт влизат тези части от снимките, където резултатите от орторектификацията са най-добри. Мозайкирането е извършено с инструмента "MosaicPro" на ERDAS Imagine 9.1. Свързващите шевове са прокарани първо автоматично чрез използване на „most nadir", а после са коригирани ръчно където е необходимо. Например при Долното и при Скакавишкото езеро шевовете са коригирани така, че да не пресичат езерата. За да може да се получи цялостно изображение с еднакъв фототон е приложена опцията "Use Image Dodging" от менюто „Color Corrections". За замаскиране на линията на съединяване е приложена функцията "Smoothing" с разстояние от нея 5 m и "Smoothing filter" 3x3, а опцията за "Feathering" е настроена на 3 m от шева.

Резултатът от орторектификацията и мозайкирането на снимките от 1988 г. е ортофотоплан, обхващащ билото и част от северните склонове на Северозападна Рила (110 $km^2$), в проекция UTM зона 34 и с размер на пиксела 1 m.

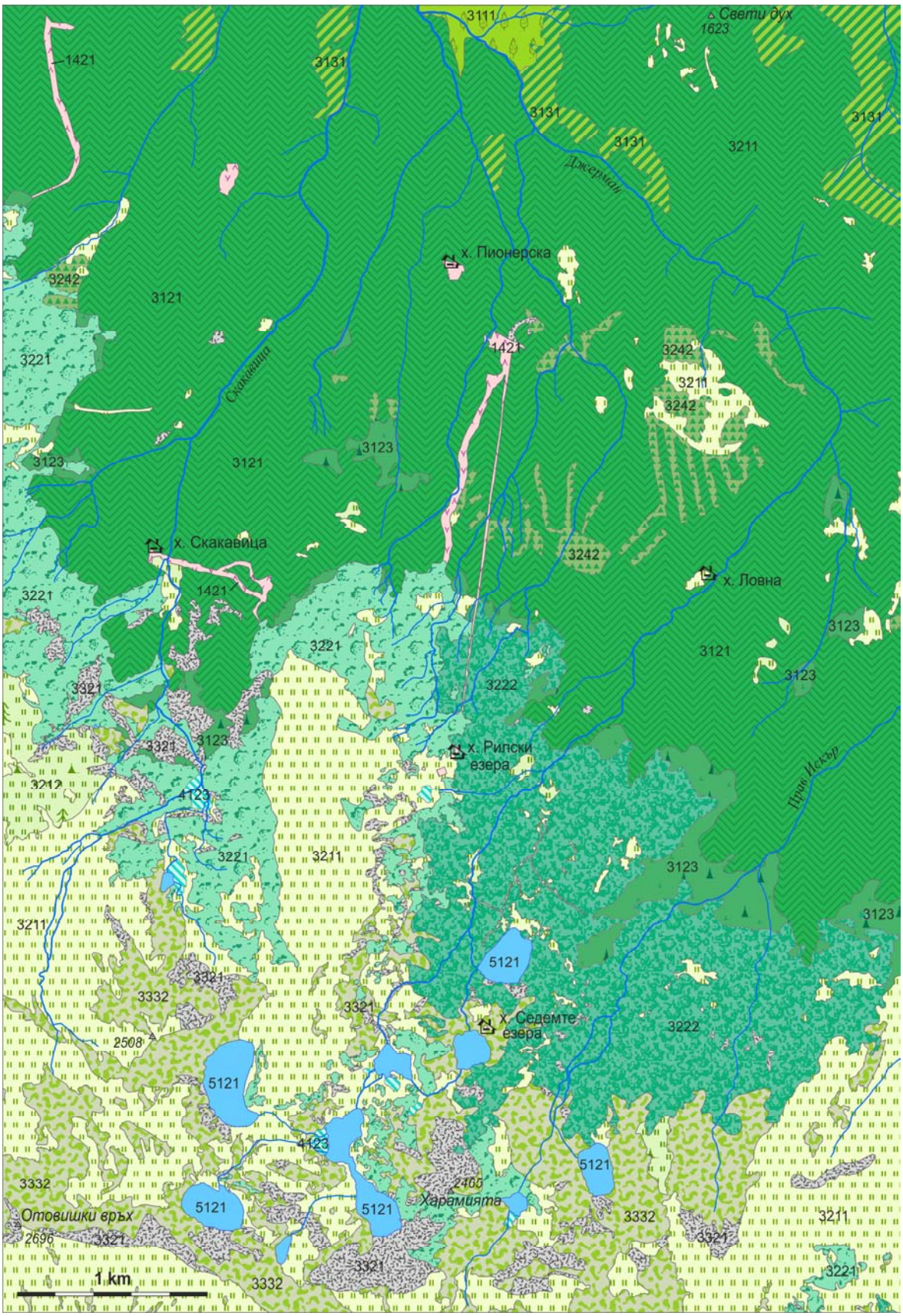
За отразяване а съвременното състояние на земното покритие в района на изследване са използвани шест картни листа (B2-9, B2-10, C2-204, C2-205, C2-219 и C2-220) от ортофотоплана на България, заснет 2010-2011 г. Конкретно в тази част на страната заснемането е извършено на 23 август 2010 г. Аероснимките са направени с дигитална камера, което осигурява високо качество на снимките. Ортофотопланът има размер на пиксела 0,4 m и е в проекция UTM зона 35, така че единствената необходима обработка на изображенията от 2010 г., за съвместяването с ортофотоплана от 1988 г., е трансформацията им в зона 34 и съединяването на картните листи в общо изображение.

Картографирането на земното покритие за 1988 г. и 2010 г. е направено чрез визуална интерпретация на ортофотоплановете за съответните години. Приложена е класификацията на CORINE за земно покритие, но тъй като снимките позволяват значителна детайлност са използвани класовете земно покритие на 4-то ниво, разработени от Feranec и Otahel [31]. Резултатите от картографирането на земното покритие са представени на фиг.3 и фиг.4.




Фиг. 3. Карта на земното покритие през 1988 г.

Кодове на класовете земно покритие по CORINE Land cover четвърто ниво: **1331** – строителни обекти; **1421** – спортни съоръжения (ски писти); **3111** – широколистни гори с непрекъснато покритие; **3121** – иглолистни гори с непрекъснато покритие; **3123** – иглолистни гори с прекъснато покритие (преходна зона);




Фиг. 4. Карта на земното покритие през 2010 г.

**3131** – смесени гори с непрекъснато покритие; **3211** – естествени тревни площи без дървета и храсти; **3212** – естествени тревни площи с дървета и храсти; **3221** – ниски храсти (хвойна); **3222** – клек; **3242** – естествено възобновена млада гора; **3321** – голи скали; **3332** – рядка растителност върху скали; **4123** – заблатени и мочурливи терени; **5121** – естествени водни тела (глациални езера)

**Резултати**

При анализа на двете карти се установяват значителни изменения в някои части на ключовия участък през периода 1988 – 2010 г. По-съществени са промените в иглолистния горски пояс. Така например в района около х. Пионерска през 1988 г. широко разпространение (133,5 ha) има класът 3242 (Естествено възобновена млада гора), докато през 2010 г. площта му е трансформирана предимно в клас 3121 (иглолистни гори с непрекъснато покритие), а по-малки площи са превърнати в клас 3131 (смесени широколистно-иглолистни гори с непрекъснато покритие). С тенденция към уплътняване на склопа и формиране на горски клас земно покритие са промените в територията южно от в. Сведи дух, където класовете 3123 (иглолистни гори с прекъснато покритие), 3242 и по-голямата част от безлесния клас 3211 (естествени тревни площи без дървета и храсти) са заменени с класовете 3121 и 3131. През 1988 г. над х. Пионерска безлесният клас 3211 заема площ от 49 ha, но в резултат на възобновяването на гората през 2010 г. тази площ е заета главно от клас 3121 (38 ha) и 3242 (11 ha).

Макар и на по-малки площи се наблюдават и обратните изменения. На около един километър северно от х. Ловна на площ от около 24 ha иглолистните гори (клас 3121) са изсечени и на тяхно място през 2010 г. са разпространени класовете с млада гора (3242 – 9,6 ha) и пасищата (3211 – 14 ha).

Напълно изчезнал от картата на земното покритие е клас 1331. С този код е картографирана територията, която през 1988 г. е била засегната от строителството на деривацията „Джерман-Скакавица". Изкопите и насипите постепенно са се залесили и на снимката от 2010 г. единствено се забелязва черният път, който се намира над канала на деривацията, но поради малката си ширина той не е отделен като самостоятелен клас. По тази причина в по-голямата си част от клас 1331 в картата на земното покритие през 2010 г. е заменен с клас 3121.

По-високо към горната граница на гората и субалпийския пояс също се установява промяна на класовете с тревна (3211) и преобладаващо тревна растителност (3212) към класове със значително участие на дървесна или клекова растителност. Източно от х. Рилски езера на територия с площ 28,4 ha, която през 1988 г. е била заета с класовете 3211 и 3212, през 2010 г. се намират класовете 3222 (клек – 22,9 ha) и 3123 (Иглолистни гори с прекъснато покритие – 5,5 ha).

На някои места се забелязва и леко повишаване на горната граница на гората – главно западно от х. Скакавица и в най-източната част на ключовия участък. Поради неголемия период на наблюдение преместването не е значително, но потвърждава тенденция установена и в други части на Рила [10, 32].

Във връзка с развитието на туризма в района се наблюдава почти двойно увеличаване на площта на класа спортни съоръжения (1421). Въпреки това този клас продължава да заема под 1% от територията (табл. 1).

Табл. 1. Планиметрични площи и относителен дял на типовете земно покритие през 1988 и 2010 г.

| Описание | Код | Площ 1988 | | Площ 2010 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ha | % | ha | % |
| Строителни обекти | 1331 | 9.0 | 0.3% | 0.0 | 0.0% |
| Спортни съоръжения | 1421 | 8.9 | 0.3% | 17.1 | 0.5% |
| Широколистни гори с непрекъснато покритие | 3111 | 13.8 | 0.4% | 13.8 | 0.4% |
| Иглолистни гори с непрекъснато покритие | 3121 | 1249.4 | 38.4% | 1465.4 | 45.0% |
| Иглолистни гори с прекъснато покритие | 3123 | 103.7 | 3.2% | 78.5 | 2.4% |
| Смесени гори с прекъснато покритие | 3131 | 13.1 | 0.4% | 65.5 | 2.0% |
| Естествени тревни площи без дървета и храсти | 3211 | 628.0 | 19.3% | 528.6 | 16.2% |
| Естествени тревни площи с дървета и храсти | 3212 | 52.9 | 1.6% | 36.0 | 1.1% |
| Ниски храсти (хвойна) | 3221 | 280.9 | 8.6% | 263.8 | 8.1% |
| Клек | 3222 | 312.0 | 9.6% | 324.1 | 10.0% |
| Естествено възобновена млада гора | 3242 | 164.1 | 5.0% | 43.0 | 1.3% |
| Голи скали | 3321 | 105.2 | 3.2% | 104.9 | 3.2% |
| Рядка растителност върху скали | 3332 | 268.0 | 8.2% | 268.0 | 8.2% |
| Заблатени и мочурливи терени | 4123 | 5.4 | 0.2% | 5.4 | 0.2% |
| Естествени водни тела | 5121 | 41.4 | 1.3% | 41.4 | 1.3% |

**Заключение**

Районът на Седемте рилски езера в Северозападна Рила се характеризира с разнообразни по характер и посока изменения с антропогенен произход. Дърводобивът и строителството са основните причини за антропогенните изменение на облика на района, особено в горския пояс, а в по-ново време и масовият туризъм. Върху растителната покривка и нейното разпространение са оставили отпечатък и по-далечните исторически периоди, свързани с разчистването на площи за създаването на пасища. Растителността, като обобщаваща и физиономична характеристика на природните комплекси е най-удобният индикатор за настъпващи промени. Приложението на дистанционни методи позволява бързо и лесно да се картографират растителността и земното покритие и да се анализира разпространението, скоростта и степента на съвременните антропогенни промени.

За един относително кратък период от 22 години районът на изследване претърпява съществени изменения на земното покритие. По-значителни са те в иглолистния пояс, където се наблюдава възстановяване на горската растителност. Класът на иглолистните гори (3121) е увеличил относителния си дял с 6,6% – от 38,4 на 45%. Това увеличение в голяма степен е за сметка на клас 3242 (естествено възобновена млада гора). Този клас през 2010 г. заема с 3,7% по-малка площ, спрямо тази през 1988 г. Другият клас, който е намалил значително заеманата площ, е този на естествените пасища (3211) – от 19,3% през 1988 г. на 16,2% през 2010 г. Тези изменения са индикатор, че през изследвания период ландшафтите се развиват предимно под въздействието на естествени процеси, които са в посока на възстановяване на естествената зонална растителност.

**Благодарности**

Теренните работи са проведени по програмата на научно-изследователски проект „Обследване на глобалните промени във високите планини: на примера на езерните райони в Рила в България и Юлийските Алпи в Словения”, финансиран от Фонд „Научни изследвания” МОМН

При измерването на координатите на опорните точки и точките за проверка на точността на триангулацията е използван GPS приемник, предоставен безвъзмездно от центъра за приложение на спътникови изображения РЕСАК.

Ортофотоизображението от 2010 г. е предоставено от Министерството на земеделието и храните.

**Литература:**

1. Орлов, В.И. (1976). Анализ динамики природных условий и ресурсов. М. Наука, 275 с.
2. Виноградов, Б. В. (1984). Аэрокосмический мониторинг экосистем. М., Наука, 320 с.
3. Ihse, M. (1995). Swedish agricultural landscapes — patterns and changes during the last 50 years, studied by aerial photos. Landscape and Urban Planning, 31(1-3), 21–37
4. Miller, M.E. (1999). Use of Historic aerial Photography to Study Vegetation Change in the Negrito Creek Watershed, Southwestern New Mexico. The Southwestern Naturalist, 44(2), 121-137
5. Silapaswan, C.S., D.L. Verbyla, A.D. McGuire. (2001). Land cover change on the Seward Peninsula: the use of remote sensing to evaluate the potential influences of climate warming on historical vegetation dynamics. Canadian Journal of Remote Sensing, 27(5), 542-554
6. Alados, C.L., Y. Pueyo, O. Barrantes, J. Escós, L. Giner, A.B. Robles. (2004). Variations in landscape patterns and vegetation cover between 1957 and 1994 in a semiarid Mediterranean ecosystem. *Landscape Ecology*, 19: 543–559
7. Ivanov, E., I. Manakos, J. M. Rey Benayas. (2007). Remote sensing evaluation of afforestation versus natural revegetation on abandoned croplands in central Spain. In: M.A. Gomarsca (ed.) GeoInformation in Europe, Millpress, Netherlands, 197-204
8. Гиков, А. (2000). Картографиране и анализ на развитието на растителността в ландшафтите чрез използване на разновременни аероснимки в ключов участък "Богдая" - Северозападна Рила. Сборник доклади "Международна научна сесия 50 години ГИ - БАН”, С., 2000, с. 190-198
9. Naydenova, V., G. Jelev, 2009, Forest Dynamics Study Using Aerial Photos and Satellite Images with Very High Spatial Resolution. *Proceedings of the 4th International Conference on Recent Advances in Space Technologies “Space in the Service of Society”–RAST 2009*, Istanbul, Turkey. 344-348
10. Гиков, А., П. Димитров. (2009). Приложение на геоинформационните технологии за оценка на щетите и последиците от големия пожар в района на х.Мальовица, Рила планина. В: Сб. Доклади от пета научна конференция с международно участие “Space, Ecology, Nanotechnology, Safety – SENS 2009” 2-4 ноември 2009 г София. с. 150-159
11. Христова, Н., Г. Железов. (2010). Антропогенни трансформации на Поморийската влажна зона. *Год. На СУ ГГФ*, кн2. т. 102, с. 5-12

12. Jelev G., E. Rumenina. (2001). Monitoring of the Studen Kladenets reservoir using air and space images. Aerospace Research in Bulgaria , 16, 97-106
13. Николова, М., С. Недков, Ю. Крумова, Е. Кирилова - Чорбаджийска (2013) Оценка на въздействието на туризма върху екосистемата на седемте рилски езера. В*: Сб. Доклади от Осма научна конференция с международно участие "Space, Ecology, Safety – SES 2012"*, 4-6 декември 2012 г., София, с. 387-390
14. Цвијић, J. (1897). Трагови старих глечера на Рили пл. Гласник Срп. крал. акад. LIV, I Разред, 19
15. Радев, Ж. (1920). Природната скулптура по високите български планини. С. 132 с.
16. Иванов, И. (1954). Геоморфоложки проучвания в западния дял на Северозападна Рила. Изв. на ГИ-БАН, т. II, 1954, с. 7-89
17. Балтаков, Г. (1984). Долината на р.Джерман в Рила през късноледниково време. *Проблеми на географията*. 1984, 3, с. 47-51
18. 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. 35-50
19. 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
20. Вълканов, А. (1938). Хидробиологични проучвания върху някои рилски езера. Год. на СУ, ФМФ, т. 34. с. 101-145.
21. Воденичаров, Д. (1960). Хидроботанични ситуации върху високопланинските езера в България. Изв. на Ботан. Инст. – БАН. т. VII. 279-291
22. Иванов, К. (1964). Температурен режим на езерата в Рила през лятото. Природа, кн. 4. 1964.
23. Трудове на института по хидрология и метеорология. Езерата в България. Том XVI , ДИ "НИ", София, 1964
24. Bozilova, E., S. Tonkov. (2000). Pollen from Lake Sedmo Rilsko reveals southeast European postglacial vegetation in the highest mountain area of the Balkans. *New Phytologist* 148, 2000, 315-325
25. Tonkov, S., E. Bozilova, G. Possnert, A. Velčev (2008). A contribution to the postglacial vegetation history of the Rila Mountains, Bulgaria: the pollen record of Lake Trilistnika. – *Quaternary International*, 190, 2008, 58-70
26. Контева, М., Р. Пенин, Н. Тодоров, М. Контева. (2001). Субалпийски и алпийски ландшафти в басейна на р. Джерман – Северозападна Рила. *Год. на СУ, ГГФ, кн.2 – география*, т. 91, 2001, с. 129–147.
27. Велчев, А., Р. Пенин, А. Велчев, Н. Тодоров. (2003). Формиране и съвременна структура на студено-умерените хумидни ландшафти в басейна на р. Джерман – Северозападна Рила. *Год. на СУ, ГГФ, кн. 2 – география*, т. 93, 2003, 55–70.
28. Вылков, В., Н. Антова, К. Дончева. (1989). Гранитоиды Рило-Западно-Родопского батолита. *Geologica Balcanica*, 19, 2, с. 21-54
29. Димитрова, Ел. (1960). Петрология на кристалинния цокъл в Северозападна Рила планина. В: Трудове върху геологията на България, Серия геохимия и полезни изкопаеми, кн. 1, Геологически институт на БАН, София. с. 199-256
30. Желязкова-Панайотова, М. Здр. Илиев, Св. Петрусенко. (1972). Нови данни върху геологията на района на Седемте рилски езера. *Списание на Българското геологическо дружество*, т. XXXIII, 2, с. 133-152
31. Feranec, J., Otahel, J. (1998). Final version of the 4th level CORINE land cover classes at scale 1:50 000 (Task 4.2). Technical Report. EEA Phare Topic Link on Land Cover. Bratislava (Institute of Geography, SAS)
32. Радков, И. (1961). Екологическа класификация на горите в Рила планина. С. Земиздат. 200 с.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ПРИЛОЖЕНИЕ НА АТМОСФЕРНИ КОРЕКЦИИ НА САТЕЛИТНИ ИЗОБРАЖЕНИЯ С МНОГО ВИСОКА РАЗДЕЛИТЕЛНА СПОСОБНОСТ В ПЛАНИНСКИ ТЕРИТОРИИ

**Златомир Димитров[1], Александър Гиков[2]**

*[1]Център за приложение на спътникови изображения – РЕСАК*
*e-mail: zlatomir.dimitrov@resac-bg.org;*
*[2]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: gikov@space.bas.bg;*

***Ключови думи:*** *Атмосферни корекции, АТКОР2, АТКОР3, Рила планина Родопи планина, изображения с много висока пространствена разделителна способност (МВПРС), Ikonos , Quickbird*

***Резюме:*** *В доклада са представени резултатите от приложението на атмосферни корекции върху изображения с много висока разделителна способност от Ikonos и QuickBird, заснети в райони с различна надморска височина и сложност на релефа. За изпълнението на поставените задачи са използвани два метода – ATCOR2, при който се налагат корекции на двумерна повърхност и ATCOR3, при който се прилагат топографски корекции с използване на релефа. Дискутирани са различията при използване на цифров модел на релефа с различна детайлност. Извършен е качествен и количествен анализ на получените резултати за подобряване качеството на изображенията.*

# APPLICATION OF ATMOSPHERIC CORRECTIOS OF VHR-SATELLITE IMAGERY, IN MOUNTAINOUS AREAS

**Zlatomir Dimitrov[1], Alexander Gikov[2]**

*[1]Remote Sensing Application Center*
*e-mail: zlatomir.dimitrov@resac-bg.org;*
*[2]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: gikov@space.bas.bg;*

***Keywords:*** *Atmospheric corrections, ATCOR2, ATCOR3, Rila mountain, Rhodope mountain, Very high resolution (VHR) imagery, Ikonos, Quickbird*

***Abstract:*** *This paper presents the results of a study of application atmospheric corrections on a Very high resolution (VHR) satellite imagery from Ikonos and QuickBird over very rough terrain with various heights. For the study two methods are used, namely ATCOR2 and ATCOR3, where Digital elevation model (DEM) is used for topographic corrections. Differences in spatial resolution of DEMs within topographic correction are discussed. Qualitative and quantitative analysis have been performed of derived results, in order to improve the quality of satellite imagery to use in remote sensing applications.*

## Въведение

Атмосферните корекции са процес на премахване влиянието на атмосферата върху изображенията заснети от въздуха, или Космоса [1, 2]. Обикновено те се прилагат на сателитни изображения с ниска или средна пространствена разделителна способност (ПРС), като етап от подготовката им преди извличането на различни спектрални индекси [3]. По-рядко такива корекции се правят на сателитните изображения с висока и много висока ПРС [4]. У нас приложението на атмосферни корекции, особено свързани с извършването на топографски корекции, върху такива изображения все още не е практика.

Въпреки, че текстурната информация от изображения с много висока ПРС може да се извлече и без радиометрични корекции, един физически ориентиран подход, какъвто е

атмосферната корекция, предлага предимствата в задачи, търсещи сравнение между изображения от различни сензори [5] или при анализ на количествени характеристики. Следователно, Пълният потенциал на регистриращите спектрометри, може да се разкрие единствено с помощта на този подход [6].

Целта на доклада е да се представят резултатите от приложението на атмосферни корекции на сателитни изображения с много висока ПРС от Ikonos и Quickbird, за планински територии с различна сложност на релефа и различна надморска височина, в райони от Рила и Източните Родопи. За целта се прилагат два метода за атмосферни корекции – ATCOR2 и ATCOR3, при който се налагат топографски корекции на терена. Изчисляват се продукти с добавена стойност (VAP) и се сравняват двата метода и изходните продукти, като се дава оценка за значението им, за подобряване на качеството на изображенията.

Поставени се следните задачи:

1. Да се приложат двата метода за атмосферни корекции – ATCOR2 и ATCOR3, като се направи сравнителен анализ между използването на двата метода за подобряване качеството на изображенията;
2. Да се направи качествен анализ при прилагане на атмосферни корекции върху VHR – изображения в планински територии с различни надморски височини и различна сложност на релефа;
3. Да се направи сравнителен анализ при използването на Цифров модел на релефа (DEM) с висока и ниска пространствена разделителна способност при ATCOR3, за подобряване качеството на изображенията;
4. Да се получат количествени характеристики, като следствие от атмосферната корекция – Индекс на листната маса (LAI), SAVI, FPAR, Повърхностно отражение (Surface Albedo) за всички изображения.

**Същност на атмосферната корекция**

Алгоритъмът за атмосферни корекции е разработен от д-р Рудолф Рихтер (Германска Космическа Агенция - DLR) през 1990 г. и е предлаган в комерсиални софтуерни пакети като ERDAS IMAGINE, PCI GEOMATICA, или като отделен продукт към IDL [7]. За спътникови изображения съществуват два основни варианта – ATCOR2 , което позволява дву-измерна корекция и ATCOR3 – позволяващ топографски корекции с използването на Цифров модел на релефа-DEM.

В същността на атмосферните корекции лежи елиминиране ефектите, причинени от разсейване и поглъщане на електромагнитния поток от слоя атмосферни газове и аерозоли. Разсейването е във всички посоки, като зависи най-силно от количеството водна пара, наляганието и температурата на въздуха и аерозолния състав на атмосферата. В процеса на атмосферната корекция се изчислява стойността на електромагнитния поток (*radiances*) над условната граница на атмосферата, представен като физическа величина във $\left[ W/m^2 sr \mu m \right]$ .

Изчисленията в представеното изследване са направени за дължина на вълната от - 0.4 до 2.5 *μm*, отнесени към видимите спектрални канали, които са интерес за изследването. Като краен резултат пикселите от спътниковите изображения се представят в стойности на отражение в [%] – албедо (*reflectances*). *Радиационният пренос* през атмосферата определя специфичната относителна пропускливост в съответната дължина на вълната. Това обуславя земната атмосфера да оказва голямо влияние при преминаването на електромагнитния поток през нея, до регистрирането му от заснемащия сензор в околоземна орбита. А при наличие на различен тип земно покритие, отразеният електромагнитен поток носи информация за физико-морфологичните характеристики на обектите, посредством получените специфични спектрални криви. *Входните параметри при атмосферната корекция* се отделят в три категории: *метеорологични, радиометрични* и *геометрични параметри*. В последствие се задават следните характеристики: вида на аерозолите; видимостта; влажността; калибрационните коефициенти на сензора; зрителния ъгъл и азимута на инструмента, спрямо земната повърхност; зенитното отстояние и азимута на Слънцето. Като допълнителни параметри при топографската корекция се задават: *Цифров модел на релефа* – DEM*; Топографски сенки* – SHADOW; *Изглед* – ASPECT; *Наклон* – SLOPE, както и други, които се задават при използването на модула ATCOR3 [8].

*Видовете атмосферна корекция* са два – двумерна, когато не е нужно налагане на топографски корекции над изследваната територия и тримерна, която е приложима за пресечен терен и местности със сложен релеф. При нея се използват данните за релефа с цел да се наложат топографски корекции. Модулът ATCOR2 пресмята отразеното/излъченото количество електромагнитен поток, като премахва следните допълнителни компоненти: *отразен е.м. поток от околни обекти в непосредствена близост, обратно разсеян е.м. поток в стълба въздух към сензора* [9]. Модулът ATCOR3 пресмята същите тези потоци, както и *допълнителен поток отражение от съседни обекти в съседство, с радиус до 2 km* [10].

Потокът лъчение от даден пиксел и в двата случая, се представя като линейна функция на *калибрационните коефициенти* и числовите стойности, както следва:

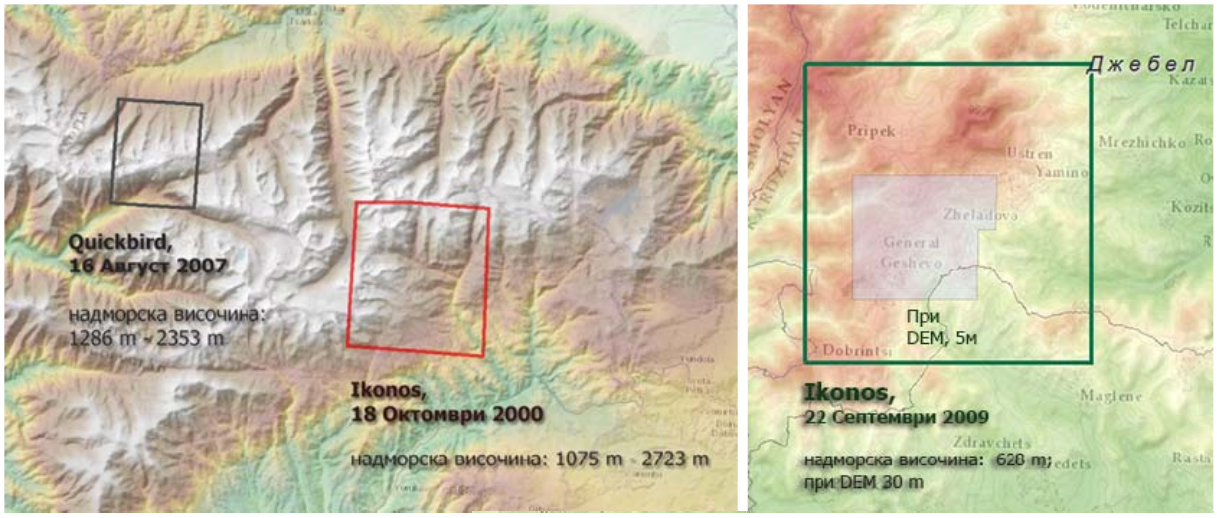
$L = C_0 + C_1 \,.\, DN, \left[ W/m^2 sr \mu m \right]$ . За районите със сложен релеф, където отражението има анизотропен характер, в ATCOR3 може допълнително да се изчисли ефектът на *Bi-directional Reflectance Distribution Function* (BRDF). Тази функция дава взаимовръзката между геометрията на заснмене и геометрията на огряване от Слънцето [11].

**Описание на изследването**

Първият район на изследване **се** покрива с изображението от *QuickBird,* заснето през лятото на 2007 г. (16-08-2007 09:42 UTC) и се намира в Мальовишкия дял на Северозападна Рила (фиг.1). Релефът е високопланински, силно разчленен и е с най-голямата надморска височина (Reference height: 2097 *m*, min height: 1286 *m*, max height: 2724 *m*).

Вторият район е разположен в Източна Рила и обхваща горната част от басейна на р. Бяла Места (фиг.1). Заснет е през есента на 2000 г. (18-10-2000 09:14 UTC) със сензора *Ikonos*. Като част от Рила планина, районът също има голяма надморска височина (Reference height: 1803 *m*, min height: 1075 *m*, max height: 2703 *m*).

Третият район на изследване се намира в Източните Родопи между селата Припек, Устрен, Генерал Гешово и Желъдово (фиг.1). Заснет е през септември 2009 г. със сензора *Ikonos* (22-09-2009 09:23 UTC). Релефът е среднопланински (Reference height: 628 *m,* min height: 380 *m,* max height: 1007 *m*), по-слабо разчленен. Характерна особеност е, че тук се намира обширно свлачище с главна активизация през 2000 г. [12].

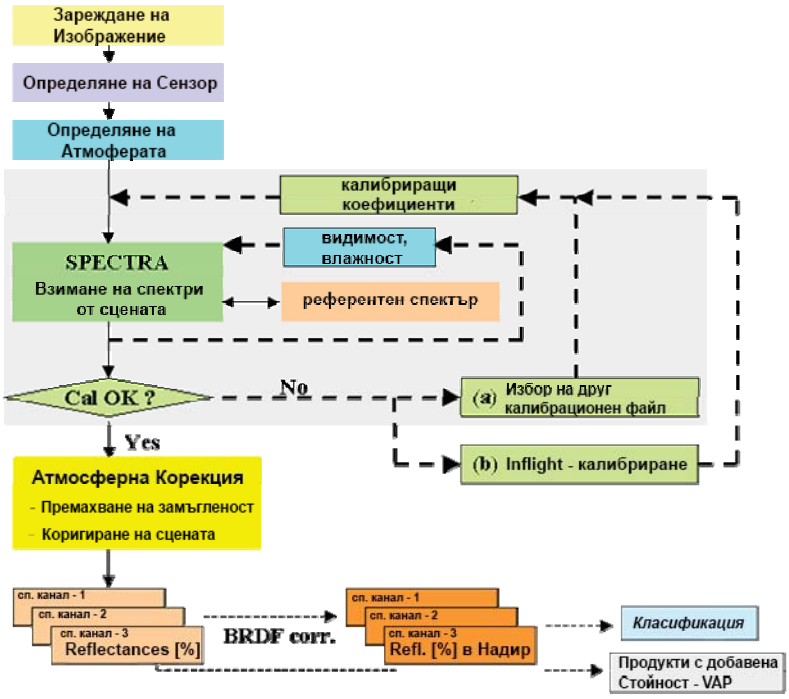



Фиг. 1. Местоположения на районите на изследване

*Подготовката на входните данни* е разделена в няколко стъпки: извличане на параметрите за атмосферна корекция от метаданните и от метеорологичните такива; подготовка на цифровия модел на релефа за Рила и Родопи; орторектификация на изображенията. Допълнително са изчислени други характеристики, като - *Aspect, Slope, Skyview* и *Shadow*.

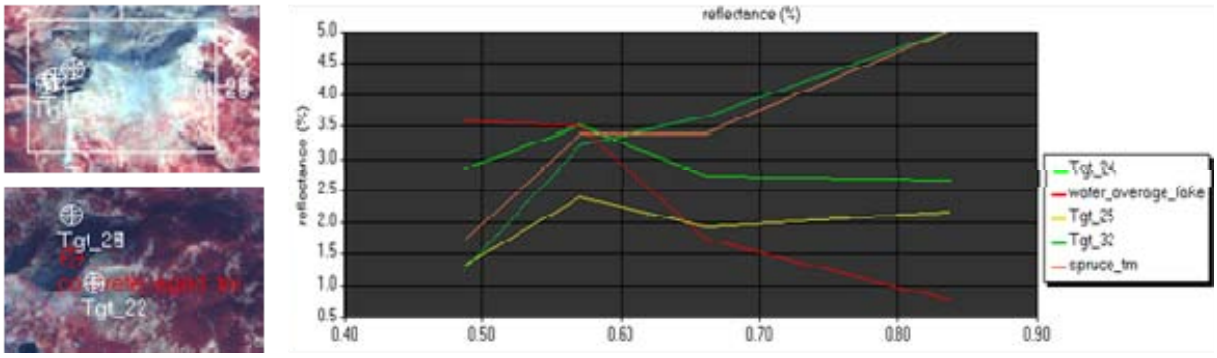
Цифровият модел на релефа (DEM) е предварително подготвен от векторни линии, точки (референтни коти за височина) и водни течения, което обуславя избягване на редица ограничения [13]. За сравнителен анализ в качеството на топографската корекция, в ATCOR3 се използват DEM с различни пространствени характеристики. Използваният за района на Рила

планина - DEM е с пространствена разделителна способност от 30 *m*, докато този за района в Източните Родопи е получен от едромащабни карти с размер на клетката - 5 *m*. Етапите на работа са представени на фигура 2.




Фиг. 2. Етапите на работа

В първите етапи на работа са определени входните параметри за двумерната и тримерната корекции. Количеството абсолютна влажност в $g/m^3$ заедно с вида на аерозолното съдържание са определени от метеорологичните параметри за трите срока на наблюдение, докато геометрията на заснемане - от метаданните на всяко едно изображение. Вертикалната видимост в *km* е получена с осредняване на стойността ѝ от метеорологичните данни за конкретния срок и от получената стойност при автоматичната оценка от самото спътниково изображение. Ключовите параметри, каквито са: калибрационни коефициенти, видимост и влагосъдържание са калибрирани в модул SPECTRA [14, 15, 16], спрямо условията на конкретното изображение. Това е важен етап от атмосферната корекция, в който са сравнени избрани от изображението спектри за отделен клас земно покритие с такива, предварително дефинирани за конкретния вид спектрален инструмент – *Ikonos* и *QuickBird* (фиг.3). Впоследствие е извършен - haze detection algorithm [17, 18], за разделяне на пикселите по тип - за водни обекти, за суша, отнесени за границата на слоя замъгленост, за висока облачност (cirrus clouds) [19], за сняг и съответно изпълняващи условието: $T \succ 0.9 * DN_{\max}$ [20].




Фиг. 3. Калибиране в SPECTRA. *Отляво*: Избрани „цели“ от различен клас земно покритие (в бяло), спрямо референтни такива за съответния клас (в червено). *Отдясно:* Наложени спектрални криви на референтни спектри, спрямо получени такива от изображението.

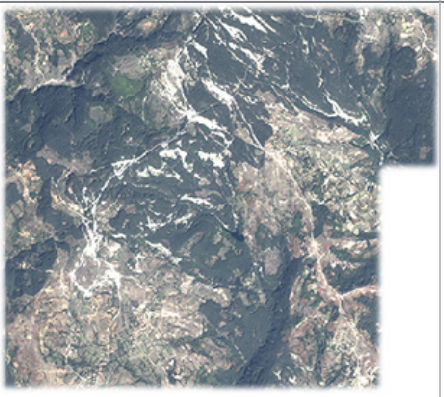
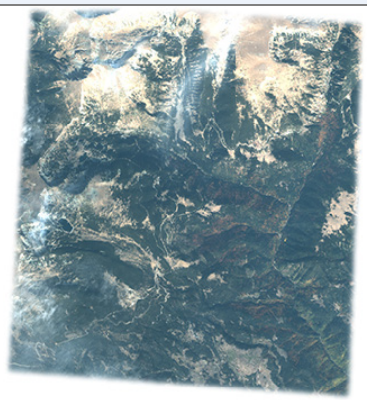
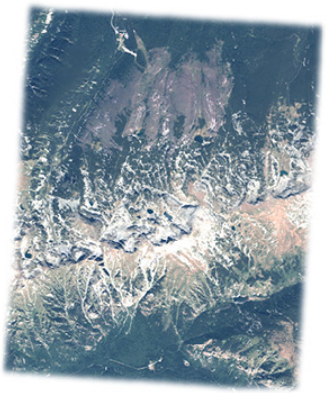
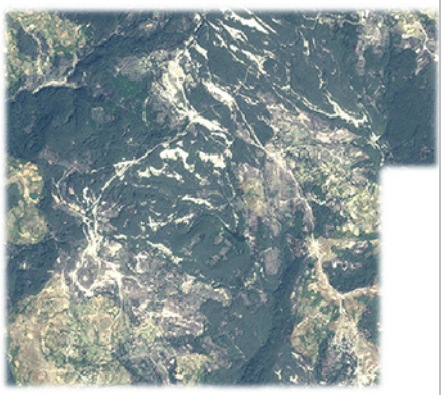
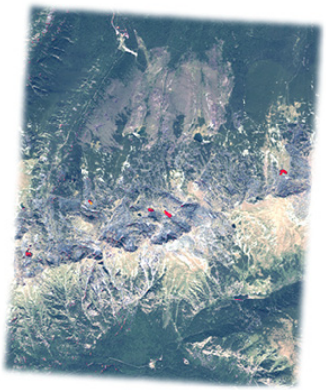
След анализ са определени и конкретни прагове за разделянето на отделните групи пиксели. В последните етапи на работа са изчислени VAP, както следват: Leaf Area Index (LAI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Fraction of Absorbed Solar Radiation (FPAR), Surface Albedo (SA), Absorbed Solar Radiation (ASR) [21, 22]. Работната проекция за всички входни данни е UTM, зона – 35N.

**Резултати**

Като основен резултат от атмосферната корекция е калибрирана стойност на отражение (reflectances) във всеки пиксел, от спектралните канали.

Обобщение на получените резултати от атмосферните корекции, са представени в две основни групи:

Получени чрез модула ATCOR2 :

| ***Ikonos - 27.09.2009 г.; Родопи планина*** | ***Ikonos - 18.10.2000 г.; Рила планина*** | ***QuickBird - 16.08.2007 г.; Рила планина*** |
|---|---|---|
|  *Не-коригирано* |  *Не-коригирано* |  *Не-коригирано* |
|  *Коригирано с ATCOR2* |  *Коригирано с ATCOR2* |  *Коригирано с ATCOR2* |

Резултатът за замъглеността в изображенията е както следва: *Quickbird* – 8.4 %; *Ikonos* (Рила) – 89.28 % ; *Ikonos* (Родопи) – 74.9 % .

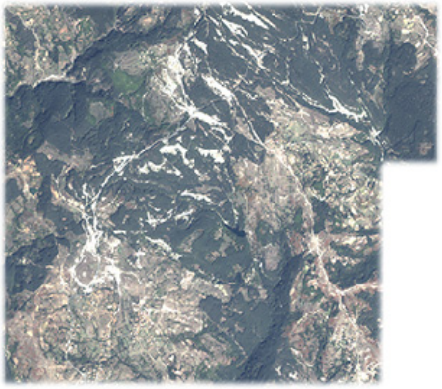
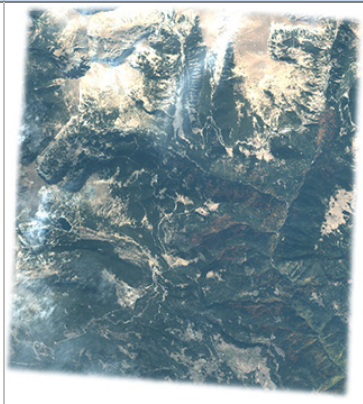
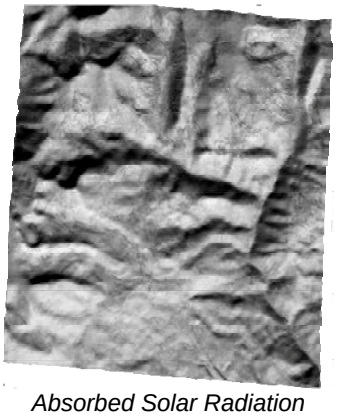
В статистическият сравнителен анализ на резултатите от атмосферната корекция е взет *синият* спектрален канал на *Ikonos* и *QuickBird*, като най-значим за корекцията. Причината е силното разсейване в тези дължини на вълната и съответно най-големи промени в стойностите преди и след прилагането на корекцията. Приложените резултати в таблицата са за района на Рила и Родопи планина.

| | ***Ikonos***, *Рила* | ***QuickBird***, *Рила* | ***Ikonos***, *Родопи* |
|---|---|---|---|
| $P_{max}$ | 90 % | 98.17 % | 43.2 % |
| $P_{mean}$ | 25.07 % | 41.01 % | 40.54 % |
| *StdDEV* | 31.68 | 19.30 | 33.34 |

Максималните стойности за отражението ($P_{max}$) в изображенията от Рила и при двата сензора имат високи стойности, поради наличието на райони с гранитни скали. Ниската средната стойност на отражение ($P_{mean}$) за *Ikonos* от Рила показва значителното потъмняване на *синия* спектрален канал при корекцията на това изображение. Това е резултат от сложните обстоятелства при калибрирането на входните параметри на изображението в SPECTRA, въпреки задоволителната сходимост на спектралните криви. При наличните данни за четирите коефициенти, видимост и влагосъдържание, в процеса на калибриране спрямо водни обекти, гори и голи участъци, не дава добра корелация на спектралните криви, спрямо референтните спектри. При двумерната корекция невъзможността да се изчисли BRDF-ефекта при ATCOR2, е причина изображението като цяло да бъде доста по-тъмно от останалите. От друга страна, получените високи

стойности на отражението *($P_{max}$)* в изображението от *QuickBird*, е следствие от ниската замъгленост от - 8.4%. Това се потвърждава и от метеорологичните параметри за състоянието на атмосферата в срока на заснемане на изображението. Резултатът за отражението в *Зеления* и *Червения* спектрални канали е: $\rho_{max} = 100\ \%$, което се наблюдава над водните огледала. Този резултат е в следствие пре-коригиране над водни повърхности при невъзможност да се създаде HOT – диаграмата, в алгоритъма MODTRAN за атмосферни корекции [23].

Получени чрез модула ATCOR3:

| ***Ikonos - 27.09.2009 г.; Родопи планина*** | ***Ikonos - 18.10.2000 г.; Рила планина*** | ***VAP – за Ikonos, Рила планина*** |
|---|---|---|
|  *Не-коригирано* |  *Не-коригирано* |  *Индекс на листна маса (LAI)* |
|  *Коригирано с ATCOR3* |  *Коригирано с ATCOR3* |  *Absorbed Solar Radiation* |

Стойността на стандартното отклонение *(StdDEV)* е най-ниска при изображението от *QuickBird*, вследствие на преобладаващите оголени местности и съответно по-голямата еднородност на класовете земно покритие в изображението. Анализът на стойностите на StdDEV за изображенията от *Ikonos (районите на Източна Рила и Източните Родопи),* показва приблизителни стойности. Те съответно обуславят наблюдаването на хетерогенност при земното покритие в двете изображения, като тя е по-значителна за района в Източните Родопи.

Резултатът от тримерната корекция при използването на Цифров модел на релефа с различна ПРС установява следното:

(1) При използването на DEM с ПРС = 30 *m* , се наблюдава по-слабо изразен *BRDF*-ефект, в резултат на което изображението е по-тъмно (основна причина е *синия* спектрален канал) ; сенките причинени от силно пресечения релеф не са изчистени напълно; има наличие на артефакти, дължащи се на по-грубия DEM (DEM – артефакти), като в районите с градиент на склона са с по-отчетлива проява. Важна забележка е, че районът на Рила планина е със силно разчленен релеф. (2) При използването на DEM с ПРС = 5 *m* се наблюдава добре изразен *BRDF*-ефект, с напълно коригиран анизотропен характер на отражението от разчленения релеф; топографски сенки не се наблюдават в изображението; не се наблюдават DEM - артефакти.

Резултатът от изчисленията за продуктите с добавена стойност (VAP) и от двата модула (ATCOR2 и ATCOR3) са стойности на отражение за следните индекси: *LAI, SAVI, FPAR,*

*SAlbedo* и стойности във $\left[W/m^2\right]$ за - *ASR.* Анализът на тези резултати, получени от модула ATCOR2, показва наличие на топографски сенки при трите изображения, като най-силно изразени са за изображението от *Ikonos* в Рила.

При анализа на резултатите, получени от модула ATCOR3, в двата случая при използване на DEM с различна ПРС, се наблюдават вече установените закономерности. За района в Източна Рила, където е използван DEM с ПРС = 30 *m,* в получените изображения се наблюдават топографски сенки и наличие на DEM – артефакти. Те са резултат от приложената топографска корекция и са по-ясно отчетливи в участъците с градиент на склона. При обработеното изображение от Източните Родопи, където е използван детайлен DEM с ПРС = 5*m*, стойностите на отражението показват добра изотропност, без наличие на DEM – артефакти.

**Изводи и резултати от изследването:**

Като резултат от поставените задачи се установи следното:

1. В конкретното изследване не може да се определи „предпочитан метод“ за прилагане на атмосферни корекции, поради следните причини:

a) Резултатът от атмосферната корекция с цел подобряване качеството на изображенията не е еднозначен при прилагането на двумерен или тримерен метод и е специфичен за всяко едно изображение. Използването на метод ATCOR2 е основателно за изображението от *Ikonos* за изследвания район в Източна Рила, тъй като дава по-добър резултат от този при ATCOR3. Обратно, използването на ATCOR3 в изображението от *Ikonos* за района на Източни Родопи е по-основателно от използването на ATCOR2. Тази корекция дава и най-добрите резултати в настоящото изследване!

b) Приложението на атмосферни корекции за райони с голяма надморска височина и суха атмосфера, какъвто е случая при изображението от *QuickBird,* е неоснователно, тъй като не води до подобряване качеството на изображението.

2. Прилагането на атмосферни корекции в райони със сложен релеф, основно зависи от точното калибриране на входните параметри. За изпълнението на това условие, при калибрирането в SPECTRA е нужно наличието на: точни метеорологични данни за видимостта и влагосъдържанието в атмосферата; референтни спектри за класовете земно покритие за конкретния инструмент; точни калибриращи коефициенти.
3. Друго важно условие, като извод за прилагане на атмосферни корекции на изображения с много висока ПРС в пресечени местности е детайлността на Цифровия модел на релефа. Наложително е използване на DEM с размер на клетката съпоставим с тази на коригираното сателитно изображение. В конкретното изследване, използването на DEM с шест пъти по-ниска ПРС от тази на съответното изображение, обуславя: характерна анизотропност на отражението; наличие на артефакти, независимо от степента на филтриране на DEM-а; увеличаване анизотропния характер на отражението в районите с голям градиент на склона; грешки в изчисляването на BRDF-ефекта; като цяло, пораждане на големи неточности при топографската корекция вследствие на сложния планински релеф;
4. Изчислението на продукти с добавена стойност (VAP) позволява количествената оценка и сравнителни анализи между изображенията от различните сензори. Продуктите отразяват много добре сезона на заснемане, вида земно покритие и физиономичните характеристики на класовете земно покритие [24]. В получените VAP, резултат от двумерната корекция, се наблюдават същите топографски сенки, както и при коригираните изображения с ATCOR2. В изчислените чрез тримерна корекция - VAP, за района на Източна Рила се намират описаните „дефекти“, които присъстват и при коригираното изображение от *Ikonos* с модула ATCOR3, вследствие на приложените топографски корекции с използване на по-груб DEM. Обратно, отсъствието на „дефекти“ във VAP се наблюдава единствено при тримерната корекция за района в Източните Родопи, при която е използван DEM с висока ПРС.

**Литература:**


1. Richter, R., Correction of atmospheric and topographic effects for high spatial resolution satellite imagery, International Journal of Remote Sensing, Volume 18, Issue 5, 1997, p. 1099-1111
2. Hadjimitsis, D. G., Papadavid, G., Agapiou, A., Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intende for agricultural applications: impact on vegetation indices, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, p. 89, 2010

3. Richter, R., ATCOR for ERDAS IMAGINE 2011, User Manual, ATCOR2 and ATCOR3, Haze Reduction, Atmospheric and Topographic Correction, GEOSYSTEMS GmbH, Germering, Germany, p. atcor vap-3 – atcor vap-17
4. Wu, J., Wang, D., Bauer, M. E., Image-based atmospheric correction of QuickBird imagery of Minnesota cropland, Remote Sensing of Environment 99 (2005), p.315–325
5. Richter, R., ATCOR for ERDAS IMAGINE 2011, User Manual, ATCOR2 and ATCOR3, Haze Reduction, Atmospheric and Topographic Correction, GEOSYSTEMS GmbH, Germering, Germany, p. atcor3-7
6. Richter, R., Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide,) Version 8.0, April 2011), DLR – German Aerospace Center, Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany, p. 10, DLR-IB 565-01/11
7. Richter, R., ATCOR for ERDAS IMAGINE 2011, User Manual, ATCOR2 and ATCOR3, Haze Reduction, Atmospheric and Topographic Correction, GEOSYSTEMS GmbH, Germering, Germany, p. actor2-17
8. Schlapfer, D., Richter, R., Kellenberger, T., Aspects of Atmospheric and Topographic Correction of High Spatial Resolution Imagery
9. Singh, R. K., Shanmugam, P., A novel method for estimation of aerosol radiance and its extrapolation in the atmospheric correction of satellite data over optically complex oceanic waters,Ocean Optics and Imaging Laboratory, Department of Ocean Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai 600036, India
10. Richter, R, Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide,) Version 8.0, April 2011), DLR – German Aerospace Center, Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany, p. 16–18, DLR-IB 565-01/11
11. Richter, R, Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide,) Version 8.0, April 2011), DLR – German Aerospace Center, Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany, p. 19–21, DLR-IB 565-01/11
12. Гиков, А. Използване на дистанционни данни за изучаване на свлачища (на примера на свлачището при Генерал Гешево – Източни Родопи). В: *Сб. Доклади от Шеста научна конференция с международно участие "Space, Ecology, Safety – SES 2010"*, 2-4 ноември 2010 г., София, с. 260-269, ISSN: 1313-3888
13. Richter, R, ATCOR for ERDAS IMAGINE 2011, User Manual, ATCOR2 and ATCOR3, Haze Reduction, Atmospheric and Topographic Correction, GEOSYSTEMS GmbH, Germering, Germany, p atcor3-27
14. Guantera, L., Estellésb, V., Moreno, J., Spectral calibration and atmospheric correction of ultra-fine spectral and spatial resolution remote sensing data. Application to CASI-1500 data, Remote Sensing of Environment, Volume 109, Issue 1, 12 July 2007, p. 54–65
15. Richter, R., Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide,) Version 8.0, April 2011), DLR – German Aerospace Center, Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany, p. 21-25, DLR-IB 565-01/11
16. Richter, R., ATCOR for ERDAS IMAGINE 2011, User Manual, ATCOR2 and ATCOR3, Haze Reduction, Atmospheric and Topographic Correction, GEOSYSTEMS GmbH, Germering, Germany, p. atcor2-35 - atcor2-48
17. Richter, R., Atmospheric correction of satellite data with haze removal including a haze/clear transition region. Computers and Geosciences, volume 22 Issue 6, July, 1996, p. 675–681.
18. Richter, R., ATCOR for ERDAS IMAGINE 2011, User Manual, ATCOR2 and ATCOR3, Haze Reduction, Atmospheric and Topographic Correction, GEOSYSTEMS GmbH, Germering, Germany, p. atcor2-49 – atcor2-53
19. Richter, R, Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide,) Version 8.0, April 2011), DLR – German Aerospace Center, Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany, p. 132–136, DLR-IB 565-01/11
20. Richter, R, Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide,) Version 8.0, April 2011), DLR – German Aerospace Center, Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany, p. 59–60, DLR-IB 565-01/11
21. Hadjimitsis, D. G., Papadavid, G., Agapiou, A., Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intende for agricultural applications: impact on vegetation indices, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, p. 89-95, 2010
22. Richter, R, Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide,) Version 8.0, April 2011), DLR – German Aerospace Center, Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany, p. 88–95, DLR-IB 565-01/11
23. Richter, R., ATCOR for ERDAS IMAGINE 2011, User Manual, ATCOR2 and ATCOR3, Haze Reduction, Atmospheric and Topographic Correction, GEOSYSTEMS GmbH, Germering, Germany, p. atcor2-12 – atcor2-16
24. Häällströmin, G., Leaf area index retrieval using gap fractions obtained from high resolution satellite data: Comparisons of approaches, scales and atmospheric effects, Department of Geography, University of Helsinki, 233–248, katu 2, P.O. Box 64, FIN-00014 Helsinki, Finland, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 12, 2010, p. 233-248.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# APPLICATION OF MULTITEMPORAL REMOTE SENSING DATA IN LARGE WATER BASINS AREA ESTIMATION

**Hristo Nikolov, Denitsa Borisova**

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

***Keywords:*** *water areas, free data, spectral indices*

***Abstract:*** *Natural and artificial water basins are main source for water used by agriculture, industry and households. Traditionally the level, respectively the area, of these water bodies is monitored locally by gauging stations. In this paper the effort we put is in finding reliable procedure to obtain the mean water level from remotely sensed optical data. Topolnitsa dam was selected as test site for our study due two reasons – first, it has been used in previous research activities, and second it has serious impact on environmental state of the area where it is located. In the framework of this research we developed a method for solving the task mentioned using freely available data (multispectral and in-situ) and processing software.*

# ПРИЛОЖЕНИЕ НА МНОГОСПЕКТРАЛНИ ДАННИ ОТ ДИСТАНЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ЗА ОЦЕНКА ПЛОЩИТЕ НА ВОДНИ ОБЕКТИ

**Христо Николов, Деница Борисова**

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

***Ключови думи:*** *водни площи, модифициран нормиран спектрален индекс*

***Резюме:*** *Естествените и изкуствени водоеми са основният източник на вода използвана в селското стопанство, промишлеността и от домакинствата. Традиционно нивото, съответно на площта на тези водни тела се наблюдава локално от измервателни станции. В рамките на това изследване основна цел бе създаването на надеждна процедура за получаване на средното ниво на водата на базата на свободнодостъпни сателитни данни в оптичния спектър и софтуер с отворен код. Две бяха причините за избора на язовир Тополница за тестов обект - първо, той е бил използван в предишни научноизследователски дейности, и второ, че оказва сериозно въздействие върху екологичното състояние на района, където се намира.*

## Introduction

The amount of fresh water accumulated in lakes and reservoirs is the only source used in agriculture for irrigation, in industry, by hydropower stations, for domestic use, etc. In order to distribute fairly that amount between sectors mentioned it is of importance to have reliable information for water level at regular intervals. This data can also be used for express estimation of total volume of the water stored and used as reference point for further calculations. Normally the water level is obtained by means of in-situ gauging stations installed near river mouths, bridges, weirs and sluices. Based on this data bathymetry maps are produced and updated for major water bodies. Very often this information is considered as highly sensitive by local, national and security professionals so it is not made accessible to other institutions and to the general public.

In last decades satellites are used in solving large amount of Earth observation tasks. Important advantages when using instruments on satellites in such scenarios are the global coverage, repeatability and their relative autonomy. For monitoring the water level of lakes, dams, etc. from satellites two types of techniques are used – single point altimetry measurement performed by radar

or laser, and image-based (optical or SAR) water shape retrieval, both techniques having its strengths and weaknesses. [Zheng (2013)]

In this study the authors have adopted the second approach based in freely available optical image data and other free resources accessible.

**Method**

In order to discriminate the water areas using only multispectral data from the rest of the land cover objects found in the image in this study we implemented pixel-based approach using spectral indices to form the raster polygons corresponding to water areas. After this procedure they were converted to shape files manually since we needed to be as much precise as possible. Next step was to use a topographic map to establish several ground control points above highest water level foreseen in dam design and of the embankment. After that we made a contour line for this highest level around the water body. This line was checked against several points taken from web site providing height data from Google maps [Daftlogic, 2014]. All water levels calculated afterwards were compared to this line in order to find the size of the water polygon created. This method is similar to this described in [Xianwei W., (2013)], but differs in the way of generating the polygons for corresponding water levels and use of indices instead of supervised classification in establishment of water areas.

Since this research was based mainly on data from multispectral satellite images it is of extreme importance to establish the typical spectral behavior for land cover class “water” in order to use it as reference. Such reference spectral curve was achieved by processing several spectral characteristics measured under laboratory conditions for pure and turbid water. The data for those characteristics were taken from spectral libraries adopted worldwide as reference standard and are being provided by USGS [Clark, (2007)] and JPL [Baldridge (2007)]. The curves we used as benchmark for comparison to those derived from the multispectral data we processed, are shown on Fig.1, and while on Fig.2 shown are the curves from real data obtained by Hydice and WorldView II instruments.

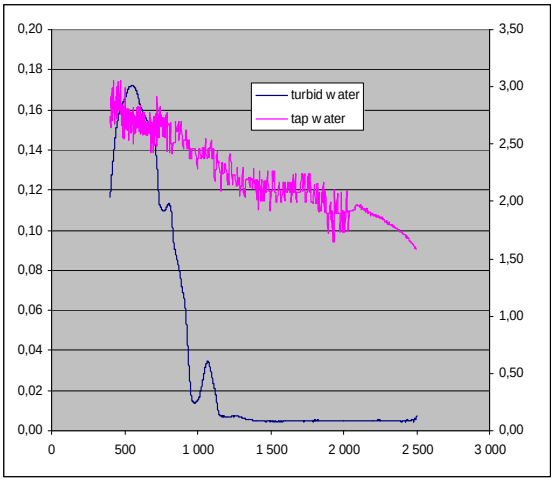



Fig. 1. Spectra for tap and turbid water from library

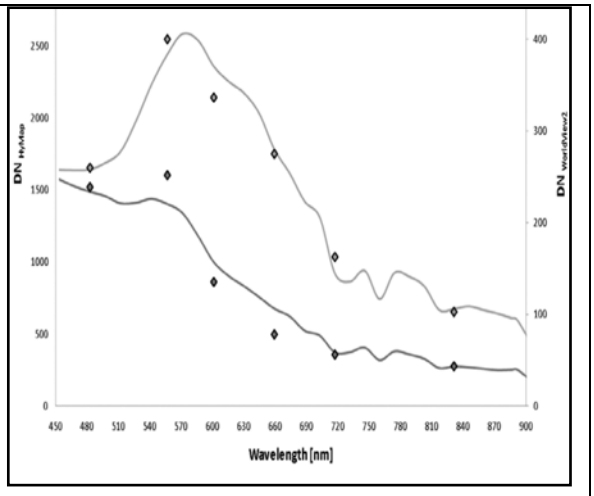



Fig. 2. Spectra from air/satellite borne instruments

The key indicator for identification of water areas in the multispectral images two indices were used – NDWI [Gao (1996), McFeeters (1996)] and MNDWI [Xu (2006)]. Although their limitations [Gudina (2014)] they are widely adopted and applied for creation of thematic layers. Both indices are defined by the following formulas:

| | |
|---|---|
| $NDWI = \frac{(TM\,2 - TM\,4)}{(TM\,2 + TM\,4)}$ | (1) |
| $MNDWI = \frac{(TM\,2 - TM\,5)}{(TM\,2 + TM\,5)}$ | (2) |

**Data**

During this research the main source of mulspectral images for the region we studied was the data from two instruments TM/ETM+ flying on Landsat5/7 satellites. The data from both instruments have been processed by the supplier, USGS, applying standardized procedure of Level 1 Product Generation System to equal spatial resolution of 30m, UTM projection and Cubic Convolution (CC) resampling to product level L1T. Due to malfunction of ETM+ instrument since 2003 it operates only in SLC-off mode [LSDUH, (2014)] making data from it unusable for the tasks set above and because of that for the years after 2003 we used data only from TM instrument.

All image processing and manipulation was done by Multispec remote sensing software freely distributed by Purdue University [Langrebe (2011)]. This software offers most of the functionality need for our research.

Data for the heights were obtained from a web site (Daftlogic, 2014) calculating them using information provided freely by Google Inc. The precision of those data was considered satisfactory for tasks to be solved (see Fig. 3). Output format of the data includes latitude and longitude in decimal degree, and above sea level in meters. The file produced is in CSV format which is directly used for shape file creation in GIS software.




Fig. 3. Point samples corresponding to heights

Other data used in the course of this research was those concerning water areas and volumes for certain year for the target selected (in our case Topolnitsa dam) acquired from a methodological report of the Executive environmental agency – Bulgaria. Those data were used for verification of the obtained results for the water areas.

**Results**

In the course of this research one image from 184 was processed and corresponding raster layers with NDWI and MNDWI were created. Based on them created were polygon layers for water area by manually digitizing on screen. During this process we faced problems with mixed pixels on the

border of the polygons between water and other land cover type due to middle spatial resolution of the data used. This issue we overcome by setting a threshold for the MNDWI values at 0,6 i.e. only values higher than threshold was regarded as water (see Fig.4).

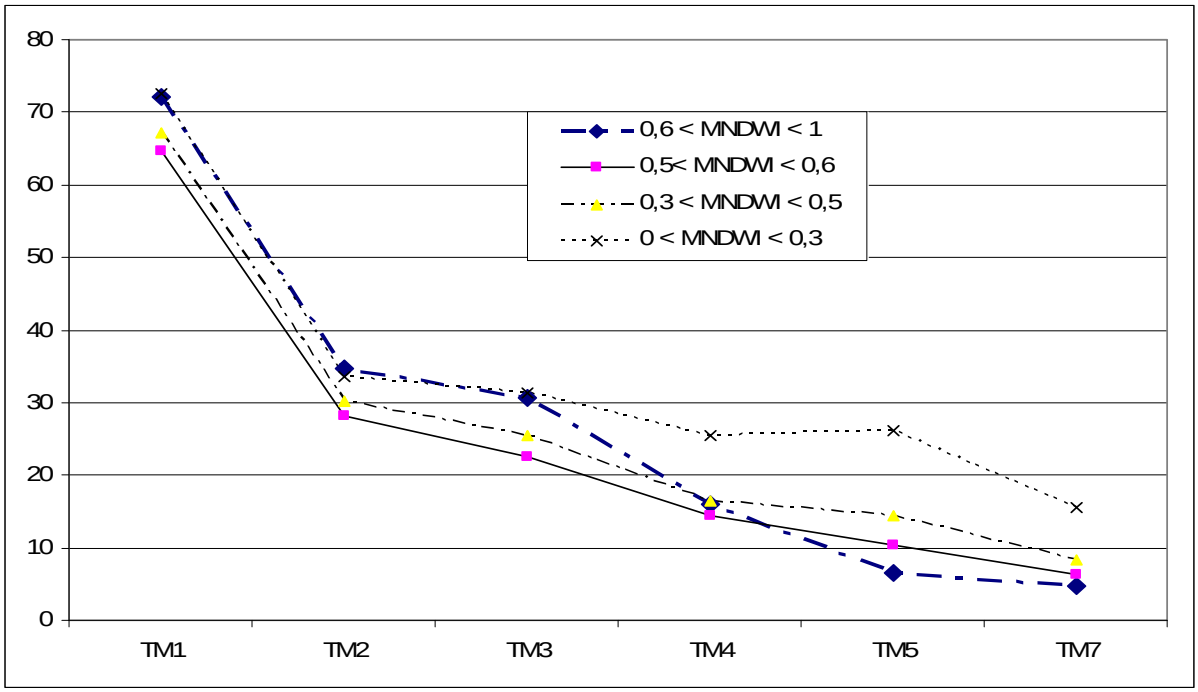



Fig. 4. Selection of threshold based on the average of MNDWI values

In order to check the correctness of the usage of MNDWI for water areas assessment we created new raster layers based on classification of raw DN values. The criterion for discrimination was again a threshold set for channels TM4-7 (due to specific absorption in these bands). Using the new raster layers polygons for the water areas were again drawn manually. Results from classification for both layers provided in Table 1 suggest that the difference of the areas between both methods could be due to the mixed pixels on the border line and the middle resolution of the sensor. Other possible cause is the peculiarity of the object selected since the area where the dam is located is relatively flat and some of the areas of the dam are shallow water or moors so a lot of vegetation is present which influences the reflectance values of initial data.

Table 1. Areas calculated by different means – threshold on raw values and MNDWI index

| Year | Calculated area of the dam [ha] | | Difference [ha] |
|---|---|---|---|
| | By threshold set to 18 DN for TM4-7 | By MNDWI | |
| 1984 | 444,33 | 382,68 | 61,65 |
| 1992 | 113,58 | 96,93 | 16,65 |
| 1993 | 258,75 | 239,85 | 18,9 |
| 2003 | 257,85 | 215,19 | 42,66 |
| 2007 | 223,83 | 166,59 | 57,24 |
| 2009 | 310,23 | 217,08 | 93,15 |
| 2011 | 196,83 | 149,58 | 47,25 |

**Conclusion**

In this research simple method for determination of the area of a water body is presented. As main discriminating feature MNDWI was used for creation of masking layers corresponding to the water areas. We found that similar results are achieved setting threshold on initial data. All results are obtained using only freely available data sources and software which sets a framework for future investigations having proven method.

**References:**


1. B a l d r i d g e, A. M., S. J. H o o k, C. I. G r o v e and G. R i v e r a, The ASTER Spectral Library Version 2.0. Remote Sensing of Environment, vol 113, pp. 711-715, (2009)
2. Daftlogic website, accessed March 2014, http://www.daftlogic.com/sandbox-google-maps-find-altitude.htm
3. G a o B-C.,NDWI a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, Remote sens. environ. 58:257-266 (1996)
4. G u d i n a, L. F., M e i l b y H., F e n s h o l t R., S i m o n P. R., Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery, Remote Sensing of Environment, 140, (2014), pp. 23-35
5. L. T. K. H o, U m i t s u M. and Y a m a g u c h i Y., Flood hazard mapping by satellite images and srtm dem in the Vu Gia–Thu Bon alluvial plain, central Vietnam, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto, Japan, (2010)
6. L a n d g r e b e, D., B i e h l L., An introduction & reference for MultiSpec, Version 9, (2011), https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/MultiSpec_Intro_9_11.pdf
7. LSDUH, (2014), http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf (accessed March 2014) p.123
8. M c F e e t e r s, S. K. (1996). The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, Vol. 17, No. 7, pp. 1425-1432
9. M u h a m m a d H a s a n A l i B a i g, Z h a n g L., W a n g Sh., J i a n g G, L u S., T o n g Q., Comparison of MNDWI and DFI for water mapping in flooding season, Proceeding of: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Melbourne, Australia, (2013)
10. R o g e r N. C l a r k, G. A. S w a y z e, R. A. W i s e, K. E. L i v o, T. M. H o e f e n, R. F. K o k a l y, S, J. S u t l e y, USGS Digital Spectral Library splib06a, U.S. Geological Survey Data Series 231, (2007)
11. United States Geological Survey (USGS). Long term data archive, EarthExplorer, Landsat TM data set, (2014)
12. X i a n w e i W a n g, C h e n Y., S o n g L., C h e n X., X i e H., L i u L., Analysis of lengths, water areas and volumes of the Three Gorges Reservoir at different water levels using Landsat images and SRTM DEM data, Quaternary International 304, (2013) pp. 115-125,
13. X u, H. Q., Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International Journal of Remote Sensing, 27, 3025–3033, (2006)
14. Z h e n g, D., B a s t i a a n s s e n., W. G. M., Estimating water volume variations in lakes and reservoirs from four operational satellite altimetry databases and satellite imagery data, Remote Sensing of Environment, 134, (2013), pp. 403–416.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# АНАЛИЗ НА ГРЕШКИТЕ В СПЕКТРОМЕТРИЧНИТЕ ИЗМЕРВАНИЯ

**Валентин Атанасов[1], Георги Желев[1], Деница Борисова[1], Кирил Алексиев[2], Петя Копринкова[2]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2]Институт по информационни и комуникационни технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: vatanassov@space.bas.bg*

***Ключови думи:*** *дистанционни изследвания, видеоспектрометрични системи, неопределености, грешки.*

***Резюме:*** *Спектрометричните измервания се характеризират с огромни възможности по отношение на получаваната информация. Същевременно за да бъдат реализирани тези възможности е необходимо да бъде отстранено влиянието на множество допълнителни ефекти и грешки върху резултатите от измерванията. В работата са разгледани различните източници на лъчение, участващи в формиране на общата мощност на регистрираното от прибора отразено лъчение. Анализирани са и е направена е систематизация на грешките от тези източници и са посочени пътищата за тяхното намаляване и отстраняване. Приведена е класификация на на грешките по определени критерии.*

# ERROR ANALYSIS IN THE SPECTROMETRIC MEASUREMENTS

**Valentin Atanasov[1], Georgi Jelev[1], Denitza Borisova[1], Kiril Alexiev[2], Petya Koprinkova[2]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Institute of Information and Communication Technologies – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: vatanassov@space.bas.bg*

***Keywords:*** *remote sensing, imaging spectrometer, uncertainties, errors.*

***Abstract:*** *Spectrometric measurements are characterized by a huge potential in terms of the received information. However, to be realized these opportunities need to be removed the influence of a number of additional effects and errors on the measurement results. In the paper are discussed various radiation sources involved in the formation of the registered irradiation. Errors from these sources are analyzed and classified according to specific criteria and are listed ways for their reduction and elimination.*

## Въведение

През последните десетилетия дистанционните изследвания се наложиха като водеща научна област и мощен инструмент в изучаването на земната повърхност. Получаваната информация се използва успешно в редица важни области, като геология, селско стопанство, картография, военно дело, екология и др. Кръгът от приложения на дистанционно получени спектрални данни и изображения непрекъснато се разширява, включвайки нови области, като екологичен мониторинг на застрашени зони, мониторинг на глобалните промени на природните ресурси и околната среда, промени в климата и др.

Водещо място в дистанционните изследвания заемат спектрометричните измервания. Съществуващият огромен потенциал на тези изследвания може да бъде използван пълноценно само при наличието получени с висока точност и прецизност спектрални данни и изображения. Това условие, за съжаление, не може да бъде изпълнено априори и първоначално при получаване на суровите данни. Напълно основателно е широко разпространено мнение в

научните среди, че резултатите от тези измервания са едни от най-малко надеждните от всичките физични измервания [1,2]. Причина за това са многобройните неопределености и неточности, генерирани в процеса на дистанционните измервания (фиг.1) [3]. Към тези неопределености и неточности, когато става въпрос за видеоспектрометри се добавят и такива, породени от самия метод на формиране на изображенията, например за конкретност ще посочим че при т. нар. pushbroom тип прибори, при които изображението се формира последователно ред по ред и приносът на грешките е значителен по едната пространствена координата, докато при whiskbroom приборите се прибавят такива и по втората пространствена координата. Ето защо анализът и оценката на грешките при тези измервания е от изключително важно значение за получаване на релевантни научни и практически резултати.

**Грешки при измерванията**

От гледна точка на теорията на измерването съществуват няколко основни критерии за класификация на грешките – по произход, характер, проявление и др.. Следва да се отбележи, че в много случаи, разделянето на грешките по определен критерий е в известна степен условно и се определя от степента на познание на свойствата на измервателното средство и въздействията на влияещите фактори.

Според избрания критерий грешките могат да бъдат класифицирани**:**

***По своя характер*** (според закономерността на появяване на грешките) грешките се делят на три вида: груби, систематични и случайни. При спектрометричните измервания могат да се наблюдават и трите вида грешки.

**Грубите грешки** представляват неоправдано големи отклонения от истинската стойност на измерваната величина. Например срив в апаратурата за събиране на данни – при сателит Landsat 7ETM+ – загуба на редове. Грубите грешки обикновено при анализа се игнорират.

**Систематични грешки** са грешките, които запазват големината и знака си в серията измервания или се изменят по определен начин. Те отклоняват измерваната величина от истинската й стойност в една посока. Систематичните грешки са: инструментални (грешки на уреда) и методични (грешки на метода):

**- инструментални** систематични грешки - обуславят се от неточности при направата и градуировката на уредите, от неточно установяване и настройване на уреда, от настъпили изменения в отделни модули на уреда. Към тази категория можем да причислим повечето от грешки от влияния на вътрешни за прибора фактори (фиг. 2 – дясна колона), като неидеалност на оптичната система $c_o$, неидеалност на апаратурата, участваща в процеси на формиране на изображение.

**- методични** систематични грешки - получават се, когато се използват приблизителни формули или когато условията, при които се правят измерванията, се отличават от приетия теоретичен модел. Към тази категория можем да причислим повечето от грешки от влияния на външни за прибора фактори (грешки генерирани от външни източници – фиг. 2 – лява колона),

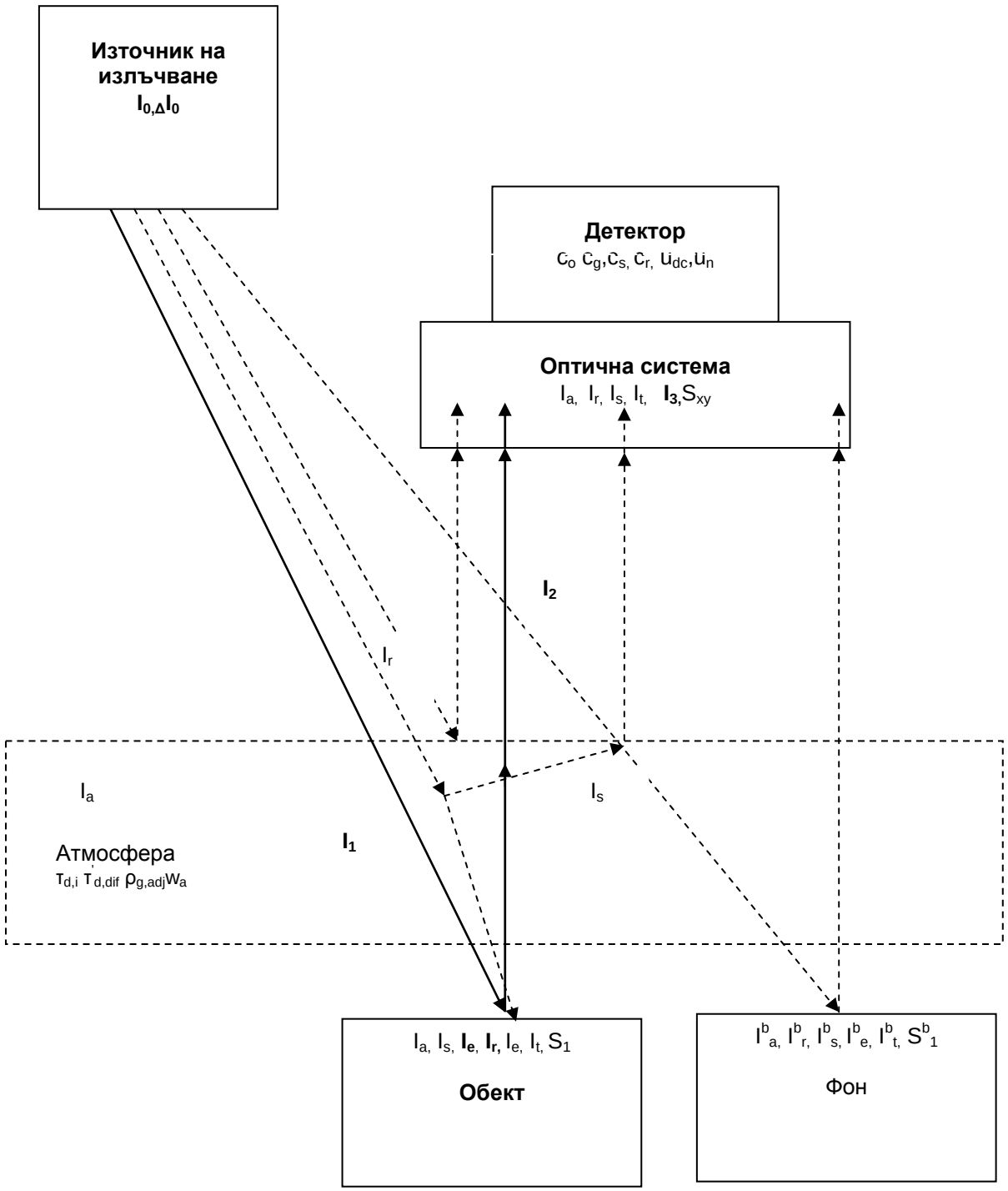
**Случайни грешки** са тези, които се променят по големина и знак при всяко следващо измерване. Причините за тези грешки могат да бъдат: малки промени на налягането, температурата, осветеността. Такива са грешките генерирани от прибора под влияния на външни за прибора фактори (фиг. 2 – дясна колона, долна част), грешки от нестабилност на характеристиките на прибора.

Някои от грешките , например тази породени от влиянието на тъмнинния ток, имат повече от една компонента – основна, която може да бъде причислена към систематичните грешки ) -адитивен характер- и втора компонента със случаен характер.

Един от основните критерии по който могат да бъдат класифицирани грешките и който трябва да бъде взет под внимание в спектрометричните измервания е по произход на грешките. Изборът на такъв критерий ни дава възмажност за планиране на ефективни процедури за предварителна обработка на данните и минимизиране на влиянието на смущаващите фактори в измерванията.

***Според източника за възникване на грешките:***

**Методични** – дължащи се на несъвършенството на метода на измерване. Най-често тези грешки възникват, когато се използват непреки (косвени) измервания (фиг. 2 – лява колона),




Фиг. 1. Източници на лъчение, участващи в формиране на общата мощност на регистрираното от прибора отразено лъчение, където: $I_0$ – интензивност на източника на лъчение, обикновено в спектрометричните измервания – Слънцето, $\Delta I_0$ – вариации в интензивност на източника на лъчение, интензивности на: $I_a$ - поглъщане, $I_r$ – отражение, $I_s$ - разсейване, $I_t$, -пропускане, $I_e$ – излъчване, $I_3$ – резултантно лъчение, попадащо върху детектора, $S_1$ – геометрия на наблюдение, обект, $S^b_1$– геометрия на фона, $\tau_{d,i}$ $\tau_{d,dif}$ $\rho_{g,adj}$ $w_a$ – коефициенти на пропускане, дифузно проникване, отражение. Източници на грешки, формирани в детектора, където $u_{dc}$ - тъмнинен ток, $u_n$ – шум от управляващата електроника, $c_o$ – неидеалност на оптичната система, $c_g$ – геометрична неопределеност, $c_s$ – спектрална неопределеност, $c_r$ – радиометрична неопределеност.

**Инструментални** – дължащи се на несъвършенството на измервателното средство, на неговите грешки. Грешките на измервателното средство се определят от схемата и качеството на апаратурата (фиг. 2 – дясна колона),

**Случайни (субективни)** – дължащи се на случайни фактори, напр. на невниманието, небрежността или неправилните манипулации на оператора в процеса на измерване и фиксиране на резултатите.

**Според *зависимостта на проявяване* на грешките в стойностите на измерваните величини:**

**Адитивни** – съставящи на абсолютните грешки, независещи от стойностите на измерваните величини.

**Мултипликативни** – съставящи на абсолютните грешки, пропорционални на стойностите на измерваните величини.

**- линейни** - при линейните измервателни средства мултипликативните грешки се дължат на грешките на номиналната им чувствителност

**- нелинейни** – съставящи на абсолютните грешки, изменящи се нелинейно от стойностите на измерваните величини - когато функцията на преобразуване е нелинейна величина.

Класификацията на грешките по отделните критерии е от особена важност за подобряване на точността от измерванията, тъй като най-общо казано различните източници причиняват различен тип грешки. Това диференциране на източниците на грешки позволява прилагането на разделни методи за намаляване на отделните съставящи и постигане на оптимални резултати както по време на проектирането и изграждането, така и по време на експлоатационния период на прибора.

**Източници на грешки в спектрометричните измервания**

Източниците на грешки в спектрометричните измервания са с широк спектър, обусловен от разнородния им произход, и при всички случаи, когато данните от измерванията ще се използват за последващи анализи, те трябва да бъдат взети в предвид, като всеки от тях трябва да бъде локализиран, анализиран и характеризиран. Това императивно налага планиране и прилагане на методи и процедури за предварителна обработка на получаваните данни.

Основен източник на грешки е неопределеността и нестабилността на измерванията, извършвани с такива инструменти, регистриращи отразено лъчение. В количествено отношение тази висока неопределеност се обуславя не само от източниците, формиращи общата мощност на пристигащия на входа на прибора сигнал (фиг. 1), но и от типа на използвания прибор [3,4].

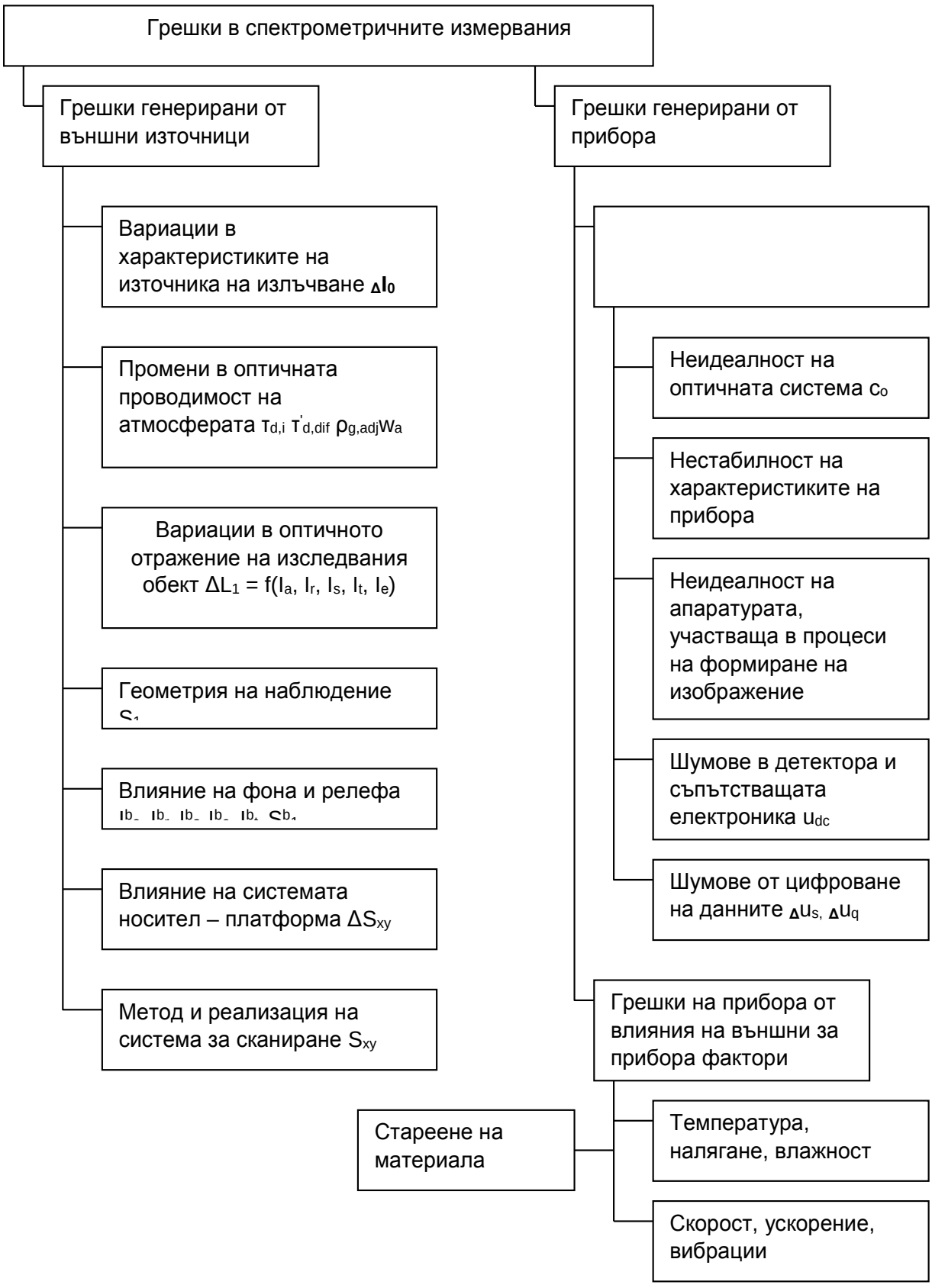
Източниците на грешки, в зависимост от произхода на генерираните неопределености, нестабилности и шум, могат да бъдат разделени условно на две основни групи (фиг. 2):

♦ източници на грешки, породени от неопределености и нестабилности, генерирани от външни за прибора фактори, към която група могат да бъдат причислени:

- вариации в характеристиките на източника на излъчване $_{\Delta}\mathbf{I_0}$.
- промени в оптичната проводимост на атмосферата, предизвикани от вариации в температура, налягане, количество водни пари и разпределение на молекули на газове, влияещи на ефектите на поглъщане, отражение, разсейване $\tau_{d,i}\, \tau_{d,dif}\, \rho_{g,adj} w_a$;
- вариации в оптичното отражение на изследвания обект $\Delta L_o$ предизвикани от ефектите на поглъщане $I_a$, отражение $I_r$, разсейване $I_s$, пропускане $I_t$, излъчване $I_e$;
- влияние на геометрията на наблюдение на изследвания обект върху формиране на пълната мощност на лъчението, регистрирано от сензора $S_1$;
- влияние на фона и релефа върху формиране на пълната мощност на лъчението, регистрирано от сензора $I^b_a, I^b_r, I^b_s, I^b_e, I^b_t, S^b_1$;
- вариации в характеристиките на системата носител - платформа при снемане на изображения;
- вариации в характеристиките на системата за сканиране при получаване на изображенията $S_{xy}$;

♦ източници на грешки, породени от нестабилности и шум, генерирани от самия прибор и добавящи в системата геометрична неопределеност $c_g$, спектрална неопределеност $c_s$, радиометрична неопределеност $c_r$, към която група могат да бъдат причислени:

- източници на грешки генерирани от прибора, вследствие на влияния на вътрешни за прибора фактори:




Фиг. 2. Грешки в спектрометричните измервания

- неидеалност на оптичната система $c_o$;
- нестабилност на характеристиките на прибора;

- неидеалност на апаратурата, участваща в процеси на формиране на изображение;
- шумове в детектора и съпътстващата електроника $u_{dc}$;
- шумове от цифроване на данните при процесите на дискретизация и квантоване $_{\Delta}u_{s,}$ $_{\Delta}u_{q}$.

- източници на на грешки генерирани от прибора, вследствие на влияния на външни за прибора фактори:
- - температура, налягане, влажност;
- - скорост, ускорение, вибрации;

Като допълнение към изложеното може да се посочи, че значително влияние върху определяне на метричните характеристики на системата оказва качеството на електрониката и параметрите на апаратурата за обработка на данните.

Приложените класификации на източниците на шум и неопределености, проявяващи се в процеса на измерването, позволяват не само количествено определяне, но и прилагане на предварителна обработка на данните с цел изключване или свеждане до минимум влиянието им върху изходните резултати, с цел по-добра съпоставимост на тези данни и подобряване на еднозначността на получената информация.

**Изводи**

1. Направеният анализ на грешките, проявяващи се в процеса на дистанционните спектрометрични измервания позволява систематизация на грешките и точна класификация по различни критерии. Това предполага набелязване на методи и процедури намаляване или отстраняване на тяхното влияние в получаваните данни, дава възможност за количественото им определяне и изключване.

2. Определянето на грешките по произход дава възможност за планиране на ефективни методи за минимизиране на грешките в спектрометричните измервания.

**Благодарности**

Изследването в настоящата работа е проведено в рамките на договор ДФНИ – И01/8, 2012, между ИКИТ – БАН и Фонд “Научни изследвания”.

**Литература:**

1. Koskowski, H. J., 1997. Reliable Spectroradiometry, Spectroradiometry Consulting, La Plata, MA, 1997.
2. Schaepman, M. E., 1998. Calibration of a Field Spectroradiometer. Remote Sensing Series, University of Zurich.
3. Atanassov, V., L. Kraleva, G. Jelev, 2008, Noise and uncertainties in remote sensing spectrometric measurements. Proceedings of the Third Scientific Conference with International Participation “Space, Ecology, Nanotechnology Safety – SENS’2007”, 27-29 June 2007, Varna, Bulgaria, SRI-BAS. ISSN: 1313-3888, p.170-173.

# КОРИГИРАНЕ НА ГРЕШКИТЕ В СПЕКТРОМЕТРИЧНИТЕ ИЗМЕРВАНИЯ

**Валентин Атанасов[1], Деница Борисова[1], Георги Желев[1], Кирил Алексиев[2], Петя Копринкова[2]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2]Институт по информационни и комуникационни технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: vatanassov@space.bas.bg*

***Ключови думи**: дистанционни изследвания, видеоспектрометрични системи, неопределености, грешки, корекции на грешките.*

***Резюме:** В работата се разглежда проявлението на грешките в спектрометричните измервания като функция от различните източници на генериране. Направено е разделяне на грешките в зависимост от източниците, което позволява декомпозиране и набелязване на разделни методи за намаляване и елиминиране на отделните съставни. Предложени са алгоритми за корекция на грешките, позволяващи оптимизация на характеристиките на прибора в етапите на разработване и производство и планиране на методи и процедури за намаляване или елиминиране на отделните съставящи.*

# ERROR CORRECTIONS IN THE SPECTROMETRIC MEASUREMENTS

**Valentin Atanasov[1], Denitza Borisova[1],Georgi Jelev[1], Kiril Alexiev[2], Petya Koprinkova[2]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Institute of Information and Communication Technologies – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: vatanassov@space.bas.bg*

***Keywords:** remote sensing, videospektrometrichni systems uncertainties, errors, corrections of errors.*

***Abstract:** In the paper are examined the appearance of errors in the spectrometric measurements as a function of the various sources of generation. A error partitioning is made depending on the sources, allowing decomposition and identification of separate methods for the reduction and elimination of the component. Error correction algorithms are proposed, allowing optimization of the device characteristics in the stages of development and production and are planning methods and procedures to reduce or eliminate the separate components.*

## Въведение

Корекцията на грешките при спектрометричните измервания е изключително сложна задача. Самият процес на оценка и коригиране на грешките започва още с конструирането и изработването на спектрометричен прибор. Включва последователно етапите на калибриране, верификация и валидиране на характеристики и данни. Тези етапи продължават и след изработването на прибора през така наречения експлоатационен период. През този период корекцията на грешките се осъществява на нови два етапа – в лабораторни условия и на терен (или на борда на носителя) по време на работа на прибора. От казаното може да се направи заключение, че процесите на корекция или по общо казано, предварителна обработка, съпътстват целият период на съществуване на прибора.

**Проявление на грешките**

Грешките при спектрометричните измервания имат разнороден произход и проявление и методите за корекция зависят от източника и характера на грешките. Тези важни обстоятелства определят изискване за детайлно познаване на физичните условия при извършване на измерването и точно определяне на характеристиките на измервателния прибор. Важността на познаването на произхода и проявлението на грешките се обуславя от факта, че тези обстоятелства са свързани помежду си с определени закономерности. Най-общо казано източниците на грешки предопределят и характера на проявление на грешките.

Така например, обикновено **адитивните грешки** се формират предимно на входа на измервателния прибор, така че към тази група могат да бъдат причислени грешките, предизвикани от външни за прибора източници. Това са, според класификацията от [1], фигура 2:

- вариации в характеристиките на източника на излъчване $_{\Delta}\mathbf{I_0}$;
- промени в оптичната проводимост на атмосферата, предизвикани от вариации в температура, налягане, количество водни пари и разпределение на молекули на газове, влияещи на ефектите на поглъщане, отражение, разсейване $\tau_{d,i}$ $\tau_{d,dif}$ $\rho_{g,adj}w_a$;
- вариации в оптичното отражение на изследвания обект $\Delta L_o$ предизвикани от ефектите на поглъщане $I_a$, отражение $I_r$, разсейване $I_s$, пропускане $I_t$, излъчване $I_e$;
- влияние на геометрията на наблюдение на изследвания обект върху формиране на пълната мощност на лъчението, регистрирано от сензора $S_1$;
- влияние на фона и релефа върху формиране на пълната мощност на лъчението, регистрирано от сензора $I^b_a$, $I^b_r$, $I^b_s$, $I^b_e$, $I^b_t$, $S^b_1$;

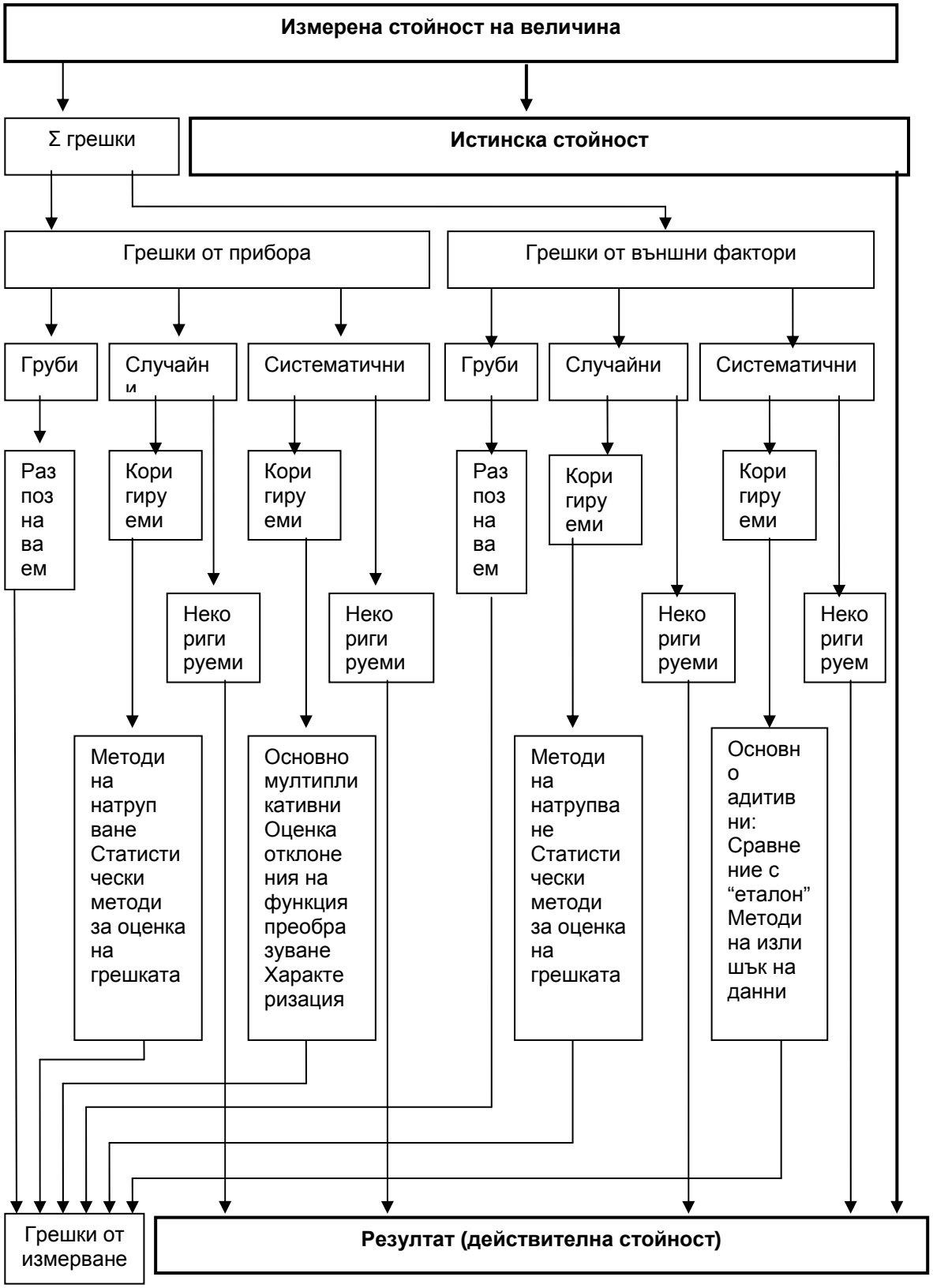
**Мултипликативните грешки** най-често възникват поради неточността (или нестабилността) на характеристиките и параметрите на основните блокове на прибора – входна оптика, дисперсионен блок, оптико-електронен преобразувател, електронно-цифров преобразувател. Към тази група могат да бъдат причислени грешките, генерирани от прибора. Това са, според класификацията от [1], фигура 2:

- неидеалност на оптичната система $c_o$;
- нестабилност на характеристиките на основните блокове, предизвикани от смущаващи фактори, като изменение на температура, налягане, влажност, скорост, ускорение, вибрациии др.
- неидеалност на апаратурата, участваща в процеси на формиране на изображение;
- неидеалност на блоковете, участващи в процеси на на дискретизация и квантоване $_{\Delta}u_s$, $_{\Delta}u_q$ на изображението;

Тези блокове са основен източник и на **нелинейните грешки**, които основно се генерират от нестабилност на характеристиките им на преобразуване.

**Случайните грешки** се генерират от случайни факти и обстоятелства, проявяващи се в процеса на измерването и не взети впредвид при планиране на измерванията и в процеса на предварителна обработка.

Детайлното познаване и разделяне на източниците на грешки позволява декомпозиране на грешките и планиране на методи и процедури за намаляване или елиминиране на отделните съставящи, което от своя страна води до оптимизация на характеристиките на прибора в етапите на разработване и производство. Този процес продължава и през етапите на експлоатация на прибора. Важно е да се отбележи, че процесите на предваритерна обработка на видеоспектрометрични данни обхващат един много по-дълък период от време, от началото на пректиране до края на съществуване на такъв прибор, отколкото е времето на осъществяване на измерването и обработка на данните.




Фиг. 1. Алгоритъм за оценка и коригиране на грешките

**Декомпозиране на грешките в спектрометричните измервания**

Следващият етап от анализа и коригиране на грешките включва процесите на декомпозиране на грешките.

В резултат от проявлението на грешките в измерената величина се получава стойност на измерената величина, която съдържа в себе си и сумарната стойност на грешките (фиг. 1).

Разпознаването и разбиването на тези грешки на отделни видове (фиг. 1) е от особена важност за измервателното средство, в случая видеоспектрометър, тъй като те включват и представляват основните компоненти, определящи точността на самия измервателен прибор и точността на конкретното измерване. Както е показано на фигура 1 диференцирането на източницитена грешки ще позволи прилагането на подходящи методи за намаляване на отделните съставящи и постигане на оптимални резултати както при проектирането и изграждането на измервателния прибор, видеоспектрометър, така и в процеса на измерванията.

В стадия на **проектирането** на измервателното средство теоретичния анализ на адитивната, мултипликативната и нелинейната грешки дават възможност да се предприемат задължителни мерки, включващи калибрационни и характеризационни процедури, за тяхното намаляване с цел обезпечаване на зададена сумарна грешка.

В стадия на **експлоатационния период** на прибора, след определяне на сумарната грешка от измерването е целесъобразно тя да бъде декомпозирана на отделните и съставящи: основно - генерирани от прибора и генерирани от външни фактори адитивна, мултипликативна и нелинейна грешки, определяне на доминиращите съставни и планиране и осъществяване на процедури по определени алгоритми (комплексни мерки) за намаляването й.

Основните методи за намаляване на грешките от спектрометричните измервания могат да бъдат систематизирани така:

Методи за калибриране и характеризация на прибора, които от своя страна могат да бъдат разделени на лабораторни и в работни условия.

Методи за получаване на допълнителна информация за прибора и условията за снемане на данните: прилагане на методи за препроцесинг – набелязване и планиране на процедури за предварителна обработка – разработване на алгоритми за предварителна обработка– изпълнение на алгоритми за предварителна обработка.

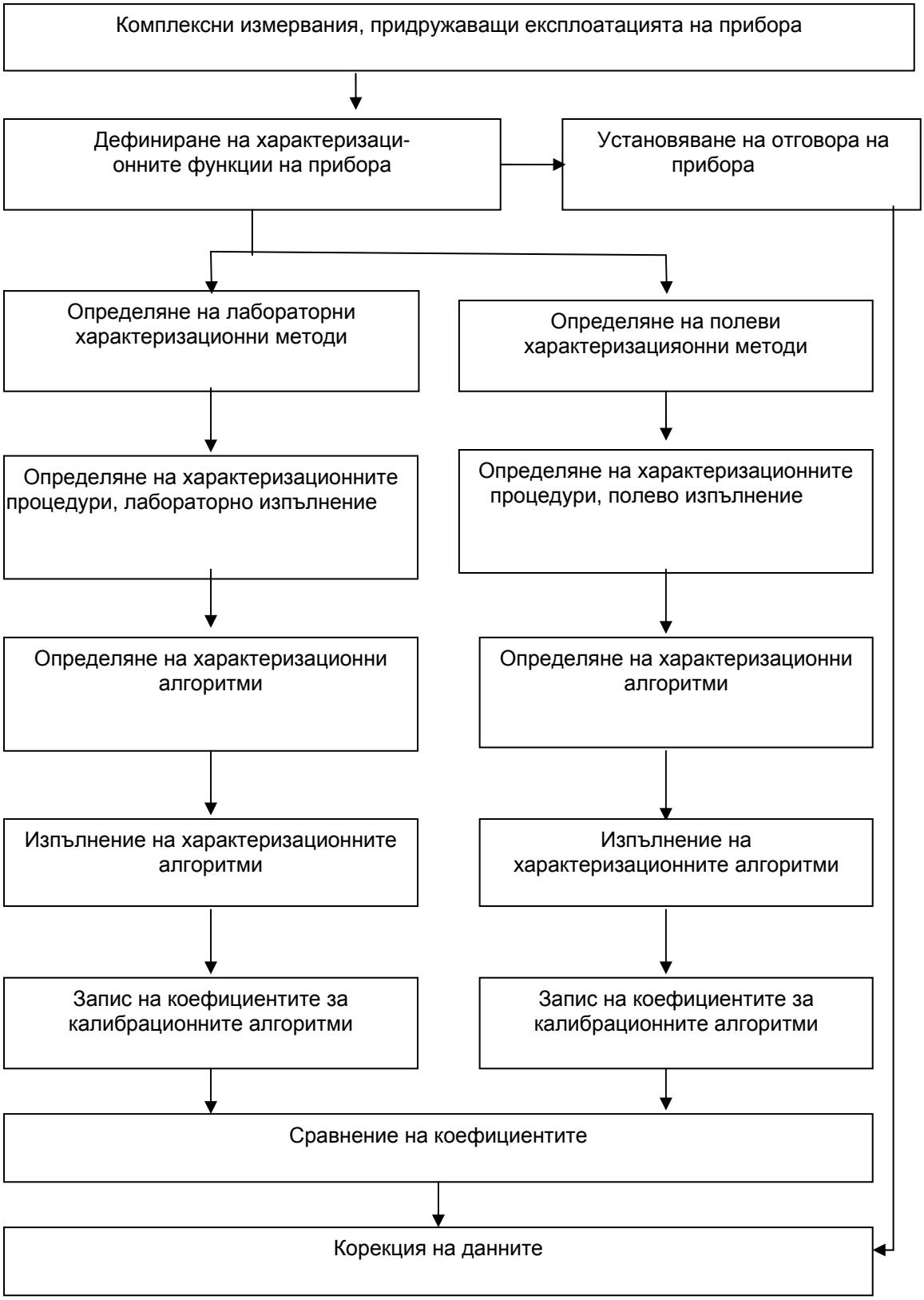
Действителната стойност на резултата се различава от истинската стойност на измерваната величина със стойността на неразпознатата или некоригирана систематична и случайна грешка.

**Коригиране на грешките в спектрометричните измервания: характеризационни процедури**

Както вече посочихме по-горе, една съществена част на грешките в спектрометричните измервания са породени от източници, генерирани от самия прибор. Следователно е необходимо предварителната обработка на спектрометричните данни и изображения да започне с определяне на основните характеристики на видеоспектрометъра чрез една детайлна характеризация.

Някои от характеристиките на прибора се очаква да остават непроменени по време на експлоатационния период на прибора и следователно не се налага тяхното измерване и определяне по време на този период, което налага адекватното им дефиниране по време на лабораторната характеризация. Друга част от тях обаче са особено критични и те трябва да бъдат определени и периодично характеризирани през време на експлоатационния период на прибора, като честотата на процедурите по характеризация се определя от честотата на изменение на грешките.

Лабораторните характеризационни процедури могат да бъдат детайлно определени на базата на анализ на грешките. Следните наземни измервания (процедури) могат да бъдат определени и предложени като критични за калибриране на данните, макар че една част от тях да не е възможно да бъдат повторени по време на експлоатацията на прибора:




Фиг. 2. Алгоритъм за характеризация на видеоспектрометър през експлоатационния период на прибора

- Нелинейност на отговора на инструмента.
- Определяне на коефициентите на тъмнинния ток.

- Определяне на позицията на спектралните канали.
- Определяне на спектралния отговор на инструмента (PSF функция).

Стратегията за характеризация на видеоспектрометричен модул е илюстрирана с показания на диаграмата от фиг. 2. алгоритъм за експлоатационна характеризация. Необходимо е предвиждане на методи и апаратни средства за характеризиране в т. нар. работен режим (по време на работа на прибора при снемане на спектрални изображения на реални обекти), независимо от характеризацията на прибора по време на лабораторните изследвания.

Целта на характеризационния процес е елиминиране на грешките от прибора. Резултат от извършване на характеризационните процедури е получаване на коефициенти за калибрационния алгоритъм на прибора.

**Комплексен характер на данните при видеоспектрометричните измервания**

Данните, получавани при видеоспектрометричните измервания имат мултидименсионален характер, тъй като регистрираните стойности са не само функция на една променлива ( в радиометричната област), но и на други променливи - например позиция на пристигащото лъчение във входната апертура ( в пространствената област), неговото спектрално разпределение ( в спектралната област), време на измерване (във времевата област).

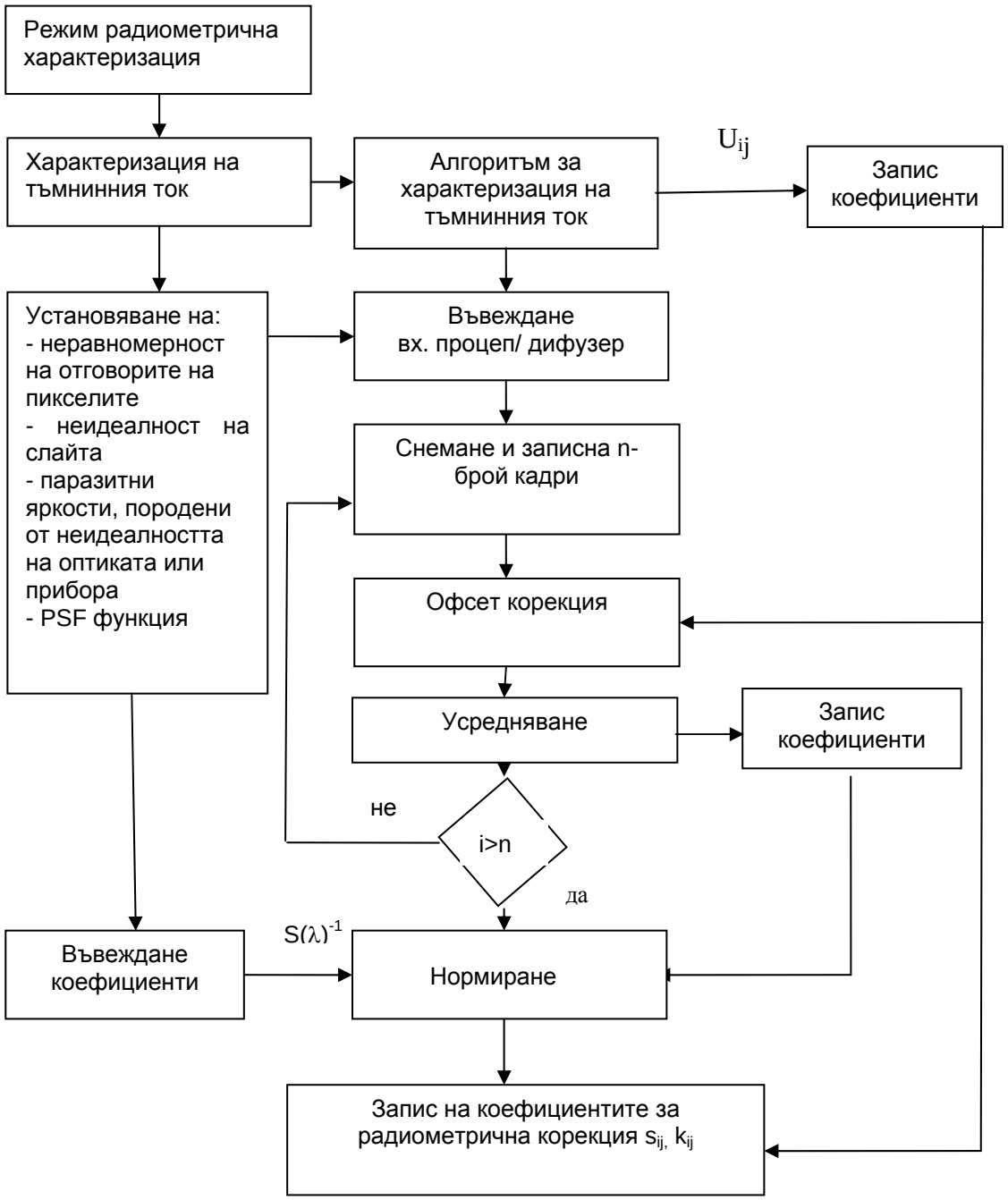
Необходимо е въвеждане на допълнително разделение на грешките и корекции в основните области:

- радиометрична корекция на видеоспектрометрични данни и изображения
- спектрална корекция на видеоспектрометрични данни и изображения
- пространствена корекция на видеоспектрометрични данни и изображения

Като пример е приведен режим на радиометрична характеризация (фиг. 3): - включва характеризация на тъмнинния ток - в работен режим на прибора е необходимо да бъде изпълнена офсет корекция чрез снемане на сигнала, компонента на тъмнинния ток, и корекция на спектралното размазване. Коефициентите за корекция на тъмнинния ток ще бъдат получени чрез закриване на апертурата на оптичния модул, след което стойностите на отместване (нива на тъмнинния ток) се снемат директно от отговора на детектора и се съхраняват (записват) за по-следваща обработка, съгласно подходящо съставен алгоритъм за характеризация на функцията на тъмнинния ток;

Следващи стъпки на радиометричната характеризация - след като офсет корекцията е извършена, сигналът трябва да бъде коригиран от неравномерности на отговорите на пикселите, особено от тези, придизвикани от измененията за времето на функциониране на конкретната реализация на прибора. Тази радиометрична характеризация се осъществява чрез въвеждане в зрителния ъгъл на инструмента (FOV - field of view) ) на сигнал от радиометричен източник, точно калибриран в лабораторни условия и извършване на запис и последваща обработка по подходящ алгоритъм на съхранените данни. Основните характеризационни процедури при радиометрична характеризация са показани на фиг. 3, представяваща алгоритъм за радиометрична характеризация. Последователността на извършването на процедурите, съгласно предложения алгоритъм, може да бъде описана по следния начин:

- корекция на тъмнинния ток
- корекция на неравномерности на отговорите на пикселите
- корекция на паразитни яркости, породени от неидеалността на оптиката или прибора
- корекция на неидеалност на слайта
- корекция на PSF функция




Фиг. 3. Алгоритъм за радиометрична характеризацияция на видеоспектрометър

**Изводи**

1. Идентификацията на източниците на грешки в спектрометричните измервания дава възможност за декомпозиране на грешките по проявление в получаваните данни, което позволява оптимизиране на методите и техники за корекции.

2. Идентификацията и декомпозирането на грешките позволява дефиниране на оптимални изисквания към параметрите и характеристиките на разработваните спектрометрични системи, като по този начин се оказва значително влияние върху усложняването и цената на бъдещите сензорни системи.

3. Идентификацията и декомпозирането на грешките позволява дефиниране на оптимални изисквания по отношение на експеримента - за прилагане на процедури и алгоритми за получаване и предварителна обработка на данни по време на измерванията, които позволяват редуциране на грешките от измерванията при една бъдеща предварителна обработка на тези данни.

**Благодарности**

Изследването в настоящата работа е проведено в рамките на договор ДФНИ – И01/8, 2012, между ИКИТ – БАН и Фонд “Научни изследвания”.

**Литература:**

1. Atanassov, V., G.Jelev, D. Borisova. 2013. Анализ на грешките в спектрометричните измервания. Ninth Scientific Conference with International Participation "Space Ecology Safety" SES 2013. November 20 - 22, 2013, Sofia, Bulgaria.
2. Schaepman, M. E. 1998. Calibration of a Field Spectroradiometer. Remote Sensing Series, University of Zurich.
3. Atanassov, V., L.Kraleva, G.Jelev, 2008, Noise and uncertainties in remote sensing spectrometric measurements. Proceedings of the Third Scientific Conference with International Participation “Space, Ecology, Nanotechnology Safety – SENS’2007”, 27-29 June 2007, Varna, Bulgaria, SRI-BAS. ISSN: 1313-3888, p.170-173.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# АВТОМАТИЧНА КЛЪСТЕРИЗАЦИЯ НА МНОГОСПЕКТРАЛНИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ РЕКУРЕНТНИ НЕВРОННИ МРЕЖИ

**Петя Копринкова-Христова[1], Кирил Алексиев[1], Деница Борисова[2], Георги Желев[2], Валентин Атанасов[2]**

*[1]Институт по информационни и комуникационни технологии – Българска академия на науките*
*[2]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: pkoprinkova@bas.bg; dborisova@stil.bas.bg*

***Ключови думи:*** *многоспектрални изображения, клъстеризация, рекурентни невронни мрежи, невронни мрежи тип „ехо”, размит метод на С-средните (subtractive clustering)*

***Резюме:*** *В работата е представено едно приложение на разработен наскоро алгоритъм за автоматична клъстеризация на многоспектрални изображения. Подходът се състои в „проектиране” на многомерното изображение в двумерно пространство. За целта се използват т. нар. невронни мрежи тип „ехо” (Echo state networks), наричани за кратко ESN, които са рекуретни невронни мрежи принадлежащи на фамилията „резервоарни” мрежи. ESN мрежите се състоят от генериран на случаен принцип „резервоар” от неврони със съответните връзки помежду им и сигмоидална нелинейност на изходите им (най-често хиперболичен тангенс). За адаптация на равновесните състояния на резервоара към многомерните входни данни се използва т. нар. процедура за „вътрешна пластичност” (Intrinsic Plasticity или кратко IP), чиято първоначална цел е била максимизиране на ентропията на изхода на резервоара. За целите на клъстеризацията ние разглеждаме всички възможни комбинации между всеки два неврона и по-специално на получените след адаптацията на резервоара равновесни състояния на невроните, като ги разглеждаме като двумерни проекции на многомерното изображение. Към така получените проекции се прилага методът наречен „subtractive clustering”, който позволява да се определят автоматично броя и центровете на клъстерите във всяка проекция. Изследвали сме два подхода за избор на най-подходящите двумерни проекции измежду възможните комбинации. Първият подход се основава на определяне на двумерната плътност на разпределение на всяка проекция, броя максимуми в двумерното разпределение и избор на проекциите с най-голям брой максимуми. Вторият подход определя броя на клъстерите във всяка проекция, след което се избират проекциите с максимален брой клъстери. Разработените алгоритми са приложени към многоспектрални изображения на част от територията на България (планински терен в Родопите), получени от Landsat 7 / ETM+. Полученото от алгоритъма разделяне на терена на клъстери е сравнено с данните от регионалната класификация на същия терен.*

# RECURRENT NEURAL NETWORKS FOR AUTOMATIC CLUSTERING OF MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES

**Petya Koprinkova-Hristova[1], Kiril Alexiev[1], Denitza Borisova[2], Georgi Jelev[2], Valentin Atanasov[2]**

*[2]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[1]Institute of Information and Communication Technologies – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: pkoprinkova@bas.bg; dborisova@stil.bas.bg*

***Keywords:*** *multispectral satellite image, data clustering, recurrent neural network, Echo state network, fuzzy C-means*

***Abstract:*** *In the present work, we applied a recently developed procedure for multidimensional data clustering to multispectral satellite images. The core of our approach lays in projection of the multidimensional image to a two dimensional space. For this purpose we used extensively investigated family of recurrent artificial neural networks (RNN) called “Echo state network” (ESN). ESN incorporates a randomly generated recurrent reservoir with sigmoid nonlinearities of neurons outputs. The procedure called Intrinsic Plasticity (IP) that is aimed at reservoir output entropy maximization was applied for adapting of reservoir steady states to the multidimensional input data. Next, we consider all possible combinations between steady states of each two*

*neurons in the reservoir as two-dimensional projections of the original multidimensional data. These low dimensional projections were subjected to subtractive clustering in order to determine number and position of data clusters. Two approaches to choose a proper projection among the all-possible combinations between neurons were investigated. The first one is based on the calculation of two-dimensional density distributions of each projection, determination of number of their local maxima and choice of the projections with biggest number of these maxima. The second one applies clustering to all projections and chooses those with maximum number of clusters. Multispectral data from Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) instrument are used in this work. The obtained number and position of clusters of a multi-spectral image of a mountain region in Bulgaria is compared with the regional landscape classification.*

**Въведение**

Независимо от многобройните разработки [1], клъстеризацията на многомерни данни е все още предизвикателство. Сред множеството подходи за решаването й успешно приложение намират интелигентните методи с използване на размита логика и невронни мрежи. В частност, равновесните състояния на рекурентните невронни мрежи (РНМ) [2-4] са използвани с успех за класификация на данни. За целта РНМ се обучават несупервайзорно, минимизирайки зададена функция на енергията на изхода на невроните с цел настройване на теглата на връзките в мрежата спрямо структурата на данните.

Една сравнително нова и широко изследвана група РНМ, обобщена под името „резервоарни изчисления" [5], е създадена първоначално с цел повишаване скоростта на супервайзорното обучение на РНМ. Една представителна за групата структура, наречена невронна мрежа тип „ехо" (ESN) [6], се състои от рекурентен резервоар от неврони със сигмоидална нелинейност на изходите им. Макар, че като правило връзките в резервоара се генерират на случаен принцип, съществуват редица методи за тяхната настройка спрямо данните, с които ще работи невронната мрежа. Повечето такива методи целят максимизация на ентропията на изхода на резервоара [7, 8]. Тяхната мотивация е свързана с известните биологични механизми на промяна на възбудимостта на невроните в съответствие с разпределението на входните стимули [9]. За целта се добавя допълнителен параметър наречен праг (bias), който „премества" работната точка на резервоара в желаната посока. В [9] е предложен градиентен алгоритъм, наричан „Подобряване на вътрешната пластичност" (Intrincic plasticity, или IP), който настройва стойността на праговите параметри, както и на допълнително въведения параметър на „усилване" (gain) за всеки неврон. Цел на този алгоритъм е постигане на желано разпределение на изхода на резервоара. В [10] е експериментално доказано, че един страничен ефект на този алгоритъм е подобряване устойчивостта на резервоара дори и при генерирани първоначално неустойчиви резервоари. По време на изследванията как точно IP алгоритъма влияе на устойчивостта беше наблюдаван и друг интересен ефект: равновесните състояния на невроните бяха не само преместени, но и концентрирани в няколко различни области на многомерното пространство. Това постави въпроса възможно ли е да се използва този ефект за клъстеризационни цели? Подобна, но не идентична идея вече е използвана в [11] за извличане на „скритите" характеристики на изображения, които се използват в последствие като „черти" (features) подавани на входа на слоеста невронна мрежа използвана за класификацията им.

В [12] сме използвали тази особеност на резервоара, но от друга гледна точка: възможните комбинации между равновесните състояния на всеки два неврона в резервоара, получени в следствие на представянето на многомерните входни данни на ESN, бяха разглеждани като двумерни проекции на многомерния входен вектор, които могат да бъдат използвани в последствие за целите на клъстеризация в двумерното пространство. Беше показано, че освен подобрената устойчивост, настроеният с IP алгоритъм резервоар притежава и по-добри клъстеризационни свойства, в следствие на което беше разработена клъстеризационна процедура за многомерни данни. С нарастването на размера на резервоара обаче, броят на възможните двумерни проекции се увеличава драстично. Поради това беше необходимо да се търси подходяща процедура за избор на най-подходящата(те) двумерни проекции сред множеството възможни. Първоначалната идея [12] беше да се използва плътността на разпределение на изхода на всеки неврон и избор на проекция между невроните с най-голям брой максимуми на това разпределение. Тази процедура обаче изисква подходящ избор на широчината на използваните за целта kernel функции. В по-нататъшните изследвания в [13] са използвани двумерните плътностни разпределения на всяка двумерна проекция и е използвана процедурата от [14], която определя автоматично ширината на kernel функциите. Тази процедура е приложена за клъстеризацията на многоспектралните спътникови изображения. Резултатите показаха, че с нея се избира еднозначно една от възможните двумерни проекции на многомерния входен вектор.

Въпреки това въпросът за избор на подходящата двумерна проекция все още не еднозначно решен, поради което тук са сравнение двата алгоритъма от [12] и [13], като са показани предимствата и недостатъците им. Сравнени са и резултатите, получени с различен брой неврони в резервоара на ESN, като е показано, че колкото по-голям е той, толкова повече отделни класове могат да бъдат разграничени. За целта на изследването са използвани многоспектрални изображения получени от спътника Landsat 7, сензор Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Получените резултати от клъстеризацията на изображения от планински регион в Родопите са сравнени с регионалната класификация на терена и с негови снимки. Наблюдава се скриване или грешна класификация на част от обектите в региона в резултат на сенките в изображенията, но с намаляването на броя разграничени клъстери намалява и частта от изображението с грешно класифицирани обекти. При по-голям брой клъстери част от грешно класифицираните преди обекти попадат в нов клъстер, което също води до намаляване на грешно класифицираните обекти. При по-малък брой клъстери наклоните се очертават по-ясно, докато при разграничаване на повече клъстери се отчитат повече детайли от земното покритие.

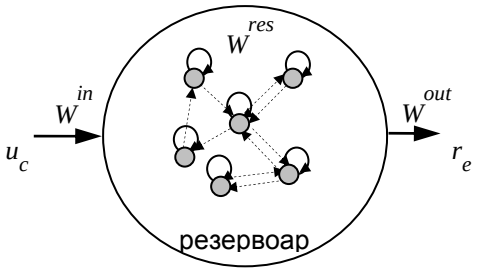
## 1. Алгоритъм за клъстеризация

### 1.1 ESN и IP подобрение на резервоара

Фигура 1 представя структурата на ESN резервоар. Неговата динамика се описва както следва [6]:

(1) $$r(k) = f^{res}\left(W^{in}u(k) + W^{res}r(k-1)\right)$$

където $u(k)$ е входен вектор на резервоара с размерност $n_u$, $r(k)$ е векторът на състоянието на невроните в резервоара с размерност $n_r$; $W^{in}$ и $W^{res}$ са $n_r \times n_u$ и $n_r \times n_r$ матрици, които се генерират на случен принцип. Невроните в резервоара имат сигмоидална функция на изхода $f^{res}$, която най-често е хиперболичен тангенс.




Фиг. 1. Структура на невронна мрежа тип „ехо“ (ESN)

В [8, 9] са въведени два нови параметъра на резервоара: усилване (gain) $a$ и праг (bias) $b$ (и двата с размерност $n_r$). Така изходът на резервоара се модифицира, както следва:

(2) $$r(k) = f^{res}\left(diag(a)W^{in}u(k) + diag(a)W^{res}r(k-1) + b\right)$$

Двата нововъведени параметъра са обект на процедура за настройване [8, 9], наречена IP подобрение. Тя представлява градиентен алгоритъм, който минимизира дадена мярка за разликата между фактическото $p(r)$ и желаното $p_d(r)$ вероятностно разпределение на изхода на резервоара $r$. Тази мярка е разстоянието на Kullback-Leibler ($D_{KL}$) между двете разпределения, както следва:

(3) $$D_{KL}\left(p(r), p_d(r)\right) = \int p(r)\log\left(\frac{p(r)}{p_d(r)}\right)$$

Според [9] подходящото целево разпределение е това, което максимизира информацията на изхода на невроните. Доказано е, че при нелинейна функция на изхода на резервоара хиперболичен тангенс е желателно целевото разпределение да бъде Гау сово.

Според уравнение (2) равновесното състояние на резервоара $r_e$ при константен входен вектор $u_c$ е:

(4) $$r_e = \tanh\left( diag(a)W^{in}u_c + diag(a)W^{res}r_e + b \right)$$

Тъй като $W^{in}$=const., първият член в скобите също е константен ($u_c$ =const.). Следователно уравнение (4) може да се преобразува както следва:

(5) $$r_e = \tanh\left( diag(a)W^{res}r_e + b_{u_c} \right), \quad b_{u_c} = diag(a)W^{in}u_c + b$$

Следователно равновесното състояние ще бъде различно за различните входни вектори. Освен това, колкото по-близки са входните вектори във входното пространство, толкова по-близки ще са и съответстващите им равновесни състояния - факт, който може да се използва за целите на клъстеризацията.

### 1.2 Процедура за клъстеризация

Получените в резултат на IP обучението равновесни състояния (5) се използват за генериране на множество двумерни проекции на оригиналните многомерни входни данни, както следва [12]:

- Генерира се ESN резервоар със случайни връзки и се обучава с IP алгоритъма представяйки на входа му всички входни многомерни вектори.
- Определят се равновесните състояния на настроения резервоар за всеки входен вектор от многомерните данни.
- Всички равновесни състояния се мащабират в интервала [-1, +1].
- Прилага се процедурата за subtractive клъстеризация [15] към избрани двумерни проекции, за да се определи автоматично положението и броя на клъстерните центрове. Известно е, че процедурата за subtractive клъстеризация е най-добрият избор при неизвестен брой на търсените клъстери [16].

Колкото по-голям е броя неврони в резервоара, толкова по-голям е броят на възможните двумерни проекции. Следователно е необходимо да се изберат малко от тях, за да се определи структурата на многомерните данни. Изследвани са следните два подхода:

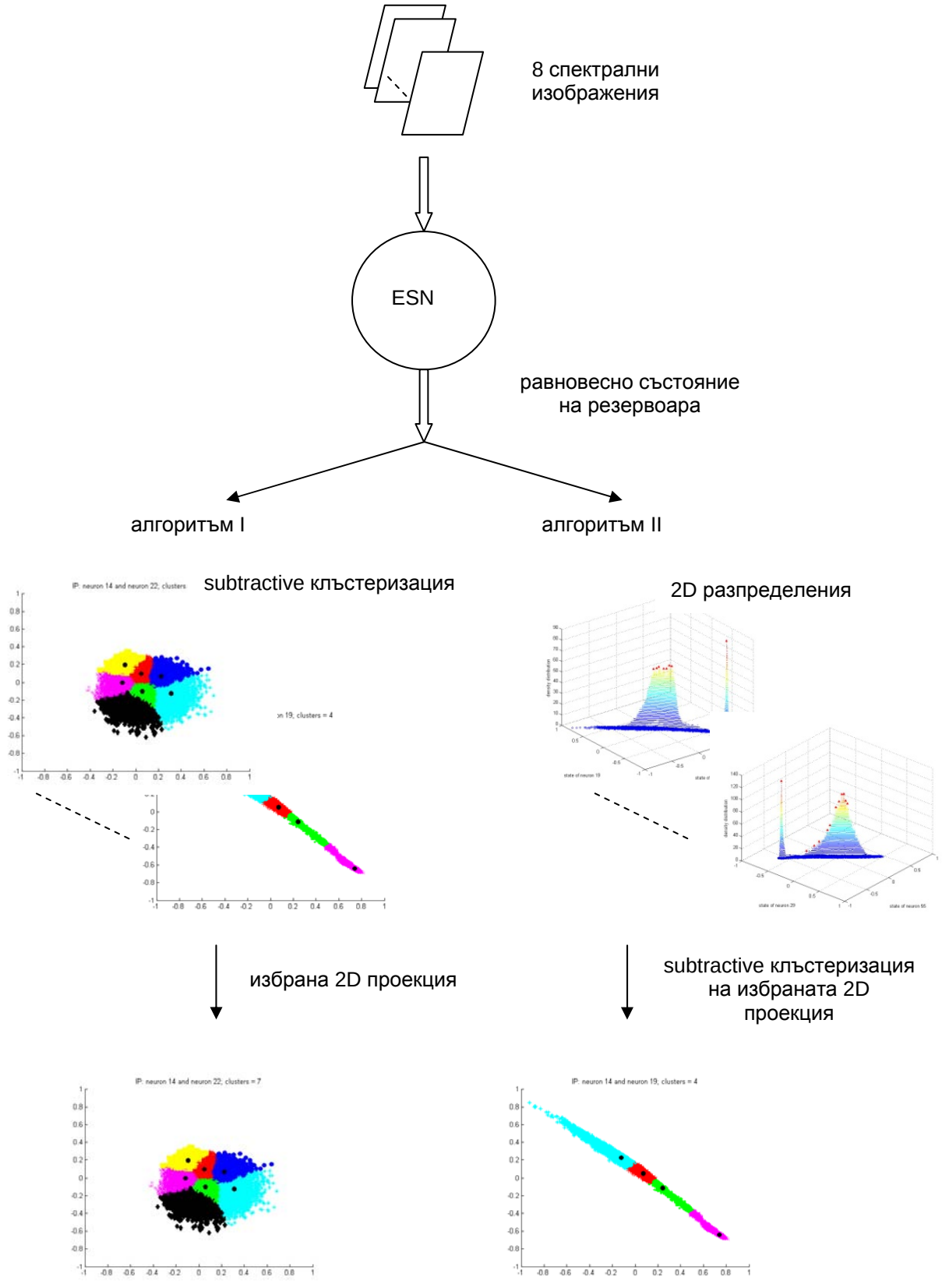
I. Прилагане на процедурата subtractive клъстеризация към всички възможни двумерни проекции и избор на тази/тези, които имат максимален брой клъстери.

Този подход изисква много време и изчислителни ресурси, понеже отчита всички възможни двумерни проекции, но за сметка на това позволява да се избере проекцията с максимален брой клъстери, която се предполага, че прави най-финото разделяне на многомерните данни.

II. Прилагане на процедурата subtractive клъстеризация само към избрани двумерни проекции на базата на двумерните плътности на разпределението на всички проекции, както следва:

- Определят се двумерните плътности на разпределението на всички възможни двумерни проекции използвайки алгоритъма описан в [14] и кода на Матлаб, който го реализира от [17];
- Определят се локалните максимуми на всяко разпределение използвайки кода на Матлаб от [18];
- За клъстеризация се избират проекциите с най-голям брой локални максимуми;

Този подход изисква по-малко време и изчислителни ресурси, но има повече стъпки. Това се дължи на факта, че най-бавната стъпка и в двата алгоритъма е процедурата за subtractive клъстеризация. Но тази процедура не гарантира избор на проекция с максимален брой клъстери, както се вижда и от нашия опит. Тъй като няма правило какъв брой клъстери е реалистичен за



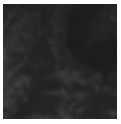
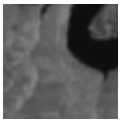
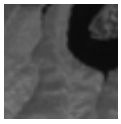
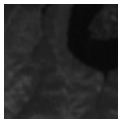

Фиг. 2. Алгоритми за клъстеризация

даден набор многомерни данни, за някои приложения този подход може да постигне по-добър резултат с по-малко изчисления. Фигура 2 представя двата алгоритъма в паралел.

### 1.3 Многоспектрални изображения

Чрез ресурсния спътник Landsat, на чиято платформа са разположени серия сензори със средна пространствена разделителна способност, е събрана най-дългата непрекъсната колекция от данни от дистанционни изследвания на земната повърхност. Близо четири десетилетия се осигурява уникален ресурс за тези, които работят в селското стопанство, геологията, горското стопанство, регионалното планиране, образованието, картографирането, глобалните изследвания на климата и др. Изображенията от Landsat също така са безценни за реакцията при спешни случаи и помощ при бедствия. Тъй като е съвместна инициатива между геоложката служба на САЩ (USGS) и националната аерокосмическа администрация (NASA), проектът Landsat и данните, които събира, подкрепят правителството, търговски, промишлени, граждански, военни и образователни общности в Съединените щати и по света. В тази работа се използват многоспектрални данни от Landsat 7-сензор "Подобрен Тематичен Картограф Плюс" (ETM+). Изображенията от Landsat ETM+ се състоят от осем спектрални канала с пространствена разделителна способност от 30 м за всички канали от 1 до 7. За всички канали могат да се регистрират едно от двете нива на усилване (високо или ниско) с цел подобряване на радиометричната чувствителност и на динамичния диапазон, докато за канал 6 се регистрират едновременно и двете нива за всички сцени. Приблизителният размер на една сцена е 170 км в посока север-юг на 183 km в посока изток-запад. Всички стандартни данни са обработени със системата Level 1 Product Generation System (LPGS) и имат следните параметри: ниво 1 T (L1T) – въведена корекция за релеф; формат GeoTIFF; преработен спектрален куб чрез Cubic Convolution (CC); 16-битови стойности на пиксела. В Таблица 1 се представени характеристиките на сензора ETM+, разположен на борда на спътника Landsat 7, за всички използвани спектрални канали и съответните спектрални изображения.

Табл. 1. Характеристики на спътника Landsat 7 ETM+ и съответните спектрални изображения

| *Канал 1*<br><br>*(син)*<br>*0.45-*<br>*0.52μm* | *Канал 2*<br><br>*(зелен)*<br>*0.52-*<br>*0.60μm* | *Канал 3*<br><br>*(червен)*<br>*0.63 -*<br>*0.69μm* | *Канал 4*<br>*(близък*<br>*инфра-*<br>*червен)*<br>*0.76-*<br>*0.90μm* | *Канал 5*<br>*(среден*<br>*инфра-*<br>*червен)*<br>*1.55-*<br>*1.75μm* | *Канал 6*<br>*(ниско*<br>*ниво)*<br>*(топлине*<br>*н)*<br>*10.40-*<br>*12.50μm* | *Канал 6*<br>*(високо*<br>*ниво)*<br>*(топлинен)*<br>*10.40-*<br>*12.50μm* | **Канал 7**<br>**(среден**<br>**инфра-**<br>**червен)**<br>**2.09-**<br>**2.35μm** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |  |  |  |

### 2. Резултати и дискусия

### 2.1 Резултати от клъстеризацията

Обучени са две неврони мрежи тип „exo" с различен размер на резервоара – 20 и 100 неврона – използвайки многоспектралните спътникови изображения, описани в предходната секция. Размерността на входния вектор на ESN е $n_U$=8 съобразно броя на спектралните изображения от Таблица 1. Всяко изображение е с размерност 50x50 пиксела. Така многомерният набор данни съдържа 2500 входни вектора с размерност $n_U$ всеки.

Таблица 2 обещава избраните двумерни проекции на нашето многоспектрално изображение от Таблица 1 с използването на двата описани алгоритъма. Както се вижда от таблицата, алгоритъм I избира проекции с по-голям брой клъстери в сравнение с алгоритъм II. Но докато алгоритъм II избира само една проекция от всички възможни, алгоритъм I ни дава четири възможности в случая с по-големия резервоар. За сравнение сме приложили алгоритъма за subtractive клъстеризация [18] към оригиналния набор от 8 спектрални изображения, т.е. към 8-мерния набор данни. Получените като брой и позиции клъстери са показани на последния ред в

Табл. 2. Получени класификации на терена от многоспектралните изображения в сравнение с ортофото картата на терена от България [22] и класификацията на терена според CORINE [23]

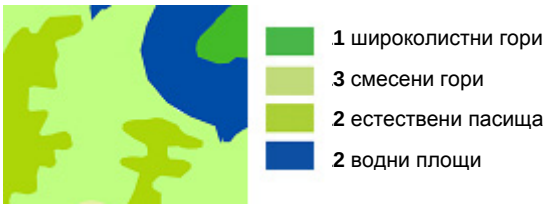
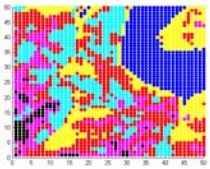
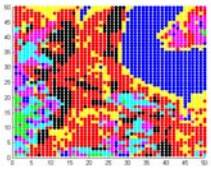
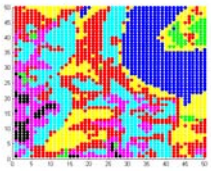
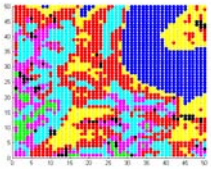
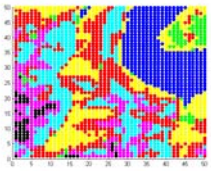
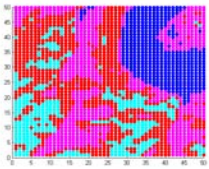
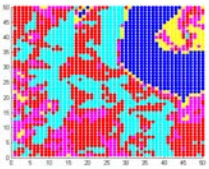
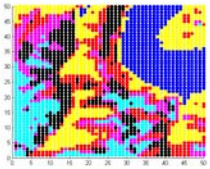
<table>
<tr><th colspan="2">Ортофото карта 2010</th><th colspan="2">CORINE 2000</th></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><th colspan="2">Алгоритъм I</th><th colspan="2">Алгоритъм II</th></tr>
<tr><th>ESN с 20 неврона<br>6 клъстера</th><th>ESN със 100 неврона<br>7 клъстера</th><th>ESN с 20 неврона<br>4 клъстера</th><th>ESN със 100 неврона<br>5 клъстера</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  <br>  <br>  <br>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><th colspan="4">Subtractive клъстеризация на 8D оригиналните данни<br>6 клъстера</th></tr>
<tr><td colspan="4">  </td></tr>
</table>

Таблица 2. Те са сравними с резултатите получени от алгоритъм I и ESN с по-малкия резервоар. При по-голям размер на резервоара се увеличава и броят на клъстерите. Следователно предварителната обработка на многомерните данни с рекурентната невронна

мрежа и генерирането на двумерните проекции ни позволява да получим по-детайлна клъстеризация на многомерните данни.

### 2.2 Сравнителни резултати

Верификацията на новопредложената процедура за клъстеризация с рекурентни невронни мрежи тип „ехо“ е направена посредством сравнения на получените резултати с наличните карти от географските информационни системи на Министерството на регионалното развитие и по-специално с класификацията на земното покритие при минимум отчетена площ 25 хектара. Численото сравнение на нашите резултати с картите от CORINE е невъзможно на практика поради различната разделителна способност на използваните изображения. Според картата на CORINE регионът се разделя на 4 клъстера (Таблица 2). Алгоритъм II с 20 неврона в резервоара на ESN дава също 4 клъстера, които са доста близки визуално до тези от CORINE. Това ни дава увереност, че нашият алгоритъм работи коректно.

Алгоритъм I при двата размера на резервоара - 20 и 100 неврона, както и алгоритъм II при резервоар от 100 неврона откриват по-голям брой клъстери. Поради това ние сравнихме тези резултати с ортофото картата на региона, която има по-високо пространствено разрешение от 0.5x0.5m. Въпреки, че е трудно да се свърже всеки от получените клъстери с различните типове земно покритие, ние предполагаме, че тази класификация е в състояние да различава повече и по-специфични детайли от многоспектралните изображения.

## 3. Заключение

Приложението на наскоро разработената процедура за клъстеризация на многомерни данни, която използва невронни мрежи тип „ехо“ и алгоритъма за subtractive клъстеризация, към многоспектралните изображения показа сравнително добра способност за класификация на терена в зависимост от земното покритие. По-нататъшно подобрение на резултатите може да бъде постигнато с подходящ избор само на част от каналите, които да се използват при клъстеризацията с цел да се откриват специфични типове земно покритие от спътниковите данни. В нашата бъдеща работа ние планираме да приложим спектрометрични измервания на терена и да сравним нашата класификация с предварително известната информация за наблюдаваните обекти. Алгоритмите, с които се откриват повече от четири клъстера (Таблица 2) биха могли да се използват за по-детайлна класификация на земното покритие в сравнение с тази на CORINE или биха могли да се използват за пето ниво на CORINE класификацията.

**Благодарности**

Изследването в настоящата работа е проведено в рамките на договор ДФНИ – И01/8, 2012, между ИКИТ – БАН и Фонд “Научни изследвания”.

**Литература:**

1. Jain, A.K., Murty, M.N. and Flynn, P.J., “Data Clustering: A Review,” ACM Computing Surveys, 31(3), 264-323 (1999).
2. Ackley, D.H., Hinton, G.E. and Sejnowski, T.J., “A learning algorithm for Boltzmann machines,” Cognitive Science, 9, 147-169 (1985).
3. Hinton, G.E. and Salakhutdinov, R., “Reducing the dimensionality of data with neural networks,” Science, 313(5786), 504-507 (2006).
4. Hopfield, J.J., “Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities,” Proc. of National Academy of Sciences USA, 79, 2554-2558 (1982).
5. Lukosevicius, M. and Jaeger, H., “Reservoir computing approaches to recurrent neural network training,” Computer Science Review, 3, 127-149 (2009).
6. Jaeger, H., “Tutorial on training recurrent neural networks, covering BPPT, RTRL, EKF and the "echo state network" approach,” GMD Report 159, German National Research Center for Information Technology (2002)
7. Ozturk, M., Xu, D. and Principe, J., “Analysis and design of Echo state networks,” Neural Computation, 19, 111-138 (2007).
8. Steil, J.J., “Online reservoir adaptation by intrinsic plasticity for back-propagation-decoleration and echo state learning,” Neural Networks, 20, 353-364 (2007).
9. Schrauwen, B., Wandermann, M., Verstraeten, D., Steil, J.J. and Stroobandt, D., “Improving reservoirs using intrinsic plasticity,” Neurocomputing, 71, 1159-1171 (2008).
10. Koprinkova-Hristova, P. and Palm, G., “ESN intrinsic plasticity versus reservoir stability,” Lecture Notes in Computer Science, 6791, 69-76 (2011).

11. Woodward, A. and Ikegami, T., “A reservoir computing approach to image classification using coupled echo state and back-propagation neural networks,” Proc. of 26th Int. Conf. on Image and Vision Computing, Auckland, New Zealand, 543-458 (2011).
12. Koprinkova-Hristova, P. and Tontchev, N., “Echo state networks for multi-dimensional data clustering,” Lecture Notes in Computer Science, 7552 LNCS (PART 1), 571-578, (2012).
13. Koprinkova-Hristova, P., Angelova, D., Borisova, D., Jelev, G., “Clustering of spectral images using Echo state networks,” Proc. IEEE INISTA, ISBN: 978-1-4799-0661-1 (2013), DOI: 10.1109/INISTA2013.6577633.
14. Botev, Z.I., Grotowski, J.F. and Kroese, D.P., “Kernel density estimation via diffusion,” The Annals of Statistics, 38(5), 2916–2957, (2010).
15. Eli Billauer's home page, http://billauer.co.il/peakdet.html (accessed 2013).
16. Hammouda, K., “A comparative study of data clustering techniques,” SYDE 625: Tools of Intelligent Systems Design. Course Project, Aug. 2000.
17. Fast and accurate state-of-the-art bivariate kernel density estimator by Z. Botev, http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/17204-kernel-density-estimation (updated 2009).
18. Yager, R. and D. Filev, “Generation of Fuzzy rules by mountain clustering,” Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2(3), 209-219, (1994).
19. Landsat Missions, http://landsat.usgs.gov/ (accessed 2013).
20. U.S. Geological Survey (USGS) Global Visualization Viewer, http://glovis.usgs.gov/ (accessed 2013).
21. USGS (EROS) Center, http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/TM (accessed 2013).
22. Ministry of Agriculture and Food, http://www.mzh.government.bg/MZH/bg/ShortLinks/cross_compliance/ Cifrovaortofotokarta.aspx (accessed 2013).
23. MRRB GIS System security division, http://gis.mrrb.government.bg/pmapper/map_separate-legend.phtml?winsize=medium&language=bg&config=separate-legend (accessed 2013).

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# LAND SURFACE TEMPERATURE OF URBAN AREAS USING THERMAL REMOTE SENSING DATA: STATE OF THE ART, PROBLEMS AND PERSPECTIVES

**Ivan Yanev, Lachezar Filchev**

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

***Keywords:*** *Land Surface Temperature, LST, Urban Heat Island, UHI, SUHI, Thermal Infrared Remote Sensing, TIR RS*

***Abstract:*** *In the present study is attempted a comprehensive overview of the applications of land surface temperature (LST) as a parameter for analysis and evaluation in urban areas. Were examined state of the problem through a keyword search in the bibliographic database Scopus. Presented are various applications of thermal infrared remote sensing (TIR RS) data as a whole and in particular data on surface temperature in the urban environment. A brief overview of the most commonly used TIR RS sensors is made. Mentioned are some of the main problems and obstacles in the use of thermal remote sensing data in urban areas. Finally are presented the possibilities for future development of TIR RS.*

# ТЕМПЕРАТУРА НА ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ В УРБАНИЗИРАНИ ТЕРИТОРИИ ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА ТЕРМАЛНИ ДИСТАНЦИОННИ ДАННИ: СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА, ПРОБЛЕМИ И ПЕРСПЕКТИВИ

**Иван Янев, Лъчезар Филчев**

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

***Ключови думи:*** *Температура на земната повърхност, LST, Градски топлинни острови, UHI, SUHI, Термални дистанционни изследвания, TIR RS*

***Резюме:*** *В настоящото проучване е направен опит за цялостен обзор на приложенията на температурата на земната повърхност, като параметър за анализ и оценка, в градски територии. Изследвани са състоянието на проблема посредством търсене по ключови думи в библиографската база данни Scopus. Представени са различни приложения на термалните данни от дистанционни изследвания като цяло и в частност на данните за температура на земната повърхност в градска среда. Направен е кратък обзор на най-често използваните термални сензори към момента. Споменати са някои от основните проблеми и препятствия при използването на термални данни от дистанционни изследвания в урбанизирани територии. В заключение са представени възможностите за бъдещото развитие на термалните дистанционни изследвания.*

## Introduction

Remote sensors measures the temperature of surface, directly exposed to the satellite sensor's field of view. Land surface temperature (LST) is defined as a skin temperature of the surface (roofs, roads, trees, grass, water) (Qin and Karnieli, 1999; Klok et al, 2012). Therefore, main products of a thermal sensor observation are LST and sea surface temperature (SST). They are a base for further analysis in many different topics although thermal infrared (TIR) remote sensing (RS) is not as popular as other RS application areas (optical, microwave). In the Fuegosat Synthesis Study, a project funded by the European Space Agency (ESA), the TIR RS applications are classified in different topics and subtopics including 39 different applications (Sobrino et al, 2013).

LST have been widely used to analyze surface urban heat island (SUHI) which refers to the relative warmth of the surface, because the variable to be analyzed is the surface temperature, but not the air temperature (Voogt and Oke, 2003). LST is an important parameter used in many disciplines such as: climatology, including urban climatology, heat island and heat sink detection; hydrology, water temperature pattern, water mixing, freeze-thaw processes; agriculture, vegetation monitoring, volcano monitoring, geothermal analysis, fires and burned area detection, pipeline monitoring, soil moisture data, industrial areas observation (Zhan et al, 2013; Kuenzer et al, 2013).

Obtaining LSTs over extensive terrains was impractical until the advancement of satellite thermal sensors (Zhan et al, 2013). Today there are many different TIR sensors and although they have better spatial resolution, from earliest thermal satellite data (7-8 km per pixel), it does not meet the users requirements yet. Currently the highest spatial resolution of civilian RS satellites has Landsat's ETM+ sensor with 60 m in the thermal band. It is applicable for many different topics and though this is the most used data there is still a necessity of better spatial and temporal resolution.

**Land surface temperature of urban areas: state of the art**

Nowadays, a great attention has been paid to the thermal environment due to greenhouse effect and global warning. It not only refers to the air temperatures, but also the land surface temperatures (LSTs) (Zhang et al, 2006, Falahatkar et al, 2011). Human settlements and especially, large urban areas significantly modify the environment (Pongracz et al, 2010). The most documented and unquestioned urban climatic effect is the urban influence on the surface temperature exemplified by the urban heat island (Atwater, 1975). Urbanization process leads to two essential changes: the changes of materials that cover the earth's surface affecting the absorption of solar energy and the changes of the shapes of the earth's surface affecting the air flow (Omija, 1991).

Concerning privately the urban areas remotely sensed surface temperature is very useful for mapping and estimating surface heat islands (SHI), often named surface urban heat islands (SUHI), or urban heat islands (UHI). LST and emissivity data are used in urban areas mainly for analyzing LST patterns and its relationship with surface characteristics and for assessing urban heat island (UHI) (Quattrochi and Luvall, 1999; Weng, 2009). Other typical applications of retrieving LST over the cities are: vegetation mapping; Land Cover Land Use (LCLU) changes; building information including 3D mapping, energy leaks in buildings, cooling/heating degree day estimation; analyze the urbanization process; urban climatology (urban microclimate dynamic, urban surface-atmosphere exchange).

In our study we analyzed all the articles in the Scopus database that correspond to the following search criteria: "thermal remote sensing urban" AND "LST" OR "land surface temperature" (Fig. 1)

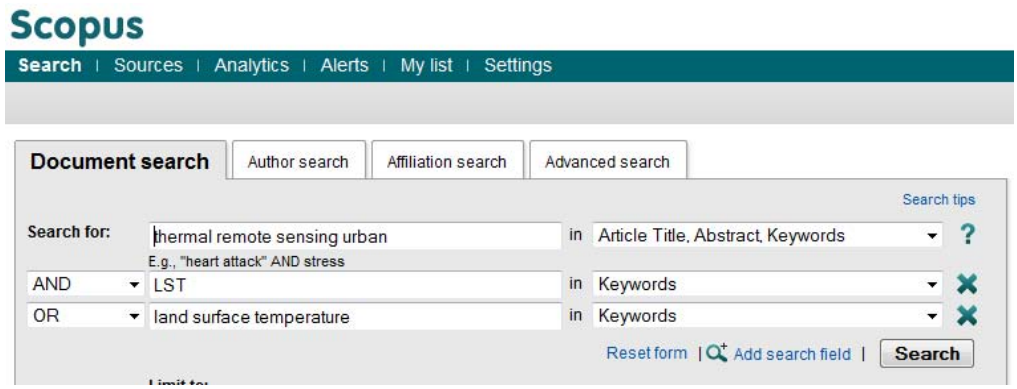



Fig. 1. Used search criteria in Scopus database

TIR RS research and applications have gained momentum in the last decade. And while in the earlier years of TIR RS investigations there have been several articles per year today they are several dozen every year. The LST trade line follows this represented from the TIR documents (Fig. 2)

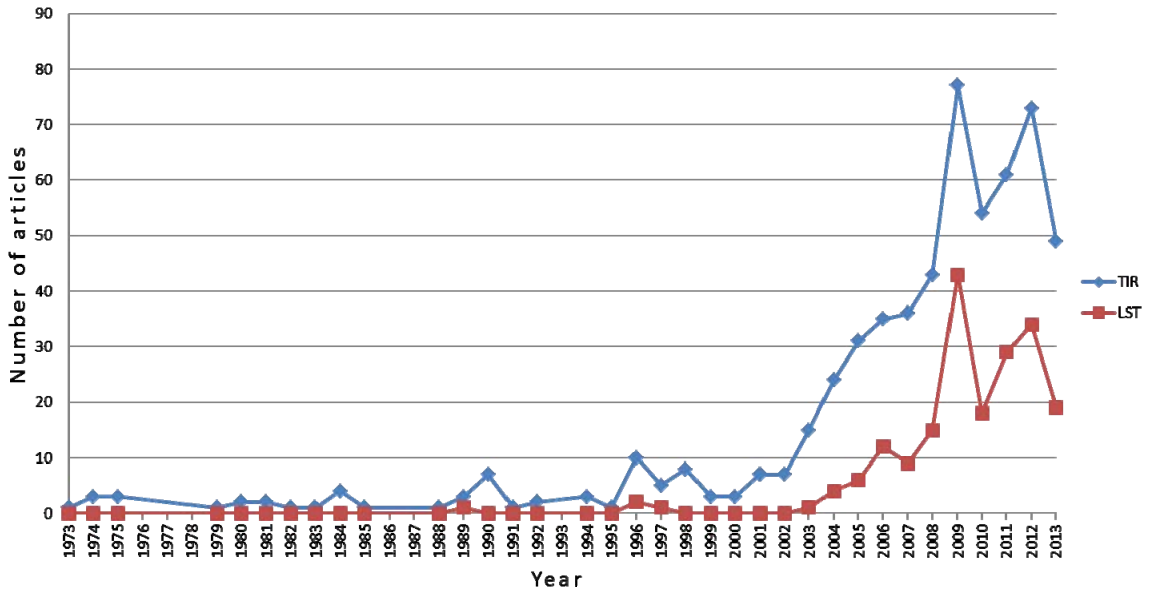



Fig. 2. Number of articles by year for LST and TIR

LST and UHI/SHI are the most investigated area in TIR RS of urban areas. In the Scopus citation database 55 % from the articles, related to the search phrase “Thermal remote sensing urban”, contain at least one of these words/phrases “LST, land surface temperature, UHI, urban heat island” in there keywords section. There are total of 194 documents related to the defined search. The majority of the documents relate to the UHI/SUHI including: 1) Mapping of LST and UHI; 2) Impact of urbanization/urban growth on the LST/UHI; 3) LU/LC changes; 4) Impact of one surface type (green areas, impervious surfaces) on the thermal environment

A few documents relate to LST retrieval methods plus downscaling LST data. There is also several “review” documents and few documents relating to LST dynamic. The total number of documents related to a given topic is represented in (Fig. 3)

| LST applications | Number of documents |
|---|---|
| UHI/SUHI | 87 |
| LULC | 68 |
| LST retrieval | 14 |
| Vegetation maps | 8 |
| Landscape metrics | 4 |
| Air quality | 2 |
| Soil moisture | 2 |
| Growing degree day | 1 |
| Epidemiology | 1 |
| LST accuracy | 1 |
| Water management | 1 |

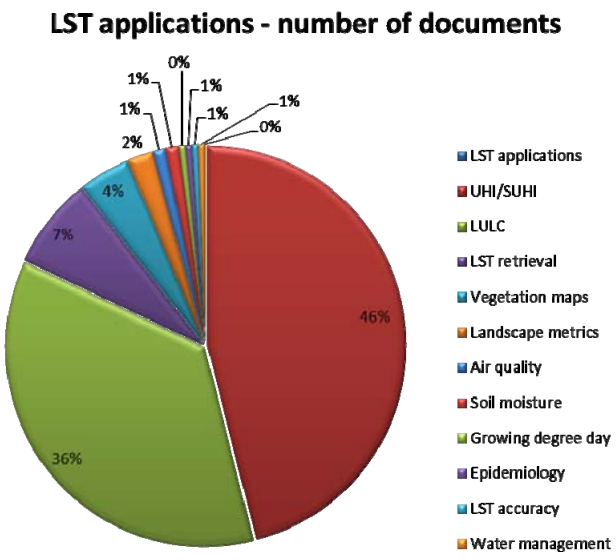



Fig. 3. Total number of documents related to a given topic

A large variety of instruments acquiring data in the TIR part of the electromagnetic spectrum exist. They vary from low spatial resolution (SR) (tens to one kilometer pixel) sensors with daily to hourly temporal resolution (MODIS, AVHRR) to medium SR sensors (~60 m) and with time revisit rates enabling only one to two observations per month (ETM+, ASTER). The most common sensors used for LST retrieval are presented on (Fig. 4). Data investigated by Kuenzer et al., (2013) based on remote sensing SCI journals from the past decade.

| Sensor | SR | Revisit | Platform/Satellit | Agency |
|---|---|---|---|---|
| MSG- | 1-3 km | <1 d | Meteosat-8, 9, 19 | ESA/EUMETSAT |
| AVHRR | 1.1 km | < d | NOAA | NOAA, |
| MODIS | 1 km | 4 per | TERRA, AQUA | NASA |
| AATSR | 1 km | 35 d | Envisat | ESA, UKSA |
| InfraredCam | 300 m | 31 d | HJ-1B | CRESDA, CAST, |
| MERSI<br>MVISR<br>IVISSR | 250 m<br>1.1 km<br>5 km | 1 d<br>3-4 d<br>1 d | FengYun | NRSCC, CAST,<br>NSM, CMA |
| IRMSS | 160 m | 26 d | CBERS-2 | CRESDA, INPE |
| TM | 120 m | 16 d | Landsat 5 | USGS, NASA |
| ETM+ | 60 m | 16 d | Landsat-7 | USGS, NASA |
| ASTER | 90 m | 16 d | Terra | NASA |

Fig. 4. Most common sensors used for LST retrieval (Kuenzer et al., 2013)

In the Scopus analyzed documents the most used sensors are these with the highest spatial resolution. Therefore, the Landsat's sensors are "the leader" followed by ASTER and MODIS. Of course it strongly depends on the scale of the study. For instance, for large scale investigations coarse spatial resolution is not an obstacle so the most used sensors here are MODIS and NOAA AVHRR. The following figure represents the TIR sensors used in the Scopus articles (Fig. 5)

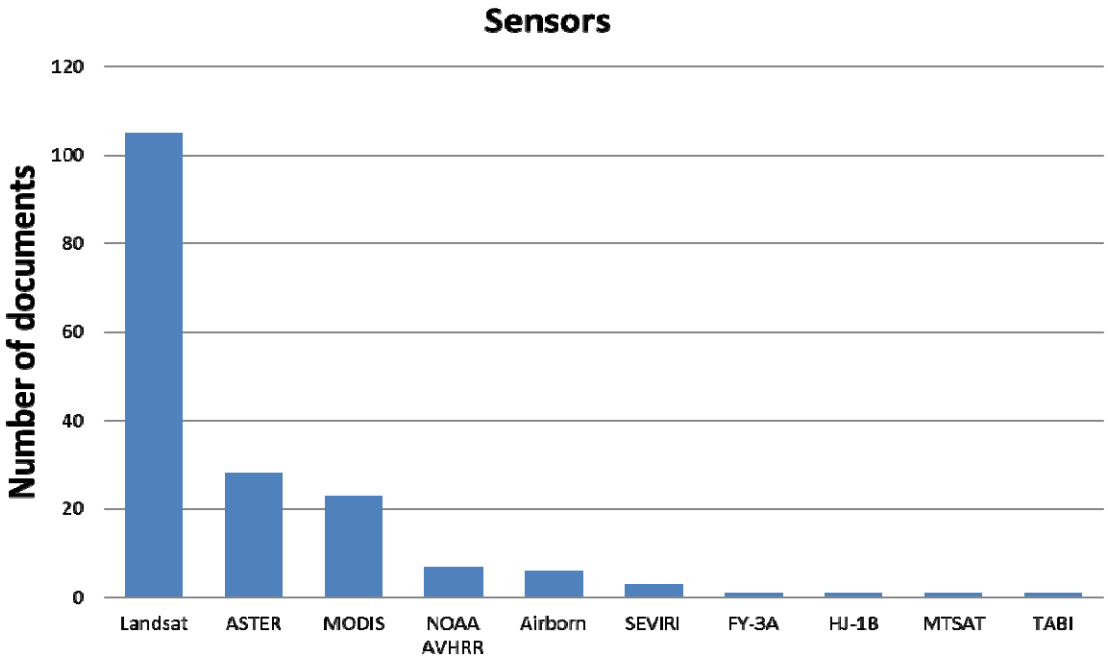



Fig. 5. The most used TIR sensors in the Scopus articles query

**Problems**

The main problem of TIR RS is the spatial resolution (SR). The TIR SR of currently operating civilian satellites is not high enough, especially when studying urban areas where the land cover is very variable. The lack of common SR leads to the use of different "downscaling" resolution algorithms (Zakšek and Oštir, 2012; Stathopoulou and Cartalis, 2009; Zhiwei et al. 2009, Cao et al. 2012).

The temporal resolution (TR) is another problem especially when it comes to study dynamic processes. It is difficult for example to investigate the diurnal LST dynamic in the cities. The TIR instruments with “high” SR take one to two observations per month. Generally, the better SR the worse TR and vice versa.

Another thing that we have to have in mind is urbane surface area and instantaneous field of view (IFOV). For retrieving LST in urban area we need a remote sensing instrument that “sees” the Earth surface in nadir. This is another limiting factor when we choose scenes for a particular study area.

**Perspectives**

Concerning spatial and temporal resolution of RS data, the TIR RS community needs a satellite mission with high SR and nearly daily revisit time. Currently there are several projects which are trying to meet the TIR users expectations. The MicroSatellite for Thermal Infrared Ground Surface Imaging (MISTIGRI) project is cooperation between France (CNES) and Spain (Univ. Valencia). It is currently completed Phase-A. TIREX (Thermal infrared explorer) is a proposal presented in a recent (2010) ESA’s call for Earth Explorer Opportunity Missions, although it was finally rejected for Phase-A (Sobrino et al., 2013). Both missions are expected to have spatial resolution approximately 50 m and revisit time 1 or 2 days. The Hyperspectral Infrared Imager (HyspIRI) mission is a work of NASA/JPL (Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology) and it is going to produce TIR data with 60 m SR and 5 days revisit time. The mission is currently at the study stage.

Further research in the other fields of LST applications required. Aforementioned, TIR RS has large variety of applications but a very dense concentration in narrow range topics. This is a good perspective to combine the TIR building analysis, energy leaks in buildings, cooling/heating degree day estimation, with the possibilities of the newest 3D modeling products. Another niche for extensive research are the dynamic processes in the urban microclimate, especially LST dynamics.

In the sense of some of the disadvantages of currently available TIR RS data a good decision are Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). They are very cost effective for small to medium scale projects, they have much better (compared to spaceborn and ground based observations) spatial resolution which depends on the flight height and the desired area can be investigated – also repeatedly - in a relatively short amount of time (Vasterling and Meyer, 2013). Also UAVs are capable to collect data from inaccessible and risk prone areas.

**Conclusion**

The TIR RS data, and LST parameter in particular, have a lot of applications in many different disciplines. Although the LST parameter is used mainly in heat islands studies as well as impact of urbanization on the LST and respectively on UHI, LU/LC changes, impact of one surface type on the thermal environment. With the advent of new technologies and wider use of UAVs, it is needed to address and develop new algorithms and technologies for studying LST dynamics, internal building thermal environment and energy losses, human comfort and health as a result of thermal pollution as well as the other application areas mentioned above.

In conclusion the observed increase of TIR RS investigations and articles will continue with a greater pace in the near future, due to the fact that TIR is a relatively new to RS and its application areas and scientific domains become more technologically and scientifically oriented in a climate of more and stronger links between the industry and academia.

**References:**


1. A t w a t e r, M. A. "Thermal Changes Induced by Urbanization and Pollutants." Journal of Applied Meteorology, 14, 1975, pp. 1061-1071.
2. F a l a h a t k a r, S., S. M. H o s s e i n i, and A. R. S o f f i a n i a n. "The relationship between land cover changes and spatial-temporal dynamics of land surface temperature." Indian Journal of Science and Technology 4(2), 2011, pp. 76-81.
3. K l o k, L., S. Z w a r t, H. V e r h a g e n and E. M a u r i. (2012). The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban surface characteristics. Resources, Conservation and Recycling, 64, 23–29.
4. O m l j a. T. (1991) Changing Tokyo metropolitan area and its heat island model. Energy Builgings. 15-16, 191-203.
5. P o n g r á c z, R., J. B a r t h o l y, and Z. D e z s ő. "Application of remotely sensed thermal information to urban climatology of Central European cities." Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C 35(1), 2010, pp. 95-99.
6. Q i n, Z. and A. K a r n i e l i. "Progress in the remote sensing of land surface temperature and ground emissivity using NOAA-AVHRR data." International Journal of Remote Sensing, 20(12), 1999, pp. 2367-2393.

7. Q u a t t r o c h i, D. A. and J. C., L u v a l l. "High spatial resolution airborne multispectral thermal infrared data to support analysis and modeling tasks in the EOS IDS Project Atlanta." URL: http://wwwghcc.msfc.nasa.gov/atlanta/, Global Hydrology and Climate center, NASA, Huntsville, Alabama (last date accessed: 1 June 2003) (1999).
8. S o b r i n o, J. A., F. D e l F r a t e, M. D r u sc h, J. C. J i m é n e z - M u ñ o z, P. M a n u n t a. "Review of High Resolution Thermal Infrared Applications and Requirements: The Fuegosat Synthesis Study." In: Thermal Infrared Remote Sensing, Remote Sensing and Digital Image Processing, Vol. 17, 2013, pp. 197-214. Publisher: Springer, Print ISBN 978-94-007-6638-9, Online ISBN: 978-94-007-6639-6. DOI: 10.1007/978-94-007-6639-6_10
9. S o b r i n o, J. A., F. D e l F r a t e, M. D r u sc h, J. C. J i m é n e z - M u ñ o z, P. M a n u n t a. "Spaceborne Thermal Infrared Observation – An Overview of Most Frequently Used Sensors for Applied Research." In: Thermal Infrared Remote Sensing, Remote Sensing and Digital Image Processing, Vol. 17, 2013, pp. 131-148. Publisher: Springer, Print ISBN 978-94-007-6638-9, Online ISBN: 978-94-007-6639-6. DOI: 10.1007/978-94-007-6639-6_7
10. V a s t e r l i n g, M. and U. M e y e r. "Challenges and Opportunities for UAV-Borne Thermal Imaging." In: Thermal Infrared Remote Sensing, Remote Sensing and Digital Image Processing, Vol. 17, 2013, pp. 69-92. Publisher: Springer, Print ISBN 978-94-007-6638-9, Online ISBN: 978-94-007-6639-6. DOI: 10.1007/978-94-007-6639-6_4
11. V o o g t, J. A. and T. R. O k e. "Thermal remote sensing of urban climates." Remote sensing of environment 86(3), 2003, pp 370-384.
12. W e n g, Q. "Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends." ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 64(4), 2009, pp. 335-344.
13. Z h a n g. J, Y. W a n g and Y. L i (2006) A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6. Computers Gesci .32, 1796-1805
14. Z h a n, W., Y. C h e n, J. Z h o u, J. W a n g, W. L i u, J. V o o g t, … and J. Li (2013). Disaggregation of remotely sensed land surface temperature: Literature survey, taxonomy, issues, and caveats. Remote Sensing of Environment, 131, 119–139.
15. Welcome to HyspIRI Mission Study Website (URL: http://hyspiri.jpl.nasa.gov/) (last date accessed: 28.01.2014)

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ДВИЖЕНИЕ НА ГЕОЦЕНТЪРА И НЕГОВОТО ВЛИЯНИЕ В ИЗМЕНЕНИЕТО НА КООРДИНАТИТЕ И СКОРОСТИТЕ НА ТОЧКИ ОТ ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ

**Мила Атанасова, Явор Чапанов**

*Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките*
*e-mail: mila_at_zl@abv.bg, yavor.chapanov@gmail.com*

***Ключови думи*** *:Земни координатни системи (TRF), движение на геоцентъра, времеви редове*

***Резюме:*** *Промяната на параметрите на Земята се дължи най-вече на преноса на маси в тялото на планетата и над нейната повърхност; измененията настъпващи в атмосферата. океаните, снежната покривка и валежите, нивото на подпочвените води, промените в ледниковата покривка, поради следледниковите отскок, и т.н. Всички тези фактори влияят на малките премествания на всяка точка от земната повърхност и предизвика непрекъснати глобалните промени от фигурата на Земята, гравитационно поле и други параметри. Важен инструмент за изследване на глобалните изменения на фигурата на Земята и гравитационно поле е анализи на времевите редове на вариациите на масовия център на Земята. Времевите редове на координатите на геоцентъра за периода 1991-2003, определени от JPL решения и GPACE решения за периода 2003-2009 са изследвани за тяхната последователност и спектралните промени във времето. Анализира се влиянието на сезонните и дългосрочни колебания на геоцентъра върху изменението на координатите на GPS станциите.*

*Масовия център на Земята (CM) е в центъра на общата масите на Земята, включително твърдата почва, атмосферата, океаните и водите на континентите. Така че CM не е идентичен с масовия център на земната повърхност (CE) и съществува транслация между тях, която се нарича движение на геоцентъра (GCM) Началото на Земната референтна система (TRF) се определя като CM за специална епоха. TRF се реализира и се поддържа с космически геодезически техники. CM е центърът които се използва при определяне орбитите на спътниците в космическата геодезия. Ето защо, движението на геоцентъра е основен въпрос за пространственото определяне местоположението на точките на земната повърхност.*

# GEOCENTER MOVEMENT AND ITS INFLUENCE IN THE CHANGE OF COORDINATES AND VELOCITIES OF POINTS ON THE GROUND

**Mila Atanasova, Yavor Chapanov**

*National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography -– Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: mila_at_zl@abv.bg, yavor.chapanov@gmail.com*

***Keywords:*** *Terrestrial coordinate systems (TRF), geocenter motion, time series*

***Abstract:*** *The dominated reasons of the Earth's dynamical parameter changes are mostly the mass transfer in the planet body and over its surface: variations of the surface fluids - atmosphere and oceans, snow cover and rainfalls, level of the underground water, changes of the glacial cover, due to the post-glacial rebound, and etc. All of these factors affect small displacements of each point of the Earth surface and cause continuous global variations of the Earth's figure, gravity field and other parameters. An important instrument to study the global variations of the Earth's figure and gravity field is time series analyses of the Earth mass center variations. The time series of the geocenter coordinates for the period 1991-2003, determined from the JPL solution and Grace solution for period 2003-2009 are examined about their consistency and spectral variations in time. The influence of the seasonal and long-term oscillations of the geocenter on the GPS station coordinates is analyzed.*

*The Earth's center of mass (CM) is the center of total Earth's mass, including the solid Earth and fluid layer, such as atmosphere, oceans and continental water. So CM is not identical to the mass center of solid Earth (CE), and there exists a translation between them, which is called the geocenter motion. The origin of the terrestrial reference frame (TRF) is defined as CM at a special epoch TRF is realized and maintained with the space geodetic techniques CM is the natural center in the satellite dynamics. Therefore, geocenter motion is not only a basic issue for the space*

**Въведение**

Един от важните проблеми, пред който са изправени науките за Земята, е количественото описание и динамиката на движението на литосферата, по специално на континенталните плочи и блокове, и очертаването на техните граници. Основното изискване при решаването на този фундаментален проблем е точното определяне на координатите на точки от земната повърхност, разположени върху различни континентални плочи и тяхното изменение във времето и въз основа на това да се установят техните относителни движения.

Преместването на плочите може да се проследи, чрез спътникови геодезични измервания. Големината и посоката на преместване на плочите, получени от спътникови геодезически наблюдения за кратък интервал от време (няколко години) са съпоставими, по големината и посоката на преместване на плочите, усреднени за милиони години по геоложки и геофизични данни.

Глобалните навигационни спътникови системи (GNSS), GPS, ГЛОНАСС, Galileo, предлагат ефикасен подход за създаване на тримерни опорни геодезически мрежи и мрежи с многофункционално приложение. Акцентира се върху Глобалната система за определяне на местоположение (GPS), имаща засега най-широко приложение в геодезията и геодинамиката. Интензивното развитие на геонауките в значителна степен се стимулира от повишаващата се точност на GPS технологията. Чрез GPS космическата геодезия дава възможност за бързо и надеждно количествено определяне на параметрите на съвременните геодинамични движения

**Основен акцент** е изборът на референта система, спрямо която да се отчете движението на точките. Съществува връзка между ITRFуу реализациите и глобалното преместване на всяка точка, причинено от движението на литосферната плоча, на която е разположена точката. С навлизането на космическите технологии в съвременната геодезия, се използват тримерните координатни системи с начало в геоцентъра.

Международната служба за въртене на Земята (IERS) поддържа Международната земна референтна система ITRS, която по същество е съвкупност от предписания и общи условия, които заедно със съответните методи за моделиране, дефинират началото, мащаба, ориентацията и изменението във времето на земната координатна система.

Тази система се реализира чрез т.нар. Международна земна референтна координатна система (ITRF), която представлява списък от координати и скорости на станции, получени чрез обработка на: GPS; VLBI (Very Long Base Interferometri) Радиоинтерферометрия със свръх дълги бази; SLR Лазерна локация на ИСЗ (Satellite Laser Ranging SLR); LLR Лазерна локация на Луната (Lunar Laser Ranging LLR); DORIS (Doppler Orbit Determinations and Radio positioning Intergraded on Satellite) наблюдения

**Седем коефицента** са необходими за да се дефинира референтна система в тридеменсионното пространство; три за да се определи транслацията, три за да се определи ротацията и един мащабен фактор.

Транслацията на земната референтна система в пространствената геодезия се дефинира от центъра на Земята.

Ротацията на Земната референтна система може да бъде дефинирана чрез фиксиране на литосферните плочи. В модела на плочите, скоростта на станцията е равна на скоростта на местоположението на тази точка на плочата минус скоростта на центъра на Земята.

Центърът на Земята е дефиниран по различен начин в различните реализации на ITRF. Оценката на ъгловата скорост на плочата зависи от оценката на скоростта на центъра на Земята. Повечето геодезически оценки на ъгловите скорости на плочите се определят, като се приема, че центъра на Земята се фиксира в Международната земна референтна система (ITRF) и следователно се натоварва с грешки при оценката на скоростта на центъра на Земята

**CM центъра на масата на Земята, океаните и атмосферата**;

При реализации ITRF2005 и ITRF2000 центърът на Земята е дефиниран в центъра на масата на Земята, океаните и атмосферата (CM). Скоростта на CM се оценява от SLR наблюдение от LAGEOS орбити.

**CE центъра на масата на твърдата Земя;**

В някои модели, като GEODVEL, авторите [5] определят центъра на Земята да бъде в центъра на масата на твърдата Земя (CE).

Като се има предвид, че скоростта на MC се различава с 1.8 mm/yr между ITRF2005 и ITRF2000, скоростта на CM определена от SLR не е оценена достатъчно добре, за да направи надеждна оценка на ъгловата скорост на плочата. Скоростта на CE, определена от скоростите на станции на повърхността на Земята, вероятно е по-близо до истинската скорост на MC от скоростта, изчислена въз основа на SLR.

**CF определен от Земната повърхност**

В система ITRF1997 скоростта на центъра на Земята е средна скорост от повърхността на Земята (CF). Скоростта на CF се оценява от геоложкия модел на плочите NUVEL-1A [7], описващ движението на земната повърхност.
Всеки геодезически или геофизичен модел на плочи се дефинира в различна резлизация на световната земна координатна система.

Табл. 1. Модели описващи движенията на литосферните плочи, дефинирани в различна резлизация на световната земна координатна система

| Координатна система | Модел на литосферните плочи |
|---|---|
| ITRF1997 | NUVEL-1A [7] |
| ITRF2000 | REVEL2000 [11],<br>ITRF2000 (EUREF 2002) [2],<br>HS3-NUVEL1A [10],<br>APKIM2000.0 [9], |
| ITRF2005 | GEODVEL (2010) [5],<br>MORVEL [8],<br>APKIM2005 [13]. |

Табл. 2. Абсолютни скорости на точка SOFI от мрежа BULREF определени от геодезически и геофизични модели на плочи

| **Model** | **Speed mm/yr** | **x vel. mm/yr** | **y vel. mm/yr** | **z vel. mm/yr** | **Azimuth (cw from N)** | **N Vel. mm/yr** | **E Vel. mm/yr** | **Plate (reference)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GEODVEL 2010 | 26.58 | -17.23 | 17.83 | 9.58 | 60.82° | 12.96 | 23.20 | EU(NNR) |
| MORVEL 2010 | 24.28 | -15.99 | 15.76 | 9.23 | 59.02° | 12.50 | 20.82 | EU(NNR) |
| APKIM2005-IGN | 27.21 | -18.29 | 16.82 | 11.08 | 56.55° | 15.00 | 22.70 | EU(NNR) |
| REVEL 2000 | 26.84 | -17.05 | 18.65 | 9.04 | 62.88° | 12.24 | 23.89 | EU(NNR) |
| HS3-NUVEL1A | 25.52 | -16.17 | 17.82 | 8.51 | 63.17° | 11.52 | 22.78 | EU(NNR) |
| APKIM2000.0 | 26.70 | -17.37 | 17.80 | 9.73 | 60.46° | 13.17 | 23.23 | EU(NNR) |
| ITRF2000 (D&A]) | 26.60 | -17.19 | 17.93 | 9.49 | 61.11° | 12.85 | 23.29 | EU(NNR) |
| NUVEL 1A | 25.53 | -16.17 | 17.83 | 8.51 | 63.18° | 11.52 | 22.78 | EU(NNR) |
| NUVEL 1 | 26.22 | -16.60 | 18.33 | 8.72 | 63.24° | 11.81 | 23.41 | EU(NNR) |

Приложен е стандартният алгоритъм за изчисляване на абсолютни скорости за точка SOFI (табл. 2) от моделите за движение на плочи. Използва се UNAVCO-електронен калкулатор [13] за движение на плочи. Наблюдават се разлики в скоростите на точка SOFI, получени от различните модели от порядъка на 2-3 mm/yr.

Загубата на ледената покривка, колебанията на нивото на океаните и атмосферата и други явления, пораждат скорост между CM и CE, със стойност по-малка от няколко десети mm/yr [5]. Местата по границите на бившите ледникови полета са със стойности на хоризонталните движения в размер до 1.5mm/yr, отдалечавайки се от ледниковия център към крайщата. Местата които не са били до края на Плейстоцена покрити с лед са с хоризонтални движения по-малко от ≈ 0.5mm/yr

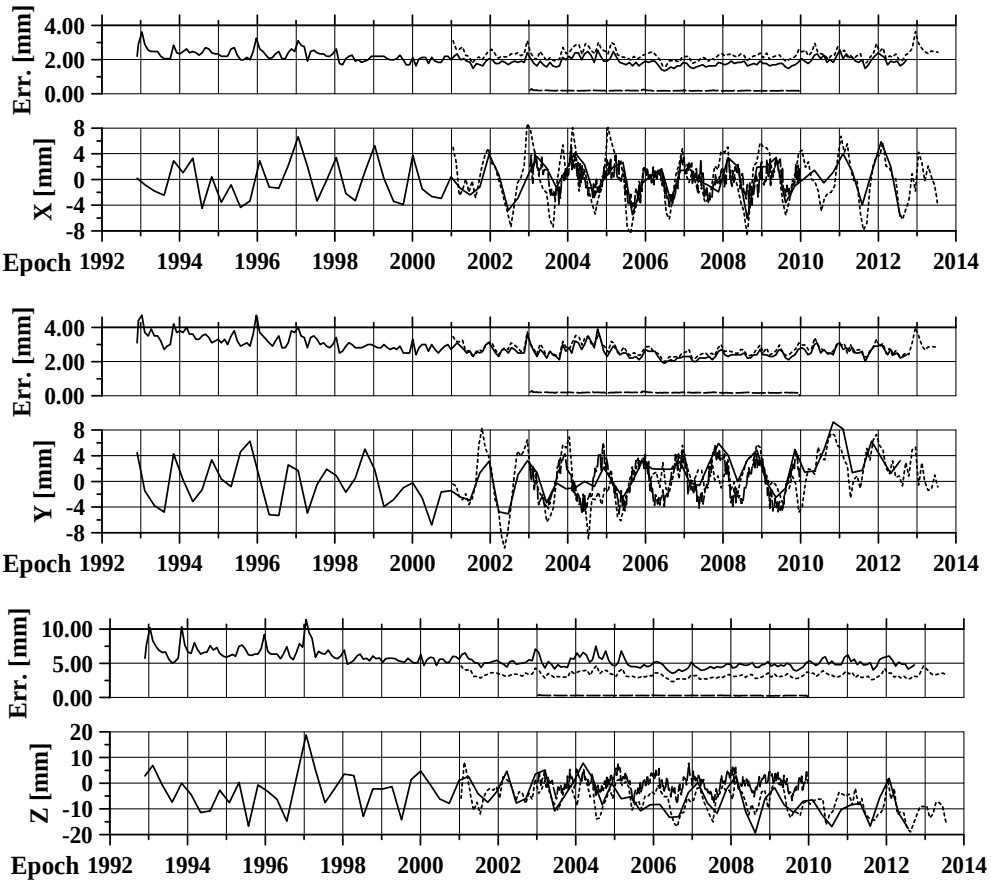
В GEODVEL едновременно са изчислени скоростта на CE и ъгловата скорост на плочите [5]. Ако се предположи, че станциите не са в близост до места с ледниково покритие до късния Плейстоцен, се приема че се движат със съответните си плочи, свързани с CE.

Непостоянството в ъгловите скорости на плочите, включва и неточността в определяне скоростта на CE. GEODVEL се различава от другите геодезически оценки на ъгловата скорост на плочите, отчасти защото скоростта на центъра на Земята, се различава между различните проучвания. GEODVEL се различава съществено от REVEL [11] с 0,028 ◦ /Myr, главно поради това, че скоростта на центъра на Земята, се различава значително между двата модела.

В по умерени граници т.е с 0.015 ◦/Myr, GEODVEL се различава от модела на Altamimi at. et, (2007) [3]. Altamimi [3] приемат скоростта на центъра на Земята да бъде CMin ITRF2005.

**Движение на геоцентъра**

За определяне вариациите на геоцентъра са подбрани три решения базирани основно на спътниковите наблюдения. Решението на UTCSR (University of Texas Center for Space Research) е с най-дълъг времеви ред и е получено от наблюденията на спътниците LAGEOS-1 и LAGEOS-2, което обхваща 20 годишен период от 1993 до 2013г. Второто решение на UTCSR е комбинация от наблюденията на 5 геодинамични спътника LAGEOS-1, LAGEOS-2, Starlette, Stella и Ajisai, което обхваща 12.5 годишен период от време [5]. Третото решение на GFZ Потсдам е с най-малка дисперсия, тъй като е комбинация от високоточните измервания на гравитационното поле от спътниковата мисия GRACE с GPS наблюдения и измервания на налягането върху океанското дъно (фиг.1). Съществува добра съгласуваност между трите решения, като основните колебания с годишен период практически съвпадат. Вариациите на геоцентъра са ±8мм в координатите X и Y; и ±20мм в координатата Z.



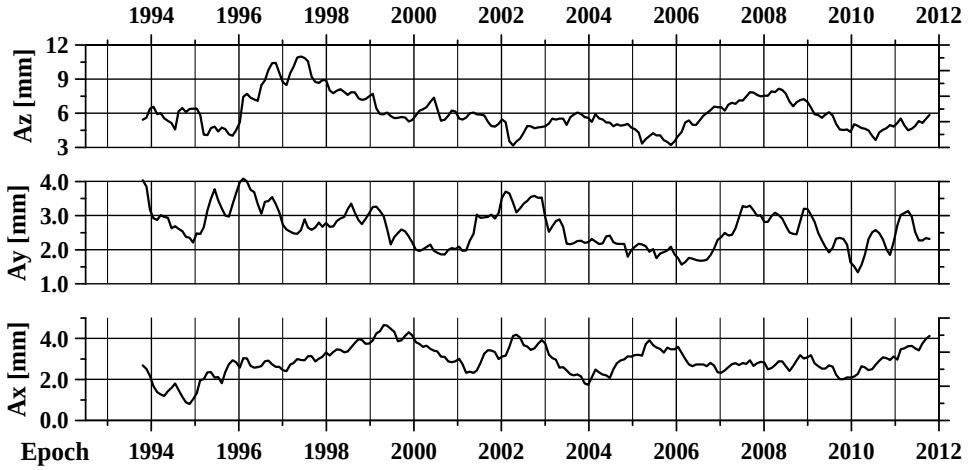

Фиг. 1. Изменения на координатите на геоцентъра и техните ср.кв. грешки, получени от наблюденията на спътниците LAGEOS-1 и LAGEOS-2 (непрекъсната линия); LAGEOS-1, LAGEOS-2; Starlette, Stella и Ajisai (точковидна линия); и GRACE, GPS и налягане на окенаското дъно (пунктирна линия)

**Годишни колебания на геоцентъра**

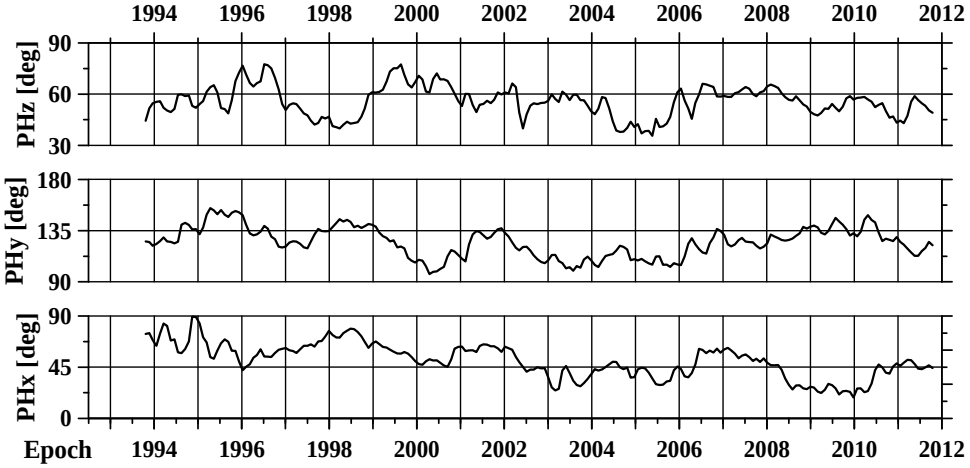
Основните колебания в движението на геоцентъра са с годишен период и значителни вариации на тяхната амплитуда. Вариациите на амплитудата $A_X$ и фазата $\Psi_X$ на годишните колебания са определени в пълзящ прозорец с големина 2 години чрез модела:

$$
\begin{aligned}
\vec{X}\left(t-t_0\right) &= \vec{X}_0 + \vec{X}_1\left(t-t_0\right) + a_{\vec{X}} \sin 2\pi\left(t-t_0\right) + b_{\vec{X}} \cos 2\pi\left(t-t_0\right), \\
\vec{X} &= \left(X,\ Y,\ Z\right)^T, \\
A_{\vec{X}} &= \sqrt{a_{\vec{X}}{}^2 + b_{\vec{X}}{}^2}, \\
\Psi_{\vec{X}} &= \operatorname{arctg}\left(a_{\vec{X}} / b_{\vec{X}}\right),
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

където $\vec{X}\left(t-t_0\right)$ е апроксимиращата функция на координатите на геоцентъра *X*, *Y*, *Z* от текущия прозорец с големина 2 години,, $t_0$ – средната епоха на наблюденията в този прозорец, $\vec{X}_0$ – средната стойност годишната компонента, $\vec{X}_1$ - коефициентът на линейния тренд. Неизвестните параметри $\vec{X}_0,\ \vec{X}_1,\ a_{\vec{X}},\ b_{\vec{X}}$ се оценяват по метода на най-малките квадрати.




Фиг. 2. Изменение на амплитудата на годишните колебания на геоцентъра




Фиг. 3. Изменение на фазата на годишните колебания на геоцентъра

Измененията на амплитудата на годишните колебания на геоцентъра са представени на фиг.2, а на фазата – на фиг.3. Вариациите на годишната амплитуда са основно от 2 до 4мм за координатите *X* и *Y* и от 3 до 11мм – за координатата *Z*. В тези вариации могат да се отделят отчетливо участъци с преобладаващо линеен характер с продължителност от 2 до 6 години, прекъсванията на които вероятно се дължат на значими геодинамични явления, протичащи както на земната повърхност, така и в течното ядро на Земята.

**Заключение**

Разгледани са различните геофизични хипотези за движението на центъра на Земята и са установени систематични разлики в абсолютните скорости на точки от територията на България, при използване на геодезически и геофизични модели. Промяна в скоростта на центъра на Земята от 1mm/yr, обикновено води до промяна в ъгловата скорост на плочата с 0,012◦/Myr

Вариациите на амплитудата и фазата на сезонните колебания на геоцентъра се състоят от предимно линейни изменения с продължителност от 2 до 6 години, прекъсванията на които се дължат на значими геодинамични явления.

**Литература:**


1. Атанасова-Златарева, М. (2013)Трансформационни модели при съвременните геодезически координатни системи, Дисертация, НИГГГ, БАН, София, 138 стр
2. Altamimi, Z., P. Sillard, and C. Boucher, (2002), ITRF2000: A new release of the International Terrestrial Reference Frame for earth science applications, *J. Geophys. Res.*, *107*(B10), 2214, doi:10.1029/2001JB000561, 2
3. Altamimi, Z., Collilieux X. Legrand J. Garayt B. Boucher C., (2007), ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters. Journal of Geophysical Research. VOL. 112, B09401, doi:10.1029/2007JB004949/002; see also tn31_270.pdf.
4. Argus, D.F. and R.G. Gordon, (1991) No-net-rotation model of current plate velocities incorporating plate motion model NUVEL-1, *Geophys. Res. Lett.*, *18*, 2039-2042, 1991
5. Argus, D.F., R.G. Gordon, M.B. Heflin, C. Ma, R.J. Eanes, P. Willis, W.R. Peltier, and S.E. Owen, (2010), The angular velocities of the plates and the velocity of the Earth's centre from space geodesy, *Geophys. J. Int.*, *18*, 1-48
6. Cheng, M.K., J.C. Ries, B.D. Tapley, 2013, Geocenter Variations from Analysis of SLR data, in Reference Frames for Applications in Geosciences, International Association of Geodesy Symposia, Vol. 138, (Springer-Verlag Berlin Heidelberg), 19-26.
7. DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F., & Stein, S., (1994), Effect of recent revisions to the geomagneticreversal time scale on estimates f current plate motions, *Geophys. Res. Lett.*, 21, 2191–2194.
8. DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F.,(2010) Geologically current plate motions,*Geophys. J. Int.* (2010) 181, 1–80 doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04491.x
9. Drewes H. (2006) Implementation of the kinematical NNR condition for the terrestrial reference frame, Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 05014, 2006 European Geosciences Union 2006, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-05014
10. Gripp, A.E., and R.G. Gordon, (1990), Current plate velocities relative to the hopspots incorporating the NUVEL-1 global plate motion model, *Geophys. Res. Lett.*, *17*, 1109-1112, 1990.
11. Sella, G., T.Dixon, A. Mao, (2002), REVEL: A model from Recent plate velocities from space geodesy J. Geophys. Res., 107 (B4), ETG 11,10.1029/2001JB000033
12. Xiaoping, Wu, Jim Ray, Tonie van Dam (2012), Geocenter motion and its geodetic and geophysical implications, Journal of Geodynamics 58 (2012) 44– 61
13. http ://gsrm.unavco.org/model/files/1.2/rotation_vector_studies_PA.dat

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# МЕТОДИ ЗА ЦИФРОВА СИГНАЛНА ОБРАБОТКА В КОМПЮТЪРНО ПОДПОМАГАНИЯ АНАЛИЗ НА РАДАРГРАМИ ОТ ЗЕМНО-НАСИПНИ СЪОРЪЖЕНИЯ

**Георги Петров, Ралица Берберова**

*Нов български университет*
*e-mail: gpetrov@nbu.bg, rberberova@nbu.bg*

***Ключови думи:*** *GPR DSP, Seismic Unix*

***Резюме:*** *Целта на настоящата публикация е да бъдат описани възможностите за използване на разнообразни стандартни инструменти и методи за цифрова сигнална обработка в процеса на анализ на радарграми от земно-насипни съоръжения. Получените илюстративни материали и експериментални резултати са свързани с изследване на реални обекти, а за целта на обработката са ползвани мощните специализирани софтуерните пакети Seismic Unix и Scilab. Акцентът е поставен върху възможностите изходните данни да бъдат вторично обработвани и визуализирани по подходящ начин, позволяващ по-лесната и бърза обработка на радарграмите, правейки по-лесно забележими възможно повече особености на радарграмата и скъсявайки времето за анализ.*

# APPLICATION OF DSP IN COMPUTER ASSISTED ANALYSIS OF GPR RADARGRAMS OF EARTHFILL STRUCTURES

**Georgi Petrov, Ralitza Berberova**

*New Bulgarian University*
*e-mail: gpetrov@nbu.bg, rberberova@nbu.bg*

***Keywords:*** *GPR DSP, Seismic Unix*

***Abstract:*** *The purpose of this article is to describe the possibilities of using various standard tools and methods for digital signal processing for extensive procesing and visualization of radargrams of earthfill structures. Resulting illustrative material and experimental data that are related to the investigation of real objects. For the purpose of processing we use Seismic Unix software packages and Scilab. Emphasis is placed on different visualization types of original data that allow easier and faster processing of radargrams by operator. Thus making it easier to see as many features of radargram and to shorter the total time for proper radargram analysis.*

## Въведение

Изследването на малки и средно високи земно-насипни инженерни съоръжения, в частност речни диги и насипни язовирни стени, може съществено да бъде ускорено и опростено чрез използването на интегрален георадарен метод — ground pennetrating radar(GPR) [2]. Методът използва технология, наподобяваща радиолокационната, със съществената разлика, че отразените електромагнитни вълни, излъчени от облъчващата антена са следствие на преминаването на електромагнитната енергия през подповърхнинни слоеве с различна диелектрична проницаемост. Методът може да бъде използван за заснемане на различни дълбочини в зависимост от използваната работна честота на георадара [9], а също така и според изследвания материал [10] (пясък, почва, глинести почви, скална маса и др.). При това колкото по-дълбоко е интересуващият ни обект, толкова по-ниска се получава пространствената разделимост и влиянието на отразени паразинти сигнали, получени от близкостоящи и стоящи над изследваната точка обекти, е по-силно. Особеностите на метода го правят атрактивен избор при изследване на малки и средно високи земно-насипни съоръжения,

каквито са речните диги и земно-насипните язовирни стени. Този метод е много по-елементарен от класическите пенетрационни и сондажни изследвания на обекти; спестява време и ресурс на скъпа техника, същевременно е абсолютно безопасен и екологосъобразен [3]. Чрез георадарния метод, в зависимост от достъпността на конкретното инженерно съоръжение, е възможно да се снеме относително подробен профил на вътрешна му структура. Последващият визуален анализ на радарграмите позволява на експертите да откриват структурни нарушения (свличания, проникване на влага, повреди в подземната инфраструктура — отходни канали, водостоци и т.н.). При наличие на подходяща техника анализът на данните може да става и в момента на самото изследване. За създаване на конкретен визуализиран модел на даден обект, освен резултатите от георадарните изследвания, е необходима техническата документация на обекта. Дори при липсата ѝ, при едно детайлно георадарно заснемане на обектите и оглед на терена е възможно да бъде построен достатъчно точен 2D и 3D модел, отразяващ актуалното състояние на терена и структурата на обекта. В процеса на георадарните изследвания на обектите и най-вече при последващия анализ участват високо квалифицирани кадри. Методът не може изцяло да бъде автоматизиран и изисква наличието на експертно мнение за оформяне на комплексната оценка за качеството, безопасността и конструктивната цялост на обектите. Конкретният процес на анализ на радарграмите използва разнообразни методи за компютърна визуализация на 2D и 3D радарграми, показващи различни профили и напречни срезове. Поради спецификата на данните и динамиката на информацията в самите радарграми се използват някои класически методи за пост-обработка и последваща визуализация на вече записаните данни [**1**]. Основен недостатък на този подход за анализ е необходимостта операторът, гледащ радарграмите да притежава съществен опит, за да може да избере такива параметри на визуализация, а и първоначална настройка на системата за избор на работни честоти, антени и дълбочина, при които да са видни важни структурни елементи в радарграмата. Това се постига чрез практически опит и предвид новостта на радарния метод се предполага, че към настоящия момент количеството обучени експерти е крайно малко (няколко десетки за цяла България). Съществуват и други практически проблеми - при използването на различни модификации на оборудването съществува възможност радарграмите от един обект да изглеждат различно, което също така налага и някои ограничения и изисквания за регулация на този вид дейности [4]. За да се ускори процеса на обучение на кадри и същевременно да се подобри възможността този метод да бъде масовизиран, считаме, че от съществено значение е ползваните компютърни системи да позволяват моментално визуализиране на възможно повече съществени особености заснети в радарграмите с възможност за тяхното анотиране и съхранение. Това налага да бъдат използвани стандартни методи за цифрова сигнална обработка и представяне на сигнала в негови различни измерения (времево-пространствени или честотни и др.), като при това се позволи едновременна визуализация на възможно повече характерни особености за един и същи изследван сегмент от радарграмата.

**Проблеми при обследване на земно-насипни съоръжения с георадар**

При болшинството дейности, свързани с инспекция на инженерни съоръжения (постройки, диги, насипи под пътища [7] и др.), от особено значение е наличието на техническа документация за обектите (чертежи, снимки от етапите на изграждане, коментари, данни за ползваните материали и др. информация за правени ремонти и т.н.). Данни за основния материал са важни предвид възможността да бъде избрана по-добра антена и работна честота на георадара. При отсъствие на подобна информация може да бъдат ползвани геоложки карти, представящи повече информация за различните видове почви в района на обследвания обект. Предвид факта, че повечето строежи на земно-насипни и скално-насипни речни диги, язовирни стени и насипи за пътища са били правени преди 25 - 30г. наличието на необходимата конструктивна информация и данни за ремонти и др. дейности, свързани с експлоатацията на съоръженията, са или трудно откриваеми, или изобщо не са налични. Възможно е по време на експлоатацията немалка част от земно-насипните съоръжения в страната ни да са били в неизправност и да са се налагали, на да не са били камествено изпълнени ремонтни дейности, ненавременно източвани или неконтролирано пълнени. Всички тези фактори налагат при първичния оглед на конкретните съоръжения да бъде събрана и допълнителна информация. Външната визуална инспекция също би показала много относно експлоатацията и поддържането на обектите в един средносрочен период назад (наличие на прорастли дървета, дънери на стари дебели дървета, свличания, слягания и др.). При този първичен оглед операторите следва да изготвят подробна визуална документация на обекта, чрез засичане на координатите на интересуващите ги обекти, заснемане с цифров фотоапарат, маркиране на визуално отчетени нередности по обекта. Този архивен материал ще подпомогне последващия

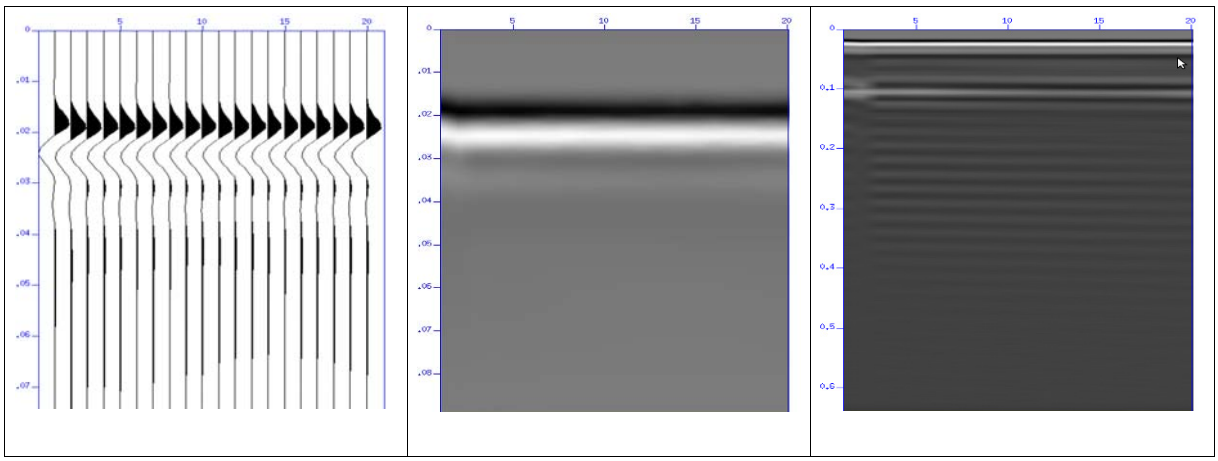
анализ на направените радарграми. Възможно е предвид лошата поддръжка конкретно да не е достъпно заснемане с георадара на цялата интересуваща ни повърхност. Визуалната инспекция на обекта извън летния сезон, когато растителността е обезлистена, позволява да бъдат забелязани «скрити» свличания или пропадания, невидими през летния сезон.

Също така при особено високи структури би било възможно дълбочинно радарно изследване чрез направа на сондажни шахти през определено разстояние, като в тях биват спускани излъчвателна и приемателна антени. По този начин подобно на импедансният томографски анализ, но доста по-точно, би могло да се засечат обекти и изменения на целостта на съоръженията с много висока точност и позициониране.

При всички тези случаи възможността да се използва специализирана геоинформационна система е от решаващо значение за масовизацията на метода и конкретно за събирането на статистически данни за конкретни обекти. Подобна система би следвало да притежава опции за отдалечен достъп, качване и сваляне на информация за интересоващите ни обекти, а също така и възможност за визуализация на предварително селектирани данни (радарграми, снимки на терена, сателитни и аеро-снимки и др.). Поради спецификата на работата особено внимание следва да се отдели на възможностите за визуализация на данните, с които системата ще разполага (2D или 3D) с възможност за ползване на т.н. «augmented reality», при която става възможно съпоставянето на външно заснетия терен с реалния компютърен модел на структурата на обекта. Подобни модели могат да бъдат развити и в темполарен модел, при който да се проследява състоянието на обследвания обект във времето. Естествено, подобен инегриран подход изисква наличието на съществени инвестиции, но това не пречи при неговото концептуално създаване да се ползват методи за цифрова обработка, визуализация, бази данни и уеб технологии, позволяващи разгръщането на подобна геоинформационна система в нейния пълен потенциал (система с отворени интерфейси).

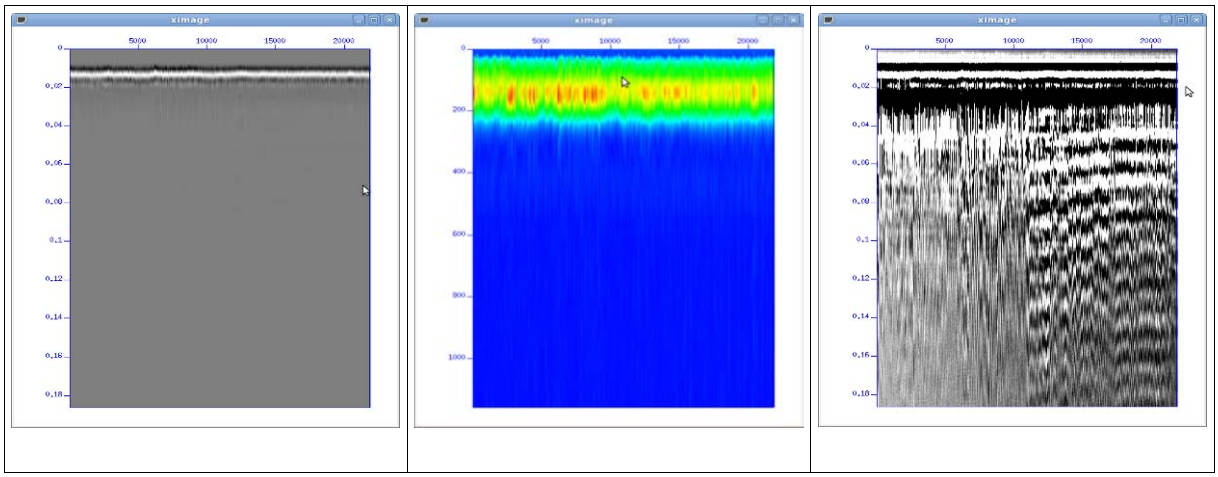
**Основни методи за обработка на радарграми**

Данните се записват в тяхната времева област, като в последствие серии от поредни измервания могат да бъдат обединени в 2D изображение, даващо информация за дълбочината на проникване и отстоянието между отделните поредни измервания. В този процес на обработка активно се ползват цифрови методи за усилване, филтрация и многокомпонентен анализ на записаните радарграми. Що се касае до фундаменталните приоми за обработка на радарграмите в литературата съществуват някои постулиращи заглавия, описващи предварителна обработка на радарграмите, предшестваща визуализацията им: Yilmaz, O. 1987г. [5], Fisher 1992г. [6], Maijala 1992г. [8] и др. Исторически визуализацията на радарграмите е ставала или чрез отпечатване, или чрез изобразяване на екран. Поради несъвършенствата на компютърната техника, радарграмите са били визуализирани чрез т.н. «wiggle trace» - вертикални вълнички, на които положителната амплитуда на осцилограмата се визуализира чрез запълване, а отрицателната е празна (Фиг. 1.а). Възможностите за разпечатване и визуализация в 8 битов режим съществено подобряват работата с радарграмите (Фиг. 1.б). До появата на цветните принтери и монитори, а и след това, възможностите за визуализация на радарграмите с техните пълни детайли, без предварителна обработка, остава технически невъзможно. Това се дължи на спецификата на записания сигнал. Отраженията на сигнала, регистрирани от обекти близо до повърхността, са с многократно по-висока амплитуда, отколкото нивата на сигнала, отразен през преминаване в по-долните пластове (от няколко порядъка). Това поставя минималното изискване пред всяка една подобна система за визуализация да има функции за автоматично регулиране на усилването на записания или приеман сигнал, така че визуализираната радарграма да бъде достатъчно представителна, за да позволи на оператора да я анализира, отчитайки малки подробности в образа (Фиг. 1.в).



Фиг. 1 — а) Визуализация на радарграма с wiggle trace (вълнички), б) 8 битов монохромен монитор или принтер, в) монохромен монитор с усилване на сигнала

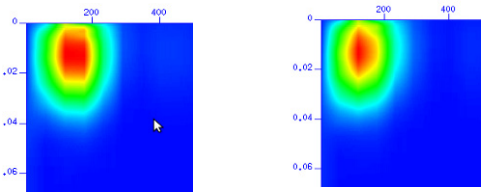
Тъй като радарграмата дава информация относно отражението на електроматнитните вълни при преминаване от слой в слой, тя може да бъде анализирана и филтрирана в нейната честотна област. Едни от най-простите филтри са осредняващия нискочестотен филтър и медианния (3-5 елементен) филтър за изчистване на импулсен шум. И двата типа филтри са приложими при последователна обработка на всяко едно измерване - 1D или при обработка на полученото 2D изображение на радарграмата. В зависимост от сложността на задачата е възможно да бъдат използвани и лентови филтри, имащи за цел по-добре да се визуализират структури с определени дебелини. Тук може да бъде приложен корелационния анализ и автокорелационни анализ за детекция на аномалии между отделните пенетрации. Съвременният подход обикновенно се свежда до FFT филтрация (евентуално за отстраняване на шумове причинени от смущения), тъй като тя е по-бърза и по-прецизна в сравнение с класическия подход на последователно обхождане на данните. Филтрацията на радарграмите в повечето случаи се извършва само по вертикалата, като на един и същи метод за филтрация биват подлагани поотделно всички масиви данни, съдържащи стойности за отделните измервания, които може или не са предварително подложени на усилване (усилването не е линейна функция съобразно дълбочината и може да се осъществява по различни начини). По-сложни алгоритми от обработката на изображения могат да бъдат ползвани в последствие и особено при 3D реконструкцията. Крайната цел на процедурите по филтрация са определени интересуващи ни обекти да бъдат по-добре визуализирани и съответно открити, което означава, че данните не би следвало да претърпяват драстични изменения в процеса на обработка, при която се цели филтрация — отстраняване на предполагаемо паразитно ехо и шумове.



Фиг. 2. Оригинална радарграма-вляво, нейната спектрална карта - по средата и усилено оригинално изображение

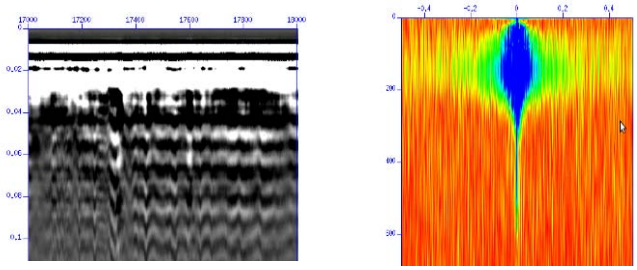
**Комплексни техники за обработка на радарграми**

Възможностите, които съвременните цифрови компютри предоставят, позволяват да създаваме комплексни радарграми, заснети чрез ползване на мултиспектрални антени, предоставящи информация с различна темпорална (дълбочинна) и пространствена детайлност. Това изисква радарграмите да бъдат унифицирани (разпънати и нормирани по дълбочина и ширина), а след това цифрово насложени. В този процес се използват методи за автоматично екстраполиране и сфазиране на образите, с цел постигане на по-ясна картина в дълбочина на обследвания обект. И тук болшинството методи залагат на обработка в комплексното честотно пространство. Един популярен метод за визуализация на честотно представената информация в отделните измервания е чрез ползване на „Габор“ трансфромация, при която добре се визуализират честотните пикове по дълбочината на цялата пенетрация (Фиг. 2). Тези 2D изображения на изходния сигнал могат в последствие да бъдат сравнявани една с друга отделните измервания. Например, така по-лесно може да бъдат търсени позиции в радарграмата, имащи сходна информация в честотното пространство съобразно дълбочината.



Фиг. 3. Габор трансформация на съседни измервания, ясно се вижда различието между честотните съставки на сигнала в замисимост от дълбочината

Особено популярни са методите за обработка с т.н. „малки вълни“ („wavelet“) трансформации, обикновенно изпълнявани за елементи на интересуващия ни сигнал, съдържащи до 100 точки. Друг метод е т.н. „Fourier transform over time - Fourier transform over space“ (FK честотна трансформация по време – дълбочина на проникването и дължина на радарграмата) (Фиг. 3).



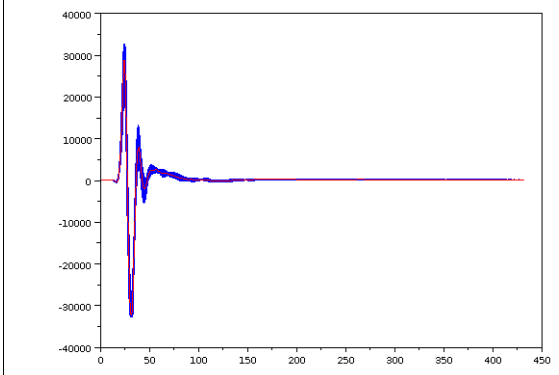
Фиг. 4. Оригинален сегмент от радарграма - вляво, и неговата FK трансформация - вдясно

FK обработката позволява да се визуализират прави и наклонени прави черти, като извивки (свличания на слоеве) или отражения от големи обекти се визуализират като замъглено пространство. Този начин позволява да се филтрират едночестотни компоненти на сигнала, слизащи и изкачващи се в дълбочина на радарграмата. Друг интересен, но ограничен подход, е използването на „Радон“ трансформация, при която входните данни се декомпозират обикновенно на набори параболи и хиперболи. При всички тези методи за обработка анализът е възпрепятстван основно от наличието на „шумове“ от множество вторично отразени затихващи във времето сигнали или пък поради индуктивността на средата, причинена от различни фактори.

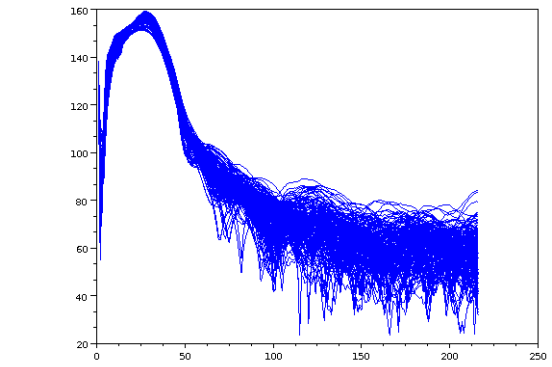
**Визуализация**

Визуализацията на радарграмите в повечето случаи е най-удобно да се прави чрез оцветявания на екранните изображения. Въпреки това поради голямата динамика на сигнала големи области на радарграмата остават неясни за оператора. След подходяща филтрация и усилване данните могат нагледно да бъдат визуализирани, като инспекцията може да става на няколко етапа чрез подбор на различни филтри, усилватели и резолюции (наблюдение на радарграми, получени чрез обединяване на данни от 2 и повече антени, работещи на различни честоти). Поради факта, че конкретната радарграма може да съдържа едни или други визуални

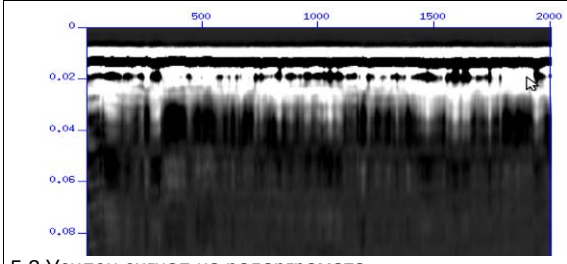
елементи, които в зависимост от ситуацията и конкретния обследван обект да имат различно значение не е възможно да бъде напълно автоматизиран процесът по първоначална обработка на радарграмите, като чрез подходящи компютърни програми това може да бъде сериозно подпомогнато и ускорено. Една добра система позволява едновременния преглед на цялата радарграма с възможност за превключване на различни филтри, едновременно наблюдение на спектъра на радарграмата, както и някои негови разновидности конкретно за интересуващи ни нейни сегментии елементи. Специфично за земно-насипните съоръжения е тяхната конструктивна хомогенност, т.е. те следва да имат ясно изразена слоеста и еднородна структура по цялата си дължина. В този случай пропадания, слягания и други аномалии биха могли по-лесно да бъдат открити чрез софтуер, подпомагащ визуализацията на едни или други аномалии (отклонения от средните стойности за цялата радарграма) (Фиг. 5). Чрез подбор на различни филтри и екранни визуализации съществено би могла да се повиши ефективността на работещия експерт, като така същевременно му се даде възможност да обърне внимание върху повече особености в радарграмата (състояща се често от десетки хиляди отделни измервания в няколко плана), отколкото, ако той извършва този първоначален преглед в ръчен режим.



5.1 Насложени и осреднена стойност от 2000 поредни измервания



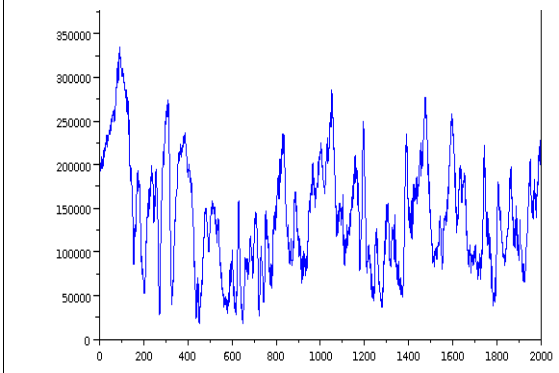
5.2 Насложен спектър на отделните поредни измервания



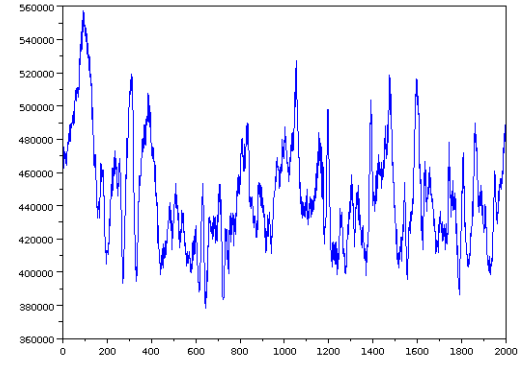
5.3 Усилен сигнал на радарграмата



5.4 Визуализация на спектралната карта на радарграмата



5.5 Средно квадратично отклонение от осреднения сигнал



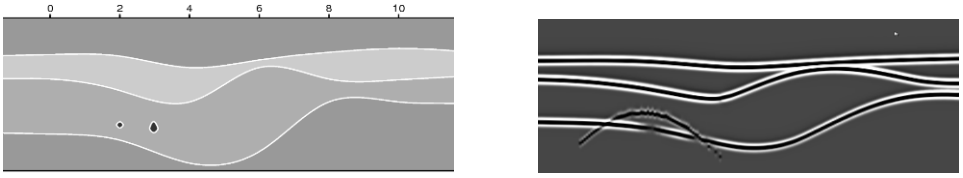
5.6 Сумарно ниво на детектираните амплитуди за отделните измервания

Фиг. 5. Визуализация на вариациите на оригиналния сигнал и честотния му спектър, използвани при подпомагане и първоначално маркиране на потенциални позиции на аномалии в структурата на изследваното съоръжение

Пиковете в спектралната карта на радарграмата (спектрите на отделните измервания) еднозначно съответстват на позиции с голямо отклонение на сигнала от средните му стойности за зададен интервал. Едновременно с това честотният и амплитудният спектър на сигнала съществено се различава във висшите хармонични, с изключение на случаите на големи аномалии директно в подповърхнинния слой. За конкретни интересуващи ни сектори на радарграмите е допустимо да бъдат изчислявани съответно изображения на FK и Радон трансфромациите, които да подпомогнат филтрацията и визуализацията на труднозабележими хоризонтални, наклонени и параболични очертания.

**Моделиране**

Възможността да бъде използвано симулационно моделиране за получаване на виртуални радарграми за даден обект, чиито сравнителни физически параметри познаваме, ни позволява да извършваме приближено сравнение на реално получените радарграми с идеализираните симулации. При условие, че за конкретното земно-насипно съоръжение са известни данни за вътрешната му слоеста структура, използваните инертни материали, позициите и приблизителните физически размери на подземната инфраструктура, използването на симулационен модел съществено ще улесни процеса на обследване на обекти чрез GPR метод в частта откриване на проблеми в целостта на земно-насипното съоръжение (Фиг. 6).




Фиг. 6. Модел на надлъжен разрез на земно-насипна дига и нейната симулационна радарграма. Целта е да се визуализират детайли на радарграмата, показващи специфични инфраструктурни особености на дигата

**Заключение от проведените експерименти**

Проведеният експеримент за използване на разнообразни компютърни методи за времево-пространствена обработка на радарграми при обследване на земно-насипни съоръжения (диги и язовирни стени) ни позволява да направим следните обобщения за приложимостта и достъпността на GPR технологията:

- поради височината на земно-насипните съоръжения, обект на настоящето изследване (до 15-17 m, стени на микроязовири и речни диги) и своята сравнително еднотипна конструктивна структура (сравнителна хомогенност на използвания материал и метода на изграждане), тези съоръжения могат да бъдат изследвани чрез георадарен метод;
- GPR методът е особено подходящ при създаване на референтни изображения в процеса на изграждане на нови съоръжения, като в този случай провеждането на периодични заснемания на обекта чрез съпоставка на радарграмите заснети в различни периоди могат еднозначно да бъдат открити изменения във вътрешната структура (свличания, кухини, просмукване на вода и др.);
- при използване на метода за обследване на стари малки и средновисоки земно-насипни съоръжения, методът задължително трябва да бъде съпроводен с визуална инспекция на обекта, събиране на допълнителна налични информация и по възможност достъп до техническата документация за обекта, а където това не е възможно - да бъдат събрани данни от местното население или обслужващ персонал за състоянието на съоръжението, евентуални ремонти или повреди във времето.

Независимо от наличната информация за обектите, следва да бъде обмислена възможността за създаване на достатъчно точен компютърен модел на изследвания обект (когато конструктивните чертежи са налични) или частично възстановими от съответните специалисти. Така построеният приближен модел следва да отразява основните инфраструктурни особености на съоръжението — канали, шахти, тръби, каменни насипи, бетонни тунели и др. Чрез георадантият метод могат да бъдат констатирани вътрешни пукнатини или пробив на вода. Компютърният модел бива подложен на симулативен георадарен експеримент, при който се изчислява сравнително достоверен образ на

радарграмата, съдържащ основните конструктивни елементи на обекта. Симулационната радарграма на обекта може да бъде съпоставяна с реално получената радарграма, като така значително се подпомогне процесът на детекция на потенциални аномалии. Този метод се препоръчва и при построяване на модели на нови съоръжения, данни за чиято структура и цялост притежаваме. Така създаденият модел по реални данни може да бъде ползван в процеса на подобряване и моделирането на земно-насипни съоръжения, за които нямаме налични конструктивни чертежи или допълнителна информация за тяхната цялост.

При анализ на радарграмите от подобни съоръжения се предполага, че имат относително хомогенна и предполагаема структура. Това от една страна би улеснило анализа им, но следва да се има предвид, че терена, върху който съоръженията са изградени, е възможно да бъде с различна морфология, дълбочина и да има особености, даващи отражение върху радарграмата. В повечето случаи се търсят нехомогенности, наклонени вълнови образи и т. н. За да се улесни този процес, е предложено данните да бъдат визуализирани в тяхната времева и честотна област, като за подпомагане работата на оператора бъдат извеждани и графики на максималните отклонения от осреднения сигнал и максималните отклонения от осреднения спектър за цялата или сегмент на радарграмата. Пиковете в тези графики еднозначно показват за наличие на резки отклонения. Друг подход е да бъде визуализирана подобна графика, съдържаща стойности на интегралното ниво на сигнала от всяко измерване, което поради хомогенността на съоръжението съответства по пикове и форма на графиката на средно квадратичното отклонение от нормирания сигнал за дадена последователост. В отделни позиции, където има предположение за обекти, кухини, тръби, шахти, овлажняване и др. аномалии от общата структура, може да се използват визуализации на FK или радон трансформирани изображения. Също така в процеса на автоматизирано маркиране е възможно да бъдат извеждани най-значимите отклонения под формата на единчини измервания или техните Габор спектрограми. При провежданите първоначални експерименти не се експортират точните данни за размерностите на данните за вълните, като при това те се обработват с абсолютни координати и брой измервания. В бъдеще при реализация на уеб базиран фреймуърк ще бъдебъдат изобразявани и тези данни. Направените заключения от проведените първоначални експерименти за обработка и визуализация на радарграмите са използвани при създаването на концептуален фреймуърк, използващ като база функционалностите на системата Seismic Unix с възможности за отдалечен уеб достъп, подпомагащ работата на анализатора.

**Благодарности:** Настоящата работа е осъществена с финансовата помощ на ФНИ към МОМН (договор ДФНИ-М01/9/22.11.2012 г.).

**Литература:**

1. PA.P. Annan, Practical Processing of GPR Data, 1999, Sensors & Software Inc., Sensors & Software Inc. Proceedings of the Second Government Workshop on Ground Penetrating Radar
2. J e f f r e y, J. D a n i e l s, Ground Penetrating Radar Fundamentals, Department of Geological Sciences, The Ohio State University Prepared as an appendix to a report to the U.S.EPA, Region V Nov. 25, 2000
3. Raimond GRIMBERG, Rozina STEIGMANN, Nicoleta IFTIMIE, Adriana SAVIN, 6th NDT in Progress 2011, International Workshop of NDT Experts, Prague, 10-12 Oct 2011, Ground Penetrating Radar as tool for nondestructive evaluation of soil, National Institute of Research and Development for Technical Physics, Iasi, Romania
4. European GPR Association, http://www.eurogpr.org/
5. Y i l m a z, O. 1987. Seismic Data Processing. SEG.
6. F i s h e r, E., M c M e c h a n, G., A n n a n, A., and C o s w a y, S. (1992). "Examples of reverse time migration of single channel, ground penetrating radar profiles." *GEOPHYSICS*, 57(4), 577–586.
7. S c u l l i o n, T., S a a r e n k e t o, T. G r o u n d. Penetrating Radar Technique in Monitoring Defects in Roads and Highways. Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 1995: pp. 63-72.
8. M a i j a l a, P., 1992: Application of some seismic data processing methods to ground perpetrating radar data, Fourth International Conference on Ground Penetrating Radar June 8-13, 1992. Rovaniemi, Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 16, 365 pages.
9. R e i n a l d o A l v a r e z C a b r e r a, GPR Antenna Resolution, GEOSCANNERS AB
10. Ground Penetrating Radar Survey Design, 1992-1999, Sensors & Software Inc., www.sensoft.on.ca

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# КОНЦЕПТУАЛЕН ФРЕЙМУЪРК ЗА ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И ЦИФРОВА ОБРАБОТКА НА РАДАРГРАМИ

**Георги Петров**

*Нов български университет*
*e-mail: gpetrov@nbu.bg*

***Ключови думи:*** *Графичен интерфейс за Seismic Unix*

***Резюме:*** *В доклада е представен работен модел на софтуерно приложение, имащо за цел да подобри и ускори работата на оператор, използващ стандартни професионални софтуерни инструменти за цифрова сигнална обработка и визуализация на радарграми чрез пакета Seismic Unix. Описани са основни трудности в използването на стандартни професионални софтуерни пакети за обработка на сигнали от радарграми и тяхното моделиране, като фокусът е поставен над някои предложени методи за тяхното преодоляване. Разработеният работен прототип позволява чрез лесноразбираем графичен интерфейс операторът да може бързо да избира, зарежда, визуализира и обработва интересуващите го радарграми с минимални познания в операционната система Unix. Обсъдени са възможни приложения на подобна система с отворен Уеб интерфейс.*

# CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR VISUALIZATION AND DIGITAL SIGNAL PROCESSING OF GPR RADARGRAMS

**Georgi Petrov**

*New Bulgarian University*
*e-mail: gpetrov@nbu.bg*

***Keywords:*** *GPR DSP, Seismic Unix*

***Abstract:*** *This report presents a working model of a software application designed to improve and accelerate the work of the operator using standard professional software tools for digital signal processing and visualization of (GPR) radargrams by software tools package Seismic Unix. Authors described the main difficulties in the use of standard professional software packages for processing signals from radargrams and their modeling. The focus is placed over certain proposed methodology to overcome these dificulties. Authors describe basic architecture of developed working prototype that allows operator through simple GUI to quickly select , load , visualize and process different radargrams with minimal knowledge of the operating system Unix. Possible applications of such a system with open web based interface are described.*

## Въведение

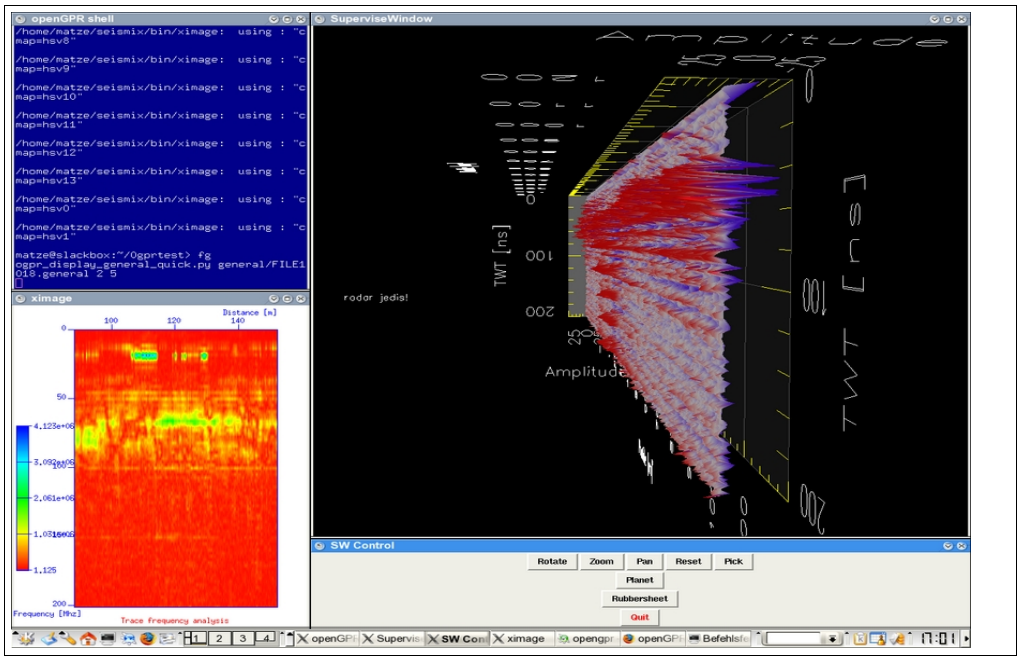
Използването на георадарен метод (Ground Pennetration Radar — GPR) при изследването на конструктивната цялост на земно-насипни съоръжения, в частност речни диги и язовирни стени, е икономически оправдан недеструктивен метод, който набира широка популярност в страните от ЕС. В България има налично голямо количество малки язовири, изградени чрез земно-насипни диги [1]. Тяхното актуално техническо състояние практически не се следи мащабно и над 90 % от тях не са претърпели капитален ремонт през последните 20-25 г., което често надвишава половината от срока на тяхната служба. Ето защо, популяризирането на този сравнително нов метод за обследване и инженерно-техническа оценка на подобни земно-насипни речни и язовирни съоръжения, ще позволи по-бързото снемане на техния актуален статус и ще позволи на повече общини с нисък бюджет да получат актуална и достатъчно надеждна справка за състоянието на редица малки язовири, разположени в техните териториални граници. По този начин ще може да бъде извършено пълномащабен национален

мониторинг, въз основа на който може да се прогнозират и планират средства за ремонти и заздравяване на онези съоръжения, представляващи най-голяма опасност за хората и стопанството като цяло. Отчитайки факта, че за масовото въвеждане на GPR методасе изисква сериозна първоначална инвестиция, екипът ни прави опит да формулира онези части от една бъдеща национална система за контрол на подобни обекти, които следва да бъдат разработвани на база отворени стандарти предвид общонационалната значимост на проблема. Наред с това, изборът на отворен интерфейс и съвременните уеб технологии с цел създаване на единна централизирана система за контрол и превенция на рисковете от наводнения, значително ще повиши възможностите за обучение на кадри, представляващи различни заинтересовани институции, организации и специалисти по общини. Ето защо, в настоящия доклад е направен анализ на възможностите, предоставяни от различни софтуерни инструменти с отворен код, специално предназначени за обработка, визуализация и моделиране на георадарни данни. Въз основа на това е предложен концептуален фреймуърк, интегриращ приложения с възможности за визуализация и цифрова сигнална обработка на радарграми с графичен и уеб базиран интерфейс. Необходимостта подобен отворен софтуерен проект да бъде обособен се налага поради факта, че съществуват редица професионални софтуерни пакети с отворен код, разпространявани от водещи университети или лаборатории и независими изследователски институти, разработвани в различни периоди от време още от началото на 70-те години. Въпреки универсалността и практически пълната функционалност, които тези инструменти предоставят, те изискват високо ниво на професионални компетенции от ползващите ги (геоложки знания, техническа грамотност и високо ниво на компютърни познания), като така се ограничава възможността по-широк кръг потребители и специалисти да могат да се възползват от техните възможности. Предвид придобилата мащабна популярност на използване на софтуер с отворен код, интеграцията на подобни продукти в единна уеб базирана система значително ще улесни работата на специалисти, занимаващи се с георадарни и др. геодезични проучвания. Формулирането на основните функционални елементи и слоеве на една такава система [5] ще бъде от съществено значение при разработването ѝ.

**Налични продукти за обработка на GPR сигнали с отворен код**

От направените проучвания може да се заключи, че съществуват редица оригинални софтуерни приложения с отворен код, които се разпространяват безплатно от различни университети и лаборатории в областта на геологията и сеизмологията. Seismic Unix е вероятно най-пълният софтуерен пакет, позволяващ прецизната обработка, визуализация и моделиране на сеизмологични данни, симулационно заснемане на радарграми и др. Това което прави уникални софтуерните приложения, разработвани за употреба в Unix операционни системи е тяхната модулност. За разлика от Windows, където повечето софтуер представлява монолитен блок от код и приложни функции, Unix програмният модел има за цел да създава малки добре работещи приложения, обменящи данни помежду си чрез системните интерфейси на операционната система. Това прави този подход уникален и съдейства за неговото устойчиво развитие. Също така Linux базираните системи с уеб интерфейс могат еднакво добре да се възползват от този подход като така обработката, съхраняването и визуализацията на радарграмите може да бъде извършвано от различни приложни инструменти, като интерфейса с потребителя да бъде изцяло уеб базиран. Този метод би позволил множество потребители да се възползват от подобен род услуга, като могат на база свои потребителски акаунти да качват радарграми, направени на терен през мобилните си телефони и още бидейки на терена да извършват предварителен анализ на радарграмите. Използването на интегриран подход ще позволи решаването на редица проблеми, свързани с пренасянето на данни между различни оператори и специалисти, занимаващи се с последващата експертиза, като така те ще могат да работят отдалечено. Интегрирането на софтуерни инструменти в единна система ни позволява да използваме добре доказали се програми за конвертиране на данни, нормиране, статистическа обработка, цифрова сигнална филтрация, спектрален анализ, време честотен и пространствен честотен анализ, уейвлет анализ, многопараметричен модел за разпознаване на обекти и др. да бъдат свързани в единен графичен интерфейс. Например, за моделиране на радарграми би могло да се ползва програмен модули, като GprMax [2] разработен в университетът в Единбург, а за визуализация на 2D радарграми да се използва възможностите на Gnuplot [3], който се използва и от програмния продукт за моделиране Octave, а също така и от самия Seismic Unix. За генериране на 3D изображения с различни разрези при моделиране на тримерни геоложки структури от набор радарграми е възможно да се използва openDX (разработван от IBM, като приложението Data Explorer в последствие пуснато, като приложение с отворен код) [6]. Подобен подход е използван при реализацията на

проекта openGPR [4] (фиг. 1), като в него чрез използването на програмния език Python с интегрирана възможност за създаване на потребителски бази данни с SQLite (също софтуер с отворен код).

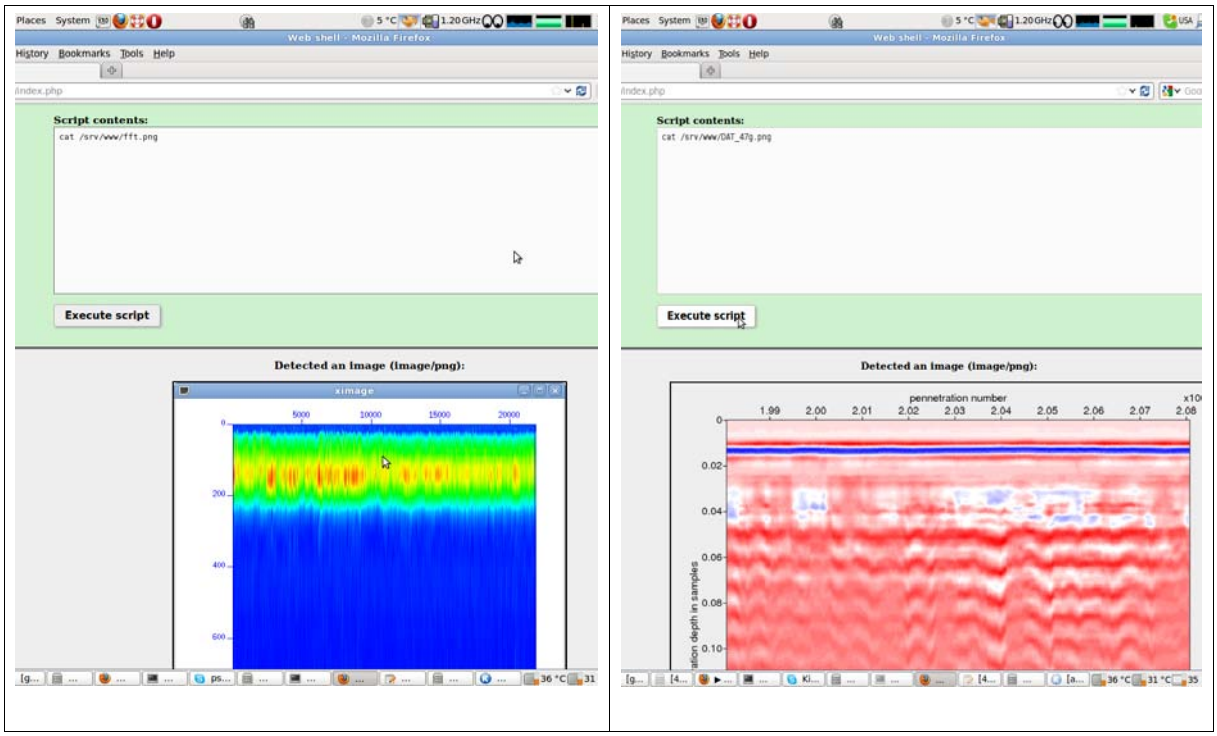



Фиг. 1. Екранен изглед на openGPR

**Уеб базиран интерфейс**

Повечето от гореизброените приложения изискват от потребителя като минимум едни добри познания на операционната система Linux с умения за инсталиране и актуализиране на пакети, а също така и компилация на редица програми. Макар тези приложения да са добре документирани е невъзможно те да получат масова популяризация сред специалистите, занимаващи се с обработка на радарграми поради сравнително дългия цикъл на усвояване на знанията. Също така при цифровата сигнална обработка прилаганите методи често са достатъчно сложни (например, Радон трансформация, FK трансформация, спектрален анализ по дълбочина, време и пространство), че да не позволят на обикновенния потребител да разбира и правилно да използва определени възможности. Още повече, че болшинството подобни инструменти изискват активна работа от оператора чрез въвеждане на команди през терминала на системата. Ето защо, интеграцията на подобни отворени пакети за обработка, съхраняване, визуализация и моделиране следва да става при наличие на достатъчно опростен графичен интерфейс за крайния потребител. Предвид широката достъпност на уеб браузърите, практически всеки модерен компютър, таблет и дори телефон има такава възможност и може да се счита, че уеб базирания подход ще разшири потенциалния кръг потребители на подобна система. Още повече, че редица видове обработка на сигналите изисква значителна изчислителна мощност от компютърните системи, върху които това се извършва, особено в голяма степен това касае моделирането на изкуствени радарграми по предварително зададен модел. Далеч по-удобен подход е данните от подобни измервания да бъдат съхранявани и обработвани централизирано, а техните потенциални потребители, учащи и граждани да могат да получават достъп през уеб портал. Този подход ще позволи също така и да се напрвят различни типове визуализации за обикновенни и напреднали потребители. Също така уеб базирания подход от типа социална мрежа ще даде възможност на студенти, учащи и експерти да коментират съвместно конкретни обекти на изследването. Нещо повече, това ще позволи саздаването на динамична във времето картина за състоянието на редиця земно-насипни съоръжения, в частност язовирни стени и речни диги. Това ще подобни информираността относно преимуществата на тази нова технология и също така ще създаде предпоставка за обмен на добри практики, касаещи поддръжката на тези обекти. Намирайки се на един първи етап от прототипирането, наличният към момента уеб базиран интерфейс позволява еднопотребителска обработка и визуализация на данни от радарграма (фиг. 2). Функционално към настоящия момент потребителят въвежда командите, които се изпращат към сървъра и обработения резултат бива визуализиран в уеб страницата.

Предвижда се този интерфейс да поддържа и готови визуални контроли като падащи списъци с опции и виртуален визуален редактор на изискванията от потребителя последователности от операции.




Фиг. 2. Уеб базиран интерфейс за обработка и визуализация на трансформирани радарграми — ляво, и радарграми — дясно

**Заключение**

Извършеното проучване на наличните към момента инструменти и програми с отворен код позволяват създаването на система за обработка, анализ, съхраняване и визуализация на данни от георадар с уеб базиран интерфейс. При определяне на изискванията към системата са спазени следните изисквания: абсолютно всички продукти да се разпространяват като приложения с отворен код и да се разпространяват безплатно; абсолютно всички приложения да са обект на дългогодишна разработка и употреба от научни институти и индивидуални потребители по света; разработеният екпериментален програмен модул също представлява приложение с отворен код. Ползваният подход ще позволи при бъдещо развитие на системата да бъдат интегрирани независимо разнообразни библиотеки и програми за обработка на радарграмите включително и 3D визуализация. Избраният подход ще съдейства за популяризиране на GPR метода за неговото бъдещо мащабно използване при обследване на земно-насипни съоръжения - речни диги и язовирни стени, като така ще се подобри и информираността на населението и общините относно актуалното състояние на обектите, находящи се на тяхна територия.

**Благодарности:** Настоящата работа е осъществена с финансовата помощ на ФНИ към МОМН (договор ДФНИ-М01/9/22.11.2012 г.).

**Литература:**

1. Б е р б е р о в а, Р. 2011, „Аналитичен обзор на природните бедствия по света“, Сборник с доклади от научна конференция с международно участие “Космос, екология, нанотехнологии, сигурност” SENS’2010. БАН. 321-327
2. A n t o n i s G i a n n o p o u l o s, GprMax2D/3D User’s Manual2005
3. P h i l i p p K. J a n e r t, Gnuplot in Action Understanding Data with Graphs, Manning Publications 2009
4. http://opengpr.sourceforge.net/old/
5. А н д о н о в, Ф., Г. П е т р о в, „Концептуален фреймуърк за интелигентна охранителна сензорна мрежа, Конференция НВУ 2010г.
6. П е т р о в, Г., В. С е р г и е в а, Р. Б е р б е р о в а, „Софтуерни приложения за обработка и визуализация на сигнали от георадар“, Годишник на ТУ-София 2013

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# OZONE DYNAMICS OVER BULGARIA

**Bogdana Mendeva**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*Stara Zagora Department, 6000 Stara Zagora, PO Box 73, Bulgaria,*
*e-mail: bmendeva@abv.bg*

***Keywords:*** *Total ozone content (TOC), annual TOC course, satellite measurements.*

***Abstract:*** *This paper presents the total ozone column (TOC) behaviour over Stara Zagora, (42° 25' N, 25° 37' E), Bulgaria in the period 1997-2012. The ozone dynamics is investigated by using satellite data from the Total Ozone Mapping Spectrometer-Earth Probe (TOMS-EP) and Ozone Monitoring Instrument (OMI).*

*The course of the daily and monthly mean ozone values is presented. The seasonal TOC variations are clearly marked. These variations are expressed by an abrupt maximum in the spring and a gently sloping decrease in the autumn.*

*For tracking out the TOC course for a longer period we use TOMS-EP and OMI data. The results from both instruments, simultaneously operating in 2005, are compared. There is a good agreement between them : R = 0.944. This allows to use the consecutive TOMS-EP data (1997–2004) and the OMI data (2005-2012) for investigation of the ozone behaviour in the period 1997-2012.*

*Our analysis shows that the trend in the TOC course is negative (-1.94%) during the period 1997-2012. The calculations give different trend values in the various seasons.*

# ДИНАМИКА НА ОЗОНА НАД БЪЛГАРИЯ

**Богдана Мендева**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките,*
*Филиал Стара Загора, 6000 Стара Загора, п.к.73, България*
*e-mail: bmendeva@abv.bg*

***Ключови думи:*** *Общо съдържание на озона (ОСО), годишен ход на ОСО, спътникови измервания.*

***Резюме:*** *Докладът представя поведението на общото съдържание на озона (ОСО) над Стара Загора, (42° 25' N, 25° 37' E), България в периода 1997-2012 г. Динамиката на озона е изследвана чрез използване на спътникови данни от Total Ozone Mapping Spectrometer-Earth Probe (TOMS-EP) и Ozone Monitoring Instrument (OMI).*

*Показан е ходът на дневните и средномесечните стойности на озона. Сезонните вариации на ОСО са ясно изразени. Тези вариации се проявяват със стръмен максимум през пролетта и полегато намаление през есента.*

*За проследяване хода на ОСО за по-продължителен период ние използваме данните от TOMS-EP и OMI. Сравнени са резултатите от двата уреда, работили едновременно през 2005 г. Между тях има добро съвпадение: R = 0.944. Това ни позволява да използваме последователните данни от TOMS-EP (1997–2004 г.) и от OMI (2005-2012 г.) за изследване поведението на озона в периода 1997-2012 г.*

*Нашият анализ показва, че трендът в хода на ОСО е отрицателен (-1.94%) в периода 1997-2012 г . Пресмятанията дават различни стойности на озоновия тренд през различните сезони.*

## Introduction

The ozone is one of the components of the Earth's atmosphere, which strongly absorbs the short-wave solar ultraviolet (UV) radiance, which damages the biosphere. At the same time, the ozone is a gas, major for the thermal conditions of the stratosphere. The significant changes of the total ozone amount in the atmosphere over the South pole regions, observed during the last decades, have

attracted the attention of the scientific community. Together with the ozone decrease in the polar atmosphere, similar behavioral features have also been observed at mid-latitudes [1,2]. The measurements show unambiguously that the total ozone over northern mid-latitudes decreased from 1980 to the mid-1990s. Since then TOC depletion hasn't been registered [3,4,5]. Therefore, the monitoring of the ozone amount in global scale is considered nowadays a task of primary significance for the life of our planet.

For this purpose the Global Atmosphere Watch (GAW) network has been created to monitor the total ozone by a set of ground-based instruments. Simultaneously, several projects such as the Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS), the Global Ozone Monitoring Experiment (GOME), the SCanning Imaging Absorption SpectroMeter for Atmospheric CHartographY (SCIAMACHY), Ozone Monitoring Instrument (OMI) etc. investigate the ozone from space.

**Instruments and methods**

This paper presents the total ozone column (TOC) behaviour over Stara Zagora, (42°25' N, 25° 37' E), Bulgaria in the period 1997-2012. The ozone dynamics is investigated by using satellite data from the Total Ozone Mapping Spectrometer-Earth Probe (TOMS-EP) and Ozone Monitoring Instrument (OMI).

TOMS-EP continues the NASA Program for mapping and research of the global ozone distribution in the Earth's atmosphere from 1996 to 2005. The TOMS measurements cover the near ultraviolet region of the electromagnetic spectrum where the solar radiation is partially absorbed by the ozone. The intensity is registered in 6 wavelengths. TOMS measures the total ozone content in an atmospheric column from the Earth's surface to the upper atmospheric boundary under any geophysical daily conditions.

Ozone Monitoring Instrument flies on the Aura satellite since July 2004. OMI is a nadir-viewing wide-field-imaging spectrometer giving daily global coverage. It employs hyperspectral imaging in a push-broom mode to observe solar backscatter radiation in the visible (350-500 nm) and ultraviolet (270-380 nm). Two algorithms, OMI-TOMS and OMI-DOAS (Differential Optical Absorbtion Spectroscopy) are used to produce OMI daily total ozone datasets. OMI is continuing the TOMS record for total ozone and other atmospheric parameters related to ozone chemistry and climate.

**Data analysis and results**

Fig.1 shows the annual TOC variations by data of TOMS-EP (1999-2005). The data of the ground-based spectrophotometer Photon, working in Stara Zagora Department of SRTI-BAS, are presented too.

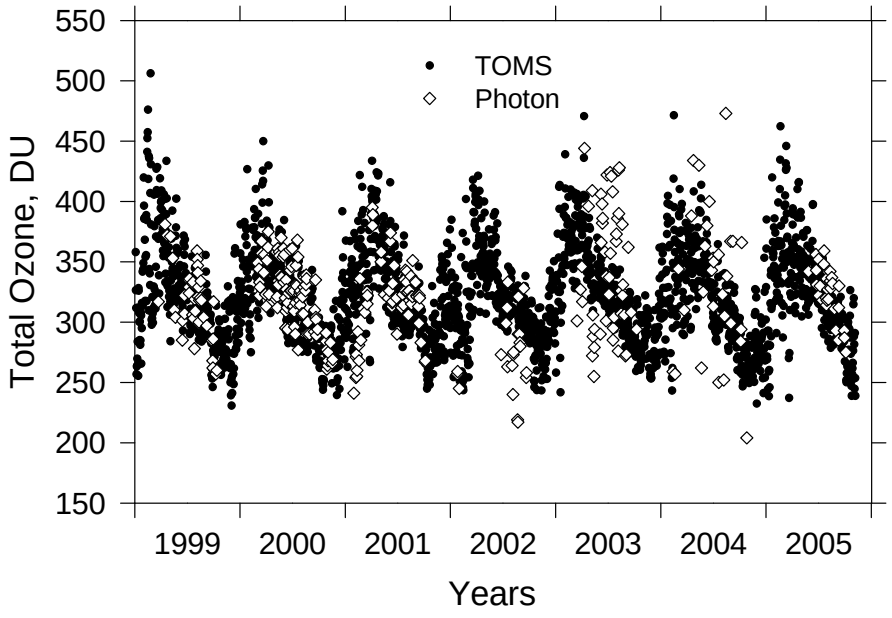



Fig. 1. Annual TOC variations, measured by TOMS-EP and Photon during 1999-2005

Fig. 2 shows the annual TOC variations in the period 2005-2012 by data of OMI. The ozone variations in both figures are expressed by an abrupt maximum in the spring and a gently sloping decrease in the autumn. This ozone seasonal course doesn't correspond to the solar radiation energy distribution throughout the year. It is also different from the course of other parameters, such as temperature, humidity, air pressure, which follow the course of the solar radiation with a certain delay at all latitudes.

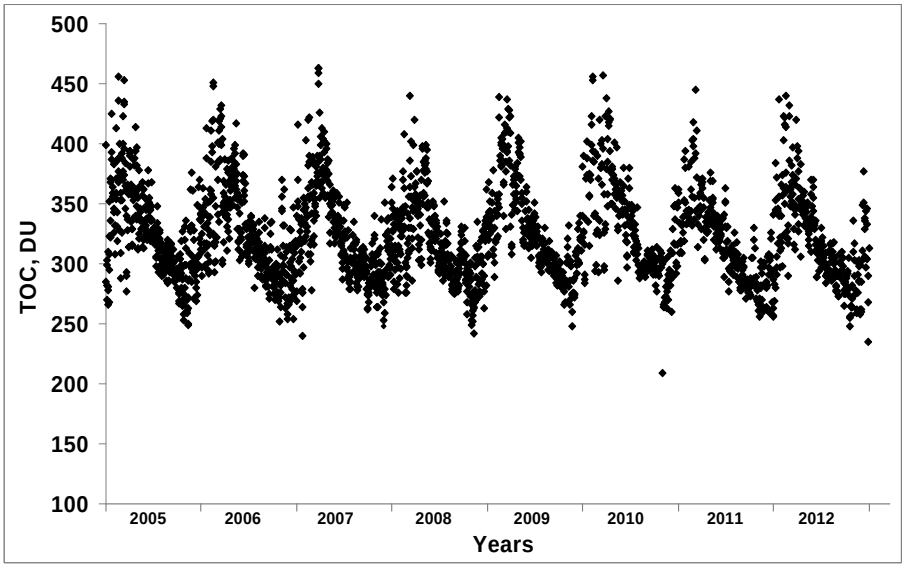



Fig. 2. Annual TOC variations, measured by OMI during 2005-2012

For tracking out the TOC course for a longer period we use TOMS-EP and OMI data. The results from both instruments, simultaneously operating in 2005 are compared. There is a good agreement between them : R = 0.944 (Fig.3). This allows to use the consecutive TOMS-EP data (1997–2004) and the OMI data (2005-2012) for investigation of the ozone behaviour in the period 1997-2012.

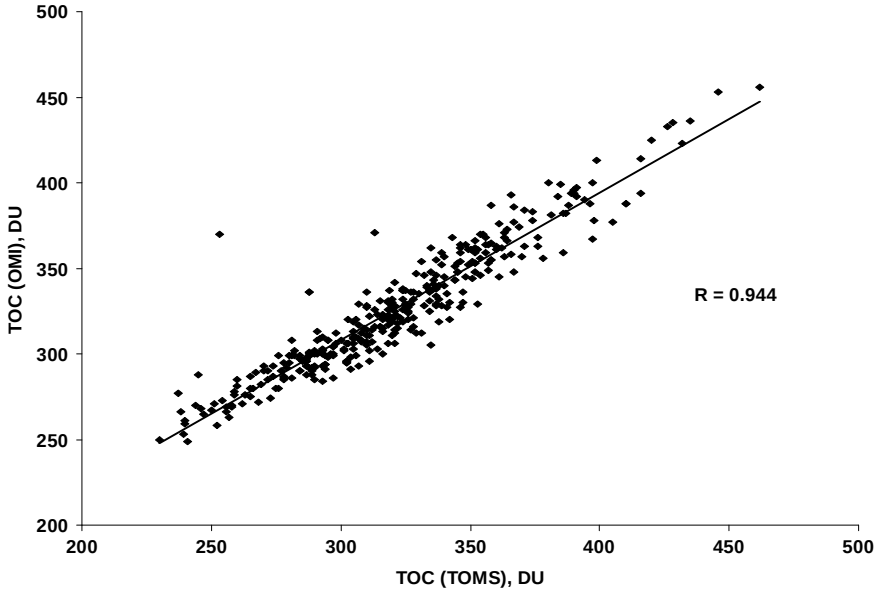



Fig. 3. Correlation straight line between ozone values, measured by TOMS-EP and OMI in 2005

Fig. 4 presents the monthly mean ozone values in the period 1997-2012 by data of TOMS-EP and OMI. During this time period the biggest ozone maxima are measured in March 1998: 396 DU, in February 2003: 401 DU and in March 2009: 390 DU. The smallest TOC maxima are in April 1997: 366 DU, in March 2000: 357 DU and in March 2008: 352 DU. The deepest TOC minima are registered in October 2000,2001: 273 DU, in November 2002: 279 DU , in November 2011 and in October 2012: 278 DU.

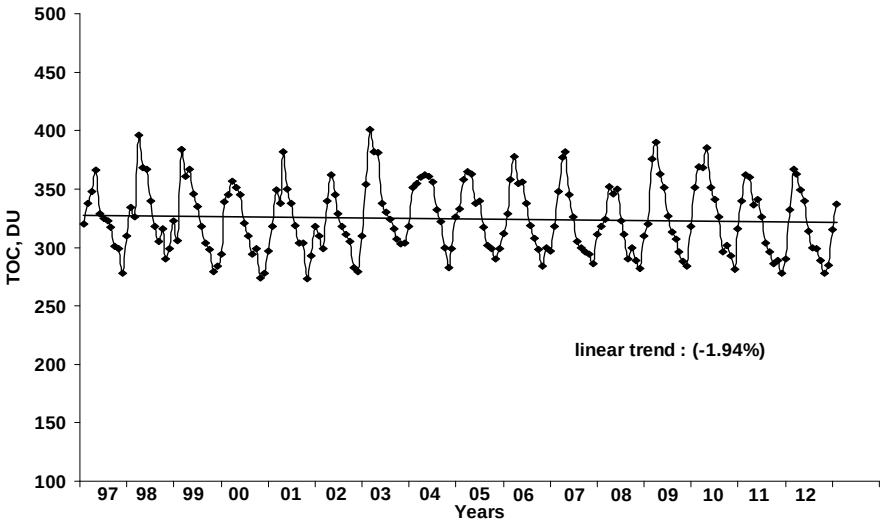



Fig. 4. Behaviour of the monthly mean ozone data from TOMS-EP (1997-2004) and OMI (2005-2012)

The existence of long-term ozone data enables the study of the ozone trends. In the last years many scientists in various projects have focused their attention on this problem. The EU CANDIDOZ project (Chemical And Dynamical Influences on Decadal Ozone Change) investigated the chemical and dynamical influences on decadal ozone trends focusing on the Northern Hemisphere [6].

The overall synthesis of the individual analysis in this project shows clearly one common feature in the northern mid-latitudes and in the Arctic: an almost monotonous negative trend from the late 1970s to the mid 1990s followed by an increase.

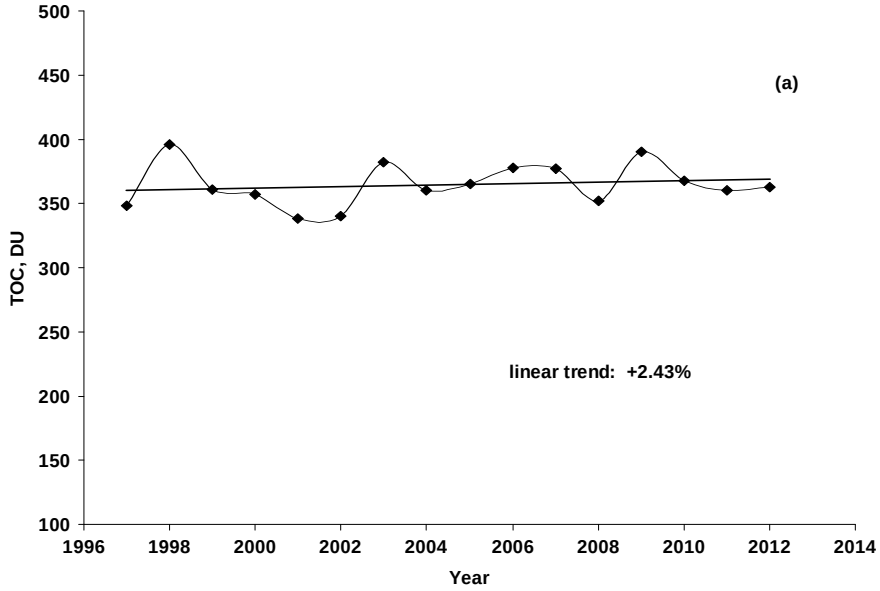



Fig. 5a. TOC monthly mean values from TOMS-EP and OMI (1997-2012): March

To investigate the total ozone behaviour over Bulgaria we have used monthly mean ozone satellite data in the period 1997-2012. Our analysis shows that the trend in the TOC course is negative: (-1.94%). The calculations give different trend values in the various seasons (Fig.5a,b,c,d).

Thus, in spring (March), in autumn (October) and in winter (January) the linear trend is positive: +2.43%, +0.53% and +3.48% respectively. In summer (July) it is negative: -4.01%. Zanis et al. found also a positive ozone trend over Arosa during the winter to spring period [7]. These results show a probable seasonal dependence of the TOC trend.

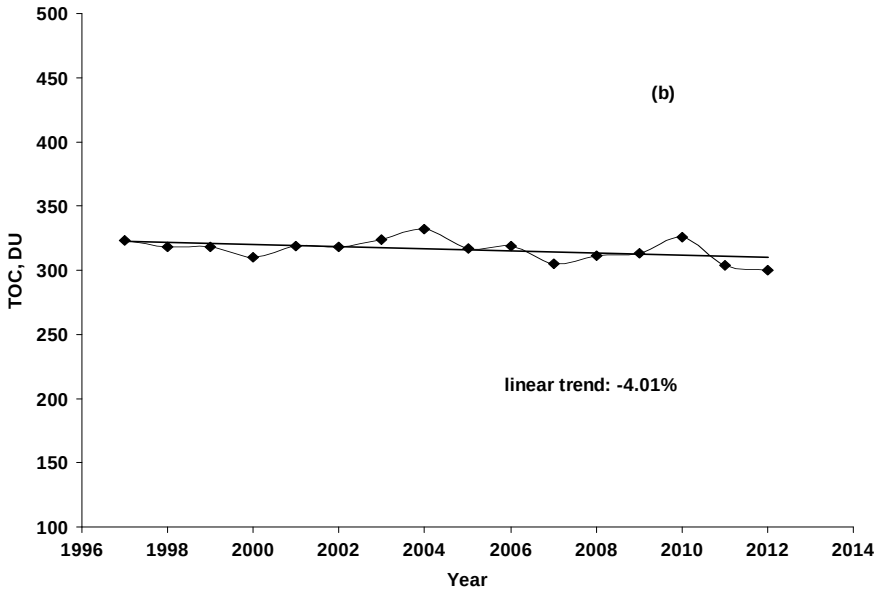



Fig. 5b. TOC monthly mean values from TOMS-EP and OMI (1997-2012): July

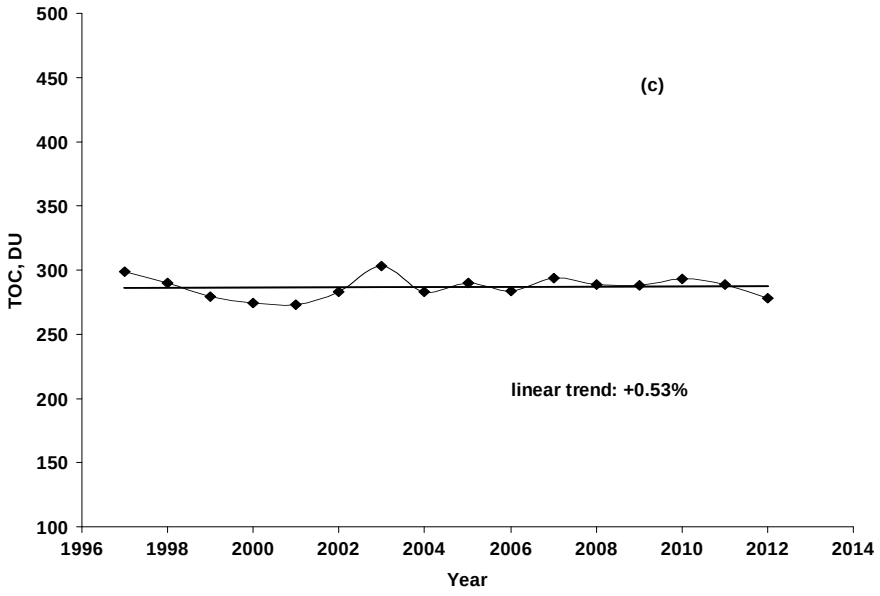



Fig. 5c. TOC monthly mean values from TOMS-EP and OMI (1997-2012): October

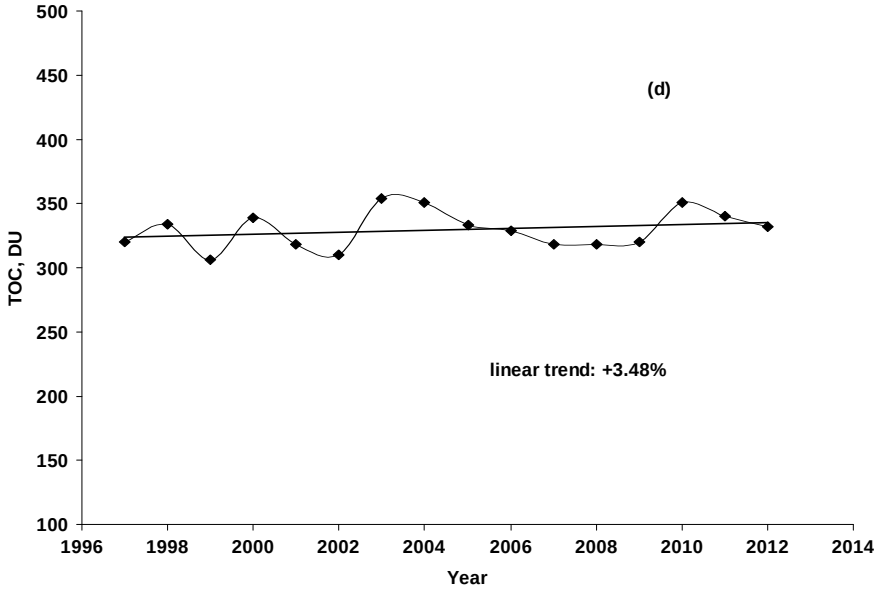



Fig. 5d. TOC monthly mean values from TOMS-EP and OMI (1997-2012): January

**References:**


1. B o j k o v, R. D., V.E. F i o r e t o v. and A. M. S h a l a m i a m n s k y. Total ozone changes over Eurasia since 1973 based on reevaluated filter ozonometer data. J.Geophys.Res., 99, 22985-22999, 1994.
2. Z e r e f o s, C.S. Long-term total ozone and UV variations through the year 2000, Report IAGA/ICMA workshop, 25-28, 2001.
3. H a d j i n i c o l a o u, P., J. A. P y l e and N. R. P. H a r r i s. The recent turnaround in stratospheric ozone over northern middle latitudes: A dynamical modeling perspective. Geophys. Res. Lett., 32, L12821, doi: 10.1029/2005GL022476, 2005.
4. K r z y s c i n, J. W., J. J a r o s l a v s k i and B. R a j e v s k a – W i e c h. Beginning of the ozone recovery over Europe? Analysis of the total ozone data from the ground-based observations, 1964-2004. Ann. Geophys. 23 (5), 1685-1695, 2005.
5. V a r o t s o s, C. Power-law correlations in column ozone over Antarctica, Int. J. Rem. Sens., 26, N 16, 3333-3342, 2005.
6. H a r r i s, N. R. P., E. K y r o, J. Staehelin et al., Ozone trends at northern mid- and high latitudes – a European perspective, Ann. Geophys., 26, 1207-1220, 2008.
7. Z a n i s, P., E. M a i l l a r d , J. S t a e h e l i et al. On the turnaround of stratospheric ozone trends deduced from the re-evaluated Umkehr record at Arosa, Switzeland, J.Geophys.Res., 111, D22307, 2006.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ОБРАБОТКА И ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДВЕГОДИШНИ ДАННИ ЗА ДОБИВ НА СЛЪНЧЕВА ЕНЕРГИЯ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА МС Vantage Pro2 Plus В РЕГИОН 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:*** *В продължение на 28 месеца или малко повече от 2 години са измерени, събрани и обработени база данни за слънчевото греене в регион Ст. Загора. С помощта на тези данни се проследява изменението на енергийните слънчеви характеристики през различните месеци, свързано със сезонния характер на положението на Слънцето. Показана е и степента на повтаряемост през едноименните месеци за различни години. В таблици и графики е дадено почасовото изменение в рамките на един ден а също и сравнението на това изменение за няколко последователни дни. Проследени са и дневните изменения в рамките на един и няколко месеца. Данните са измерени и събрани с помощта на Метеорологичната станция Vantage Pro2 Plus за период през 15 минути. В настоящето изложение директно получените данни от сензорите са интегрирани и преизчислени за да могат да се получат резултати за слънчевата енергия, която се усвоява за определен период от време от единица площ на земната повърхност. С получените резултати на практика става възможно да се изчисли и прогнозира енергийната ефективност на фотосоларните станции монтирани в регион Стара Загора.*

# PROCESSING AND INVESTIGATION OF THE TWO-YEAR YIELD DATA OF SOLAR ENERGY USING WS Vantage Pro2 Plus IN THE REGION ST. 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****: In a period of 28 months, or slightly more than 2 years, database for sunshine in the region Stara Zagora are collected and analyzed. By the use of the data, the change of solar energy characteristics during different months, related to the earth seasons and Sun's location, is tracked. The repeatability for corresponding months of different years is revealed too. The hourly daylight change for one day as well as a comparison of the change for several consecutive days are presented in Tables and graphs. The daily changes are tracked for a month and within a few months. The data have been measured and collected in 15 minutes intervals by the help of a meteorological station Vantage Pro2 Plus. In the presented paper, the precisely received data from the sensors are integrated and approximated in order to obtain information for the absorbed solar energy per unit area for a given time period. Practically, the obtained results provide possibility the energy efficiency of photovoltaic plants installed in the region Stara Zagora to be calculate and predicted.*

## 1. Въведение

За да се проследи изменението на енергийните слънчеви характеристики през различните времеви периоди се използва база данни получени от Метеорологичната станция Vantage Pro 2 Plus, която е от полупрофесионален тип. В сравнение с основния вариант на

метеостанциите от типа на Vantage Pro, полупрофесионалната станцията Vantage Pro 2 Plus е снабдена с допълнителни сензори за измерване на слънчевата радиация и слънчевото ултравиолетово излъчване. Тези сензори регистрират интензивността на слънчевата радиация, дозата и индекса на ултравиолетовото излъчване. Метеорологичната станция Vantage Pro 2 Plus предоставя на своите потребители освен седемте директно измервани метеорологични параметри като: температура**,** относителна влажност, атмосферно налягане, валежи, скорост и посока на вятъра и още над тридесет производни параметри, като слънчева енергия (Solar Energy), която се получава чрез интегриране по време на директно измерваната Слънчева радиация ( Solar Radiation).

Метеостанцията Vantage Pro 2 Plus е продукт на американската корперация Davis. Поради тази причина Слънчевата енергия е дадена в единица Langley.

1 Langley = 11.622 Wh/m2

Всички данни за метеорологичните параметри могат да се експортират чрез файл в текстови формат за тяхната по-нататъшна обработка.

## 2. Зависимост между слънчевата радиация и слънчевата енергия

Слънчевата радиация е важен фактор във фотосоларната енергетика, която придобива все по-голяма актуалност през последните години. Връзката между слънчевата енергия и слънчевата радиация се получава като измерванията за слънчевата радиация се интегрират по време. По този начин измерванията на слънчева радиация се превръщат в данни за слънчевата енергия.

Особено важно е да се знае, че добивът на енергия за различните региони може да е съвсем различен. Това се дължи на факта, че само част от слънчевата енергия достига до земната повърхност. Една част от попадащата слънчевата радиация върху земната атмосфера се рефлектира директно обратно в космоса, а друга част се абсорбира в стратосферата и тропосферата. Общо около 19% от слънчевата енергия не достига долните слоеве на земната повърхност (Roedel, 1994) [4].

Интензитетът на слънчевата радиация намалява главно поради поглъщането от водните пари в инфрачервената област на спектъра, озоновото поглъщане в ултравиолетовата област и разсейването от частиците във въздуха. Такива компоненти като въглеродния двуокис и някои други газове, които се съдържат в по-малки количества в атмосферата, поглъщат част от топлинната радиация, излъчена от земната повърхност. Следователно добивът на енергия за различните региони може да е съвсем различен в зависимост от техните особености.

Слънчевата енергия се излъчва главно като електромагнитна радиация със спектър на идеално черно тяло характеризиращо се с температура от приблизително 6000К. Слънчевата радиация е плътността на лъчистия енергиен поток излъчван от Слънцето, измерван на разстояние една астрономическа единица върху единица хоризонтална площ за единица време. Тя се измерва в единици ват на квадратен метър [ $W/m^2$ ]. Количеството енергия на квадратен метър за определен период от време се получава чрез интегриране на слънчевата радиация по време. Поради тази причина количеството слънчева енергия се измерва в единици ватчас на квадратен метър [ $W*h/m^2$ ].

Интензитетът на слънчевата радиация попадаща върху земната повърхност, се изменя в зависимост от разстоянието Земя-Слънце. Степента на абсорбцията на слънчевата радиация зависи от дължината на оптичния път, който светлината трябва да премине през атмосферата за да достигне от горните слоеве на атмосферата до повърхността на Земята. Тя е обратнопропорционална на косинуса на ъгъла между положението на Слънцето и зенита.

Слънчевата радиация попадаща върху дадена повърхност има две компоненти. Едната е директната радиация, падаща върху повърхността без изменение на посоката. Другата е дифузната радиация, която представлява сумата от разсеяната в атмосферата и отразена от почвата и околните предмети радиация, падаща върху дадена повърхност. Наличието на облаци води до отслабване на директната и увеличаване на разсеяната радиация.

В настоящите изследвания разчетите са направени за потока от слънчева енергия, който попада върху фотосоларните преобразователи, а каква част от него ще се усвои зависи от коефициента на полезно действие на съответните преобразователи.

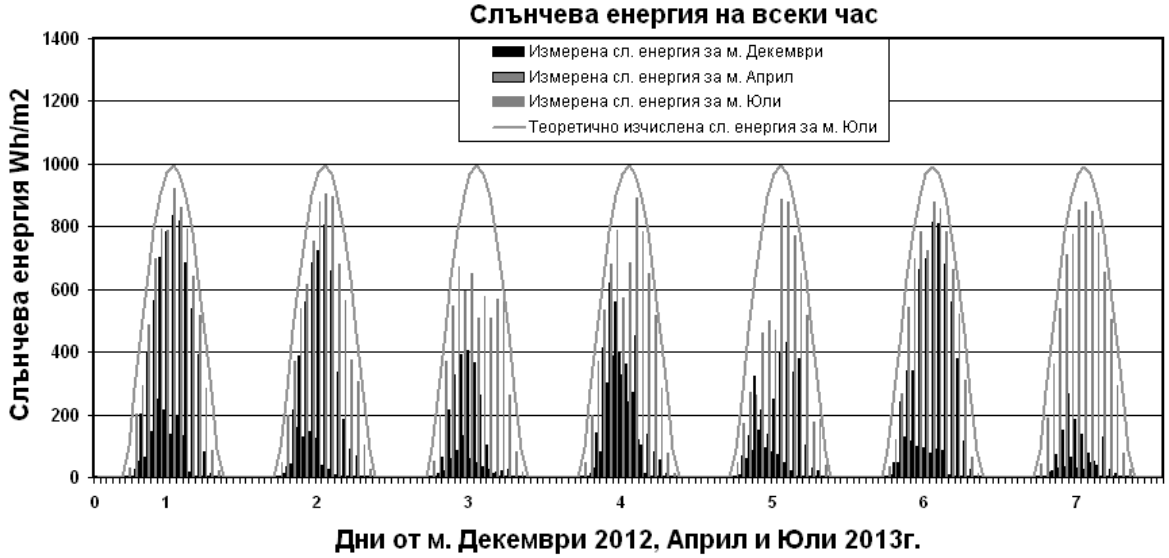
## 3. Използване на данните измерени с помощта на метеорологичната станция Vantage Pro 2 Plus за изследване на слънчевата енергия падаща на земята

Данните получени от метеорологичната станция се запазват във файлове с текстови формат, като за всеки 15 минути е направено по едно измерване. След това тези данни се

интегрират за всеки час, за всеки ден и за всеки месец. Общия обем на базата данни е за период от 28 месеца. Получените резултати са показани в графичен и табличен вид.

### 3.1 Изследване на часовия ход на слънчевото греене

Слънчевата енергия измерена за всеки час т.е. сумарната слънчевата радиация за един час за период от една седмица през различни месеци е показана на фиг.1.




Фиг. 1. Слънчева енергия измерена за всеки час

С плътна линия е начертана теоретичната слънчева енергия достигаща до земята, а във вид на стълбчета с различна плътност на сивата скала са показани стойностите за първите 7 дни от месеците Декември, Април и Юли. Тези месеци са подбрани така, че да има летен месец с най-голямо слъчево греене, зимен месец с най-малко и преходен със средна степен на слънчево греене. От графиката се вижда, че теоретичната линия изчислена за месец Юли и измерената също за месец Юли са много близко една до друга за дни 1,2, 6 и 7, с малки отклонения за дни 4 и 5, а най-голямо е отклонението за ден 3. Интересен факт е, че слънчевото греене за месец Юли е сравнително стабилно като се колебае около 800 $Wh/m^2$ . През зимния месец Декември то също е стабилно и се колебае около 200 $Wh/m^2$ . За месец Април, обаче наблюдаваме значителни колебания – от 800 $Wh/m^2$ за 1-ви и 2-ри ден до 200 $Wh/m^2$ за 3-ти и 7-ми ден. От тук може да се направи заключението, че през преходните сезони стойностите на слънчевото греене са значително по-колебливи, което е свързано и с по-големите промени в пропускливостта на атмосферата, както отбелязахме по-горе. В следствие на променящото се състояние на атмосферата и на облачността измерените стойности са по-малки от теоретичната оценка, а при безоблачно време се приближават до тези стойности. Следователно, отслабването на слънчевата радиация, респективно на слънчевата енергия в атмосферата не е едно и също за различните части на нейния спектър, а освен това зависи както от съдържанието на влага в атмосферата, така и от облачността.

Например абсолютно сухият и чист въздух притежава най-голяма прозрачност за инфрачервената радиация и най-малка за ултравиолетовата радиация. Наличието на озон в атмосферата също оказва влияние в поглъщането на радиация в утравиолетовия и в далечния инфрачервен диапазон. Коя от компонентите какво влияние оказва не може точно да се посочи, но в случая е важно каква част от енергията достига до повърхността на земята.

Друг факт, който се наблюдава на графиката е,че максимумът на слънчевата енергия е приблизително от 10 часа до 17 часа. Логично е да се очаква, че през нощта добивът на слънчева енергия е практически нула. На графиката се вижда добре изразения часови ход на стойностите на слънчевата енергия с максимум около Слънчевия зенит.

### 3.2 Изследване на дневния ход на слънчевото греене

На фиг. 2 е показано изменението на слънчевата енергия за различните дни (сумарната слънчева енергия за един ден) от първите 15 дни на месец Юли 2011 , Юли 2012 и Юли 2013 година.




Фиг. 2. Слънчева енергия измерена за всеки ден до 15 юли от 2011 до 2013 година

От графиката се вижда, че през месеците Юли през всички години се наблюдава бавно намаляване на измерената слънчевата енергия, в следствие на намаляване на общата излъчена енергия от Слънцето, което пък е следствие на неговото променено положение спрямо зенита. Промяната на вариациите на радиацията в следствие на облаците, обаче е по-силна от този тренд. Другият факт, който се наблюдава е, че слънчевата енергия за различните дни от месеца значително се различава по стойност. Например за ден 2 и 4 стойностите са почти едни и същи, а за ден 1 и 3 те се променят от 2000 до 7500 wh/m2. Въпреки, че височината на слънцето не се променя съществено практически, измерените резултати се различават, защото атмосферата е с различна пропускателна възможност. Пропускливостта на атмосферата значително се влияе от облаци, влага, прах, както и други замърсители които поглъщат слънчевата енергия.

На фиг. 3 е показана средно измерена слънчева енергия за всеки ден от месец Юли в продължение на 3 години.




Фиг. 3. Средно измерена слънчева енергия за всеки ден от месец Юли от 2011 до 2013 г.

Със сиви стълбчета е показана средната стойност за всеки ден от месеците Юли, през трите години, а с черни линии е отбелязано дневното минимално и максимално отклонение от средната стойност. Тук още по-ясно се вижда динамиката в стойностите за 2 и 4 ден, когато е минимална спрямо 1 и 3 ден, когато е значително по-голяма. Тази динамика може да се проследи и за останалите дни.

### 3.3 Изследване на месечния ход на слънчевото греене

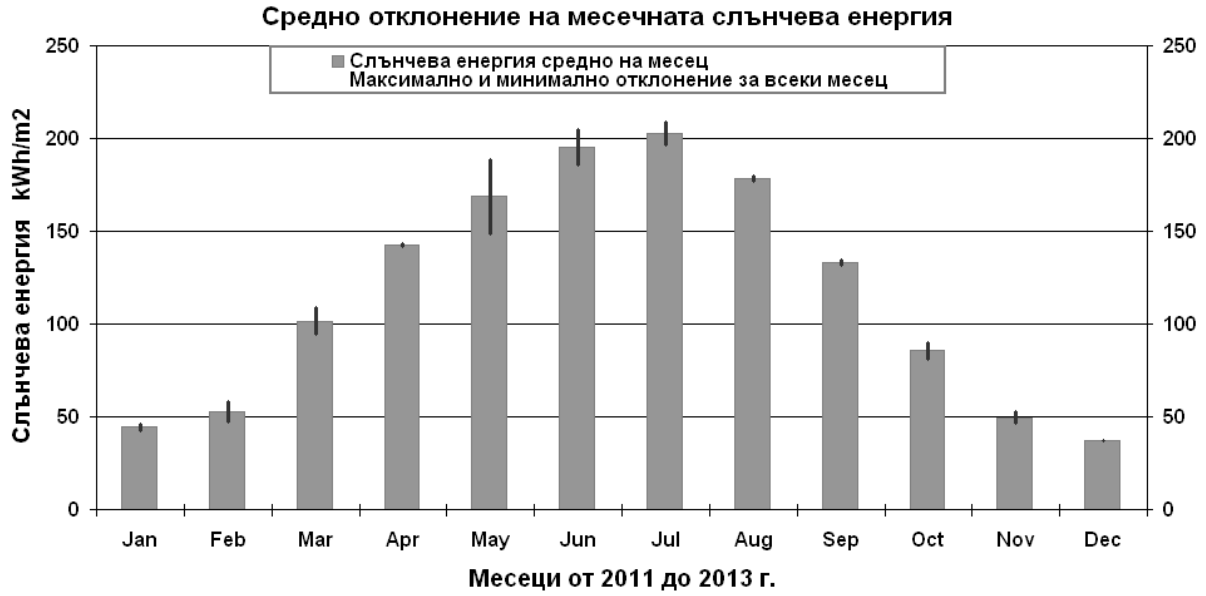
На фиг.4 са показани стойностите на слънчевата енергия измерена за всеки месец в продължение на около 3 години. За всяка от трите години стълбчетата, показващи месечните стойности са с различен цвят.




Фиг. 4. Слънчева енергия измерена за всеки месец от 2011 до 2013 г.

От графиката ясно се вижда сезонния характер в изменението на слънчевото греене. То е най-голямо през месеците Юни и Юли и най-малко през месеците Януари и Декември. Най-интересен, обаче е фактът, че динамиката в изменение на стойностите за едноименните месеци през годините е много по-малка отколкото тази на едноименните дни показана на фиг. 2 и фиг. 3.

На фиг. 5 е показана средно измерената слънчева енергия за всеки месец в




Фиг. 5. Средно измерена слънчева енергия за всеки месец

продължение на 3 години, за разлика от фиг. 4, където са показани действителните стойности на месеците. Със сиви стълбчета е показана средната месечна стойност, а с черни линии е отбелязано отклонението от средната стойност за всеки месец.

На тази графика още по-добре се вижда по-малката динамика в месечното отклонение спрямо дневното. Например за едни и и същи дни от месеците Юли 2011, Юли 2012 и Юли 2013 г., показани на фиг. 2 и фиг. 3 измерената слънчева енергия се различава значително, както отбелязахме по-горе, но за трите едноименни месеца общият добив е почти един и същи. Числовите данни показват, че за ден 1-ви разликата е повече от два пъти, а за ден 3-ти разликата е повече от 3 пъти. В същото време разликата в общата енергия за трите месеца е по-малка от 10 %. Подобни минимални разлики се получават и за другите месеци, което се вижда от месечното разпределение, показано в таблица 1. Например за месеците Януари, Април, Август и Декември тя е близка до нула.

Табл. 1. Разпределение на слънчевата енергия по едноименни месеци

| Месец | 2011 г. [ kWh/m$^2$] | 2012 г. [Kwh / m$^2$] | 2013 [Kwh / m$^2$] | Средно [Kwh / m$^2$] | Макс. разлика [Kwh / m$^2$] |
|---|---|---|---|---|---|
| Януари | | 47 | 42 | 44 | 3 |
| Февруари | | 61 | 45 | 53 | 8 |
| Март | | 111 | 92 | 102 | 10 |
| Април | | 142 | 144 | 143 | 1 |
| Май | | 140 | 197 | 169 | 28 |
| Юни | | 209 | 182 | 195 | 14 |
| Юли | 198 | 216 | 193 | 203 | 15 |
| Август | 181 | 178 | 176 | 178 | 3 |
| Септември | 133 | 136 | 130 | 133 | 3 |
| Октомври | 76 | 94 | 86 | 86 | 10 |
| Ноември | 54 | 45 | | 49 | 5 |
| Декември | 37 | 37 | | 37 | 0 |
| | | | | | |

С други думи наблюдаваме едно усредняване на месечна база. Тези първоначални резултати, въпреки, че не са достатъчно продължителни дават основание да се предположи, че би могло да се прогнозира със сравнително добра точност бъдещата ефективност на фотосоларните преобразователи.

На фиг. 6 е показано месечното разпределение на слънчевата енергия от месец Юли 2011 година до месец Октомври 2013 година, заедно с плъзгаща се средна с период 12 месеца в продължение на около 3 години.




Фиг. 6. Плъзгаща се математическа средна на слънчева енергия с период 12 месеца

Със сиви стълбчета е отбелязана стойността на измерената енергия за всеки месец, а с по-тъмната линия стойността на плъзгащата се математическа средна.

От графиката се вижда, че стойността на пъзгащата се математическа средна е почти постоянна, т.е. годишното отклонение е по-малко от месечното. Този факт потвърждава извода направен по-горе, че колкото периодът на усредняване е по-голям толкова прогнозите за стойността на слънчевото греене стават по-точни.

Максималните стойности на средна слънчевата радиация се получават през месец юли поради по-голямата дължина на деня и голямата височина на Слънцето. 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 2011 – 2013 г, тя е около 30% от теоретично максималната радиация. Доколкото слънчевата енергия е акумулираната във времето слънчева радиация тази констатация се отнася и за нея.

В таблица 2 е показано разпределението на слънчевата енергия по месеци, а заедно с това средната стойност, стандартното отклонение и относителният спад. От таблицата се вижда, че стандартното отклонение и относителния спад сравнено за месеците през различните сезони през трите години се различават значително. Това също е показателно, че факторите които влияят на слънчевата енергия и имат случаен характер като облаци, прах и други, взаимно се компенсират с течение на времето, а влиянието на слънчевото греене е с по-постоянен характер. Поради тази причина, през летните месеци, когато слънчевото греене е доминиращ фактор относителния спад е по-малък, отколкото през преходните месеци. Например за месеците Юли и Агуст то е 6.1 % и 1.3% съответно, а за месеците Октомври и Ноември 10.6 % и 12.5 % съответно, а за месец Май 23.9%.

Табл. 2. Разпределение на слънчевата енергия по месеци

| Месец / Стойности | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2011 г. kWh/m2 | | | | | | | 198 | 181 | 133 | 76 | 54 | 37 |
| 2012г. kWh/m2 | 47 | 61 | 111 | 142 | 140 | 209 | 216 | 178 | 136 | 94 | 45 | 37 |
| 2013г. kWh/m2 | 42 | 45 | 92 | 144 | 197 | 182 | 193 | 176 | 130 | 86 | | |
| Средна стойност | 44 | 53 | 102 | 143 | 169 | 195 | 203 | 178 | 133 | 86 | 49 | 37 |
| Стандартно Отклонение | 3.6 | 11.2 | 13.7 | 1.6 | 40.3 | 18.7 | 12.3 | 2.2 | 3.0 | 9.1 | 6.2 | 0.5 |
| Относителен Спад [ %] | 8.1 | 21.3 | 13.5 | 1.1 | 23.9 | 9.6 | 6.1 | 1.3 | 2.3 | 10.6 | 12.5 | 1.3 |

Друг интересен извод, който може да се направи е, че измерената енергия за период от една година е почти една и съща. Резултатите от тези разчети са дадени в таблица 3. В колонка 2 е изчислена средната месечна стойност за една година, т.е. за един период от 12 поредни месеца. Например за периода Юли 2011 до Юни 2012 тази стойност е 115.7 Kwh / $m^2$ на месец. В колонка 3 е изчислена средната стойност за всички 12-месечни периоди и тя е 116.6 Kwh /$m^2$ . В колонка 4 е показана разликата междду месечната стойност за всеки период, колонка 2 и средната стойност в колонка 3. Най голяма разлика е получена за периода Ноември 2012 – Октомври 2013 със стойност 2.5 Kwh /$m^2$ или 2.2 %. Тази ниска стойност показва, че едногодишните периоди се различават твърде малко по отношение на енергийния добив и в този смисъл може сравнително точно да се предскаже и какви ще са бъдещите стойности. За останалите периоди се вижда, че отклоненията са още по-малки. Например за периода Март 2012 – Февруари 2013 тя е само 0.3 Kwh / $m^2$, а отклонението само 0.3%.

В последните редове на табл. 3 са пресметнати стандартното отклонение за всички едногодишни периоди и относителният спад. Те са съответно 1.6 Kwh / $m^2$ и 1.38 % съответно. Тези ниски стойности още веднъж показват, че отклоненията в слънчевата радиация и респективно в слънчевия енергиен добив на годишна база са много ниски и в този смисъл поне краткосрочните прогнози ще са много точни.

Табл. 3. Разпределение на слънчевата енергия по години

| Период | Стойност на мес. [ Kwh / m2] | Средна стойн. [ Kwh / m2] | Разлика [ Kwh / m2] | Разлика [ %] |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Юли 2011 – Юни 2012 | 115.7 | 116.6 | 0.9 | 0.7 |
| Авг. 2011 – Юли 2012 | 117.3 | 116.6 | 0.7 | 0.6 |
| Септ. 2011 – Авг. 2012 | 117.1 | 116.6 | 0.5 | 0.4 |
| Окт. 2011 – Септ. 2012 | 117.3 | 116.6 | 0.7 | 0.6 |
| Ноем. 2011 – Окт. 2012 | 118.8 | 116.6 | 2.2 | 1.8 |
| Дек. 2011 – Ноем. 2012 | 118.1 | 116.6 | 1.5 | 1.2 |
| Ян. 2012 –Дек. 2012 | 118.0 | 116.6 | 1.4 | 1.2 |
| Февр. 2012 – Ян. 2013 | 117.6 | 116.6 | 1.0 | 0.8 |
| Март 2012 – Февр. 2013 | 116.3 | 116.6 | 0.3 | 0.3 |
| Апр. 2012 – Март 2013 | 114.6 | 116.6 | 2.0 | 1.7 |
| Май 2012 – Апр. 2013 | 114.8 | 116.6 | 1.8 | 1.5 |
| Юни 2012 – Май 2013 | 119.6 | 116.6 | 3.0 | 2.5 |
| Юли 2012 – Юни 2013 | 117.4 | 116.6 | 0.8 | 0.7 |
| Авг. 2012 – Юли 2013 | 115.4 | 116.6 | 1.2 | 1.0 |
| Септ. 2012 – Авг. 2013 | 115.3 | 116.6 | 1.3 | 1.2 |
| Окт. 2012 – Септ. 2013 | 114.8 | 116.6 | 1.8 | 1.6 |
| Ноем. 2012 – Окт. 2013 | 114.1 | 116.6 | 2.5 | 2.2 |
| Стандартно отклонение | 1.60 | | | |
| Относителен спад [%] | 1.38 | | | |

Тази констатация ни дава основание да пресметнем средногодишен добив (СГД) на електроенергия в регион Стара Загора:

СГД = Средномесечна енергия x 12 месеца = 116.6 x 12 = 1399.2 Kwh/$m^2$ или приблизително 1400 Kwh/$m^2$ .

**4. Заключение**

В сайта EMDE Solar (www.emde-solar.com) е посочена стойност за слънчев добив на енергия от 1314 до 1510 Kwh/$m^2$ като годишна база в регион Стара Загора или средно 1412 Kwh/$m^2$ , което сравнително точно съвпада с получените от нас резултати от 1400 Kwh/$m^2$ . При нас стандартното отклонение е значително по-малко и има стойност 1.60 Kwh/$m^2$ . Възможно е, ниската стойност на нашето отклонение да се дължи на факта, че измерванията са правени в една точка, но от друга страна средните стойности съвпадат много точно.

От теоретична гледна точка споменахме много фактори, които оказват съществено влияние върху потока на слънчевата радиация, респективно върху количеството слънчева енергия, което достига до земята. Това се потвърди и от краткосрочните измервания с помощта на метеорологичната станция. При по-дългосрочните измервания, обаче се наблюдава едно усредняване и потискане на разликата, особено на годишна база. Това се дължи на факта, че тези изменения във времето са с различен знак, както положителни така и отрицателни и при тяхното сумиране за по-дълъг период от време те взаимно се компенсират.

Натрупаната база данни е все още сравнително малка за да се направят категорични научни заключения, но се надяваме, че бъдещите изследвания ще потвърдят направените в този доклад първоначални констатации. Резултатите от това изследване могат да послужат като важен ориентир, за да се изчисли предварително очакваната енергия от фотоволтаичните преобразователи в определен географски регион.

**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 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# НИКУЛИЦЕЛ – ГОЛЯМО КАЛЕ И МАЛКО КАЛЕ

**Иван Димитров**

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

***Ключови думи**: Аспарух, Никулицел, Голямо кале и Малко кале*

***Резюме:** Представени са Голямо кале и Малко кале като част от военния лагер на хан Аспарух край с. Никулицел, Румъния. Показано е тяхното разположение на сателитни снимки и топографски карти.*

# NICULITEL – BIG AND SMALL CITADEL

**Ivan Dimitrov**

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

***Keywords:** Khan Asparuh, Nikulitcel, Big and Small citadel*

***Abstract:** The paper presents a Big and Small citadels as a part of the Khan Asparuh's military camp near Nikulitcel, Romania. Their positions are presented by the use of topographic maps and satellite images.*

## Увод

Военният лагер на Аспарух до с.Никулицел е обект на изследвания на български и румънски учени. През различните времеви периоди той е изобразяван частично на топографски карти и скици. Следи от него са ясно видими на редица сателитни снимки във видимия и инфрачервен диапазон. Основно изследване на лагера е извършил Карел Шкорпил през 1917 година и резултатите са отразени в неговия археологически отчет. През 1935 година е проведено изследване от румънския археолог Памфил Полоник. Той провежда разкопки на „Цитаделата", отбелязана от Шкорпил като Голямо кале. Лагерът край Никулицел е изследван и описан от румънския археолог и историк Петре Диакону. На някои от топографските карти [1-7] лагерът е отбелязан като "Вал на Траян". Фортификацията е изследвана и от съвременни български и румънски учени [11,12,13].

Аспаруховият лагер край с.Никулицел се състои от външен лагер, ограждащ цялото пространство от 50 кв. км., от вътрешна валова структура и две големи постройки (фиг.4) с размер 100 на 200 м. [16]. Една от тях е отбелязана на румънските карти като „Цитаделата". Шкорпил предполага, че това са останките от двореца на Аспарух [10], навярно и на Тервел (б.а.). Другата постройка е разположена до връх Троян, извън вътрешната валова структура и вероятно е използвана за отбранително съоръжение и войскова казарма на северната част от военния лагер[16]. Шкорпил я отбелязва в своя отчет като Малко кале.

## Вътрешна валова структура

Вътрешната валова структура може да бъде разделена условно на вътрешен лагер с дворец и вътрешни защитни валове. Такава логика е предложена от Шкорпил в неговия отчет за извършените изследвания от 1917 година. Вътрешният лагер се състои от четири взаимосвързани укрепления. В едно от тях се намират основите на голяма постройка – Голямо кале („Цитаделата"). Вътрешните защитни валове се намират между вътрешния лагер и външната валова структура. Тяхното основно предназначение е да защитават двореца на

владетеля от проникване на противник през външната валова структура и са междинна отбранителна фортификация. За съжаление не са картографирани, но са описани текстово от Шкорпил в неговия отчет.

Вътрешната и външна валова структура са отразени с различна степен на детайлност и точност в редица информационни източници:

- Карти, скици и планове от археологически изследвания и разкопки (виж графична част) – Карел Шкорпил – 1917 г.;
- Текстова част на отчет за археологически изследвания и разкопки – Карел Шкорпил – 1917 г.;
- Археологически изследвания и разкопки на Памфил Полоник – 1935 г.;
- Топографска карта - Германия – 1941 г. - М 1:25 000;
- Топографска карта - Румъния – 1917 г. - М 1: 20 000;
- Спътникови изображения във видимия и инфрачервен диапазон – Spot 5, LANDSAT 7/ETM+;
- Дисертационни трудове на румънски учени.

Пълно изследване и картографиране на вътрешния лагер е извършил Карел Шкорпил. Изключение прави обектът Малко кале, който не картографиран, но е отразен описателно в текстовата част на отчета. Отделни подробни скици са направени на основите на двореца Голямо кале и обекта Флорилор.

Археологически изследвания и разкопки са извършени от румънския археолог Памфил Полоник. Той провежда изследване на Цитаделата и публикува подробен план на обекта през 1935 година.

Румънската топографска карта с мащаб 1:20 000 издание 1917 г. е безценен източник на информация с висока степен на точност, детайлност и достоверност. Тя отразява част от вътрешната валова структура и основите на две големи постройки с размери 100 на 200 м. Една от постройките е отбелязана на румънската картата като Цитаделата. Другата постройка, отбелязана на картата и намираща се до връх Троян, е вероятно отразената от Шкорпил в текстовата част на отчета като Малко кале. Тя не е картографирана от него, както и валовете между вътрешния и външния лагер.

Германската топографска карта от 1941 година с мащаб 1:25 000 повтаря подробностите на румънските топографски карти с мащаб 1:20 000, М 1:100 000 и отразява размерите и местоположението на Голямо кале (Цитаделата) и Малко кале.

Спътниковите изображения отразяват останките на част от валовете на вътрешния лагер и портата в местността Голям връх. Те са защитавали достъпа до вътрешния лагер, селището Никулицел и са преграждали съществуващия в миналото стратегически път.

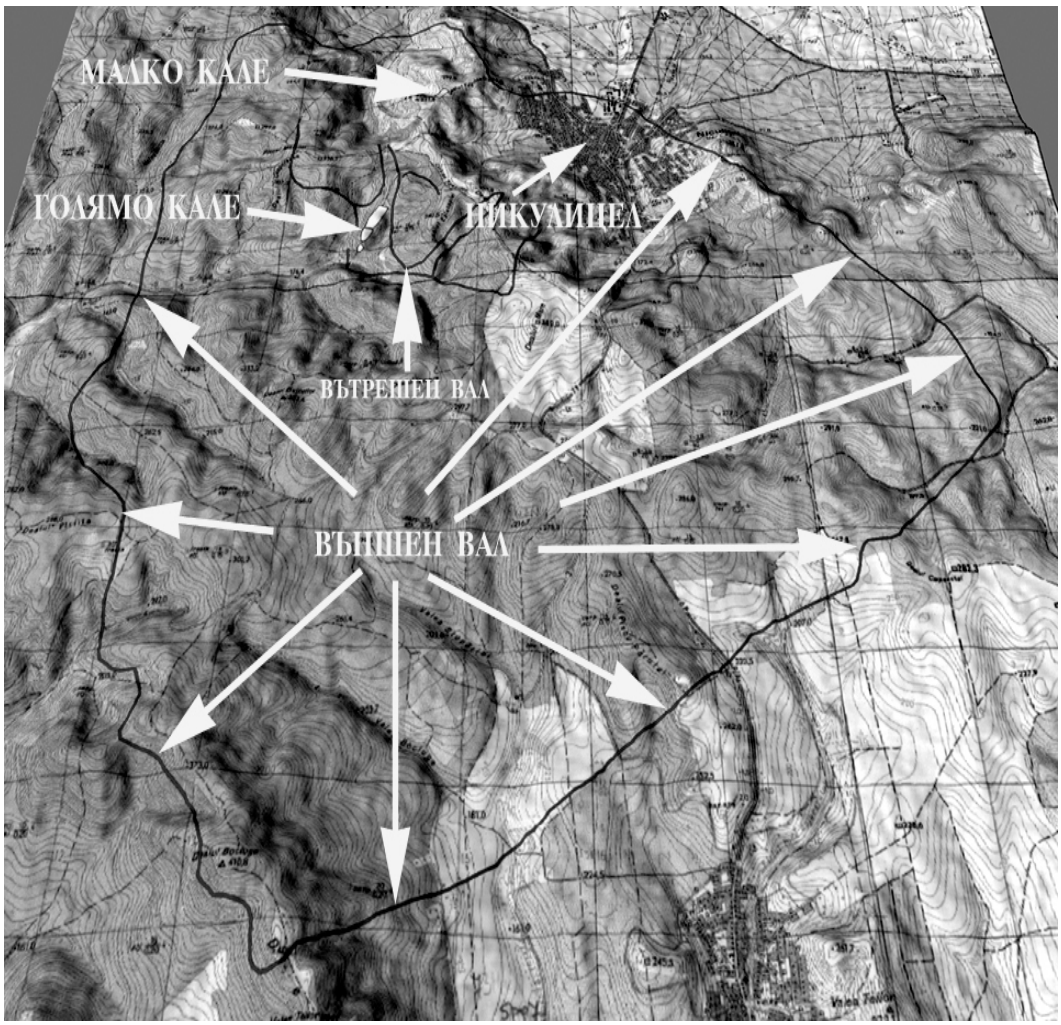
Основни източници за изграждане на информационния слой на вътрешната валова структура и двете постройки се явяват отчетът на Карел Шкорпил, Румънската топографска карта с мащаб 1:20 000 от 1917 година и спътниковите изображения.

За създаване на информационния слой на вътрешния лагер и обектите Голямо и Малко кале е използван “мозаечен метод”. Чрез допълване на липсващите сегменти е създаден георефериран векторен модел на вътрешния лагер, основите на двореца и обекта Малко кале. Моделът е съхранен във вид на “shp-file” - UTM 35 WGS 84.

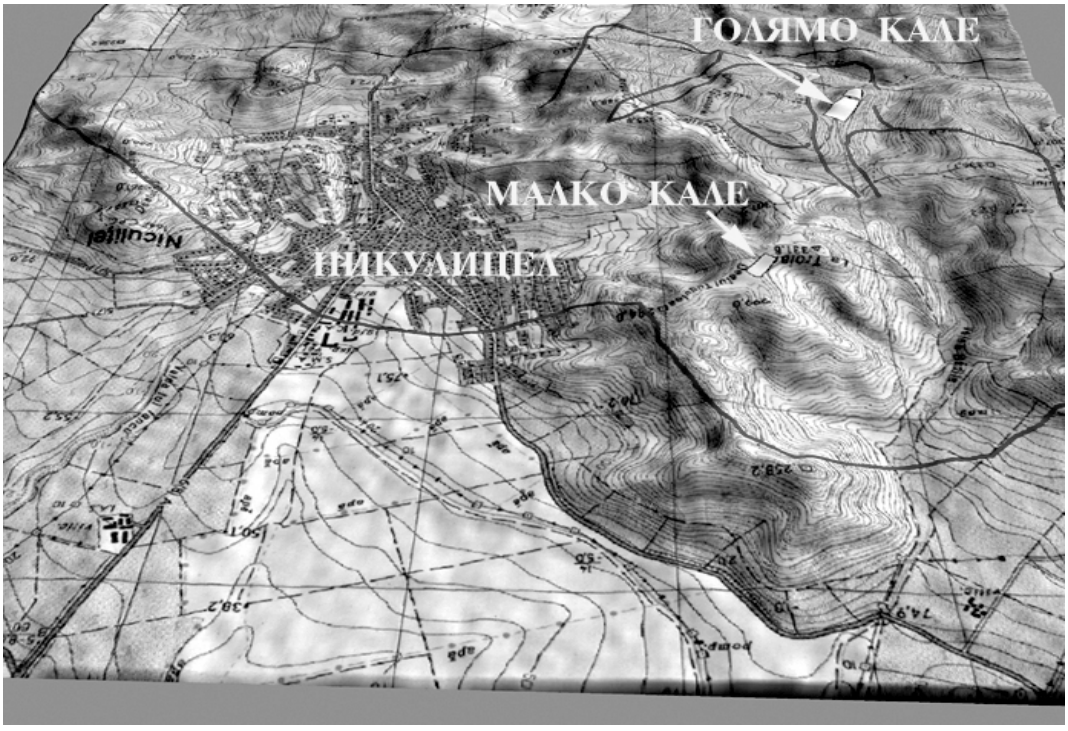
На фиг.1 - фиг.5 е представен информационният слой на вътрешната валова структура, Голямо кале и Малко кале върху топографска карта М 1:25 000 – 1981 г. и сателитна снимка SPOT 5 , наложени върху на цифров модел на релефа.

**Заключение**

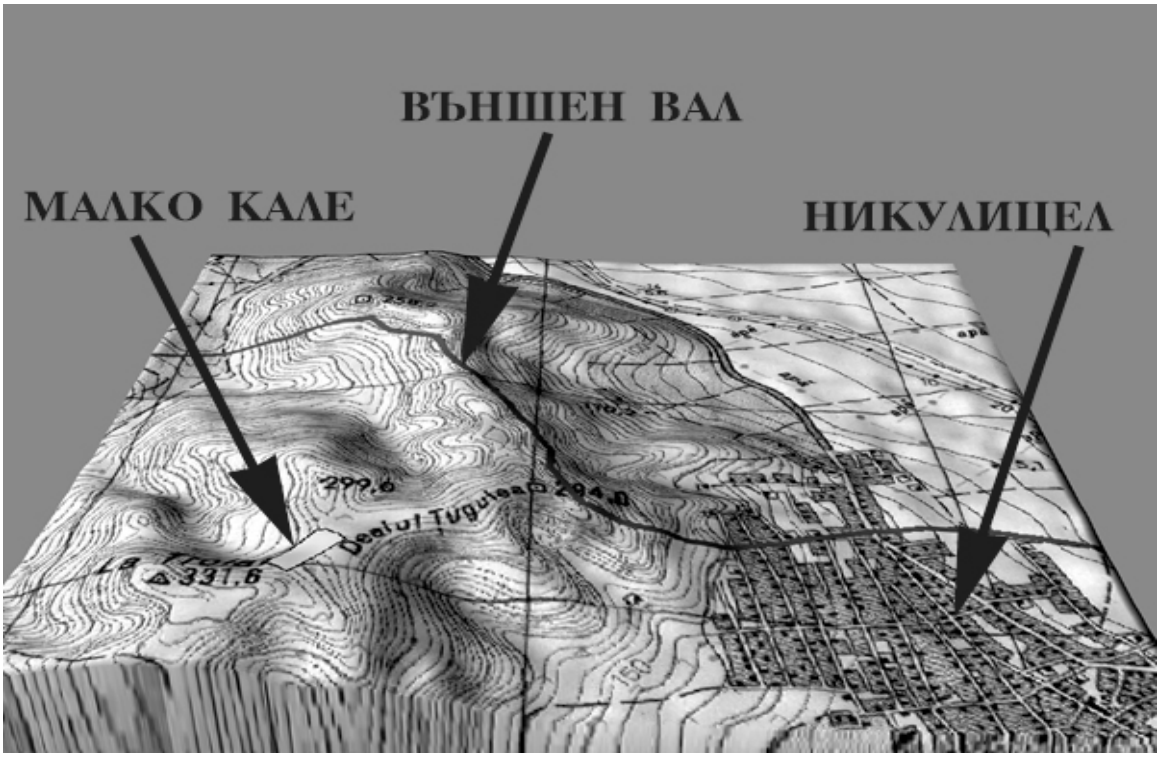
Представеният модел на Голямо и Малко кале позволява точното им позициониране върху съвременни топографски карти и сателитни снимки. Той се явява база за провеждане на бъдещи съвместни изследвания на лагера край Никулицел от български и румънски учени. Моделът позволява създаване на базови информационни слоеве, цифрови тематични карти и пространствено разполагане на получени данни от бъдещи изследвания.


МАЛКО КАЛЕ
ГОЛЯМО КАЛЕ
НИКУЛИЦЕЛ
ВЪТРЕШЕН ВАЛ
ВЪНШЕН ВАЛ

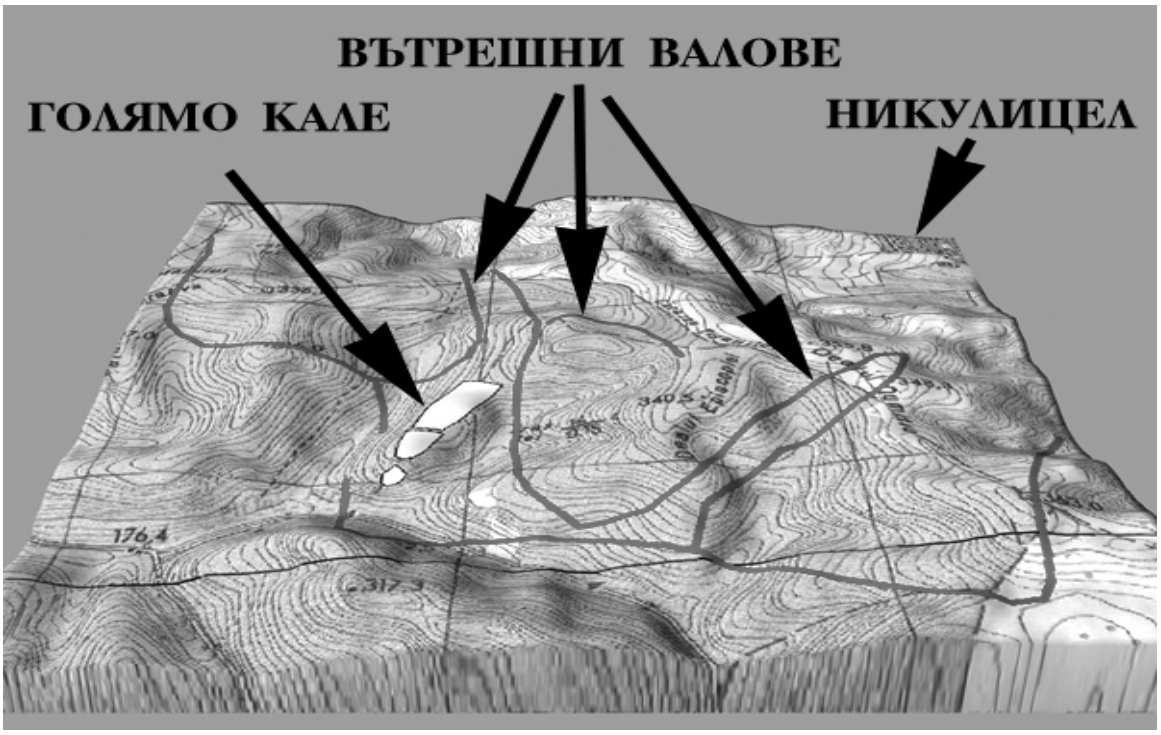
Фиг. 1


ГОЛЯМО КАЛЕ
МАЛКО КАЛЕ
НИКУЛИЦЕЛ

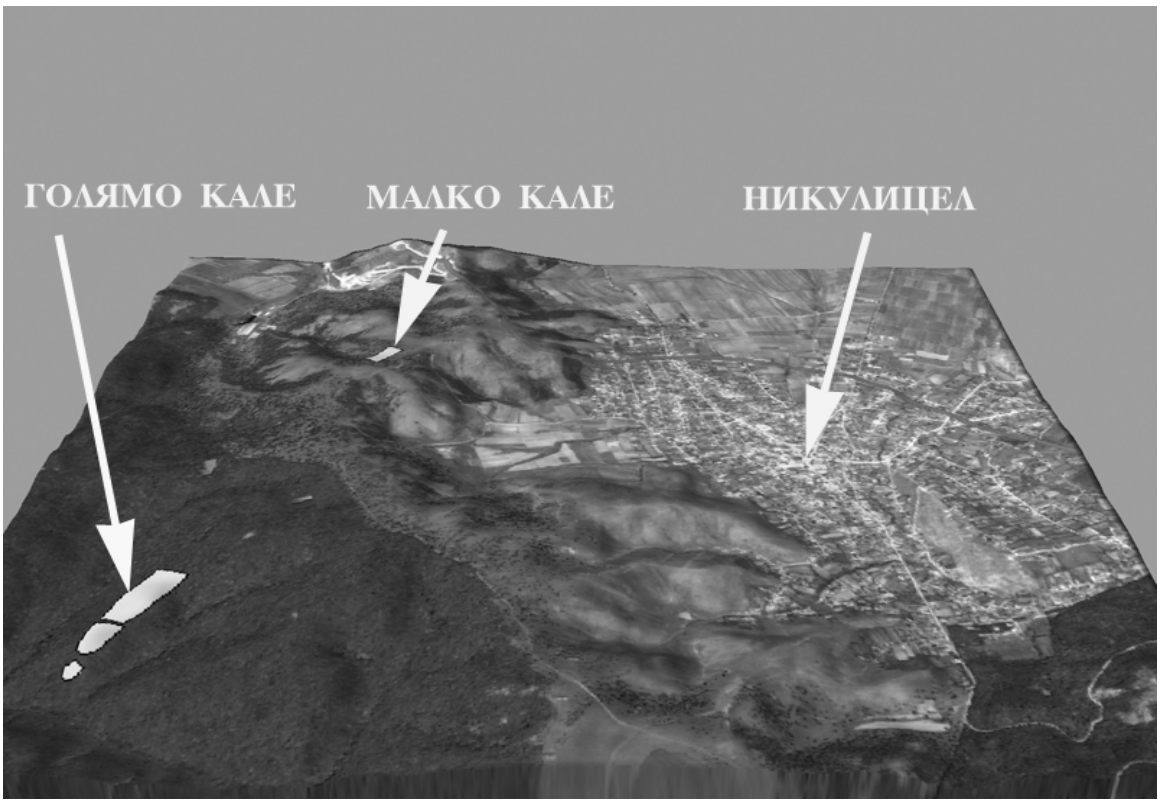
Фиг. 2


ВЪНШЕН ВАЛ
МАЛКО КАЛЕ
НИКУЛИЦЕЛ

Фиг. 3


ВЪТРЕШНИ ВАЛОВЕ
ГОЛЯМО КАЛЕ
НИКУЛИЦЕЛ

Фиг. 4




Фиг. 5

**Литература:**


1. Австро-Унгарска топографска карта, мащаб 1:200 000,1901.
2. Военна топографска карта, Генерален щаб на Вермахта, мащаб 1:25 000, 1941.
3. Военни топографски карти, Генерален щаб на Съветската армия, мащаб 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000, 1984.
4. Карта на Армейски инженерен корпус, Картографска служба на САЩ, мащаб 1:250 000, 1956.
5. Военна топографска карта, Генерален щаб на САЩ, мащаб 1:250 000, 1943.
6. Топографска карта на Румъния, мащаб 1:100 000, 1997 година.
7. Карта на с.Никулицел 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, ASTER.
9. Карта на археологически изследвания и разкопки, Карел Шкорпил, 1917.
10. ЦВА, 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 r u, 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.
14. Д и м и т р о в, И., Никулицел-военен лагер на хан Аспарух, SES 2011,Seventh Scientific Conference with International Participation, Space-Ecology-Safety, Sofia, Bulgaria, 29 November – 1 December 2011 (предадено за печат).
15. D i m i t r o v, I., Niculitel – The First Capital of Danubian Bulgaria, European SCGIS Conference with International Participation, Best practices: Application of GIS technologies for conservation of natural and cultural heritage sites, Sofia, Bulgaria, May 21-23, 2012.
16. Топографска карта на Румъния, мащаб 1:20 000, 1917

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ДИНАМИКА НА ДЕЛТАТА НА РЕКА ДУНАВ – ИСТОРИЧЕСКИ КАРТИ И САТЕЛИТНИ СНИМКИ

**Иван Димитров**

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

***Ключови думи**: Аспарух, Никулицел, делтата на река Дунав, динамика на делтата на река Дунав*

***Резюме:** Представена е динамиката на делтата на река Дунав през средните векове. Показано е разположението на речните ръкави върху сателитни снимки и исторически карти*

# DYNAMICS OF THE DANUBIAN DELTA – HISTORICAL MAPS AND SATELLITE IMAGES

**Ivan Dimitrov**

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

***Keywords:** Asparuh, Nikulitcel, Danubian delta, dynamic*

***Abstract:** The dynamics of the Danubian delta in the middle ages is present. The positions of Danubian delta are presented by the use of topographic maps and satellite images.*

## Увод

Историята на България и нейното основаване от Аспарух е тясно свързана с река Дунав. Реката е имала съдбовно историческо място като естествена граница, затрудняваща нейното преминаване. Размерите, дълбочината, дебитът, характерът на бреговете и пролетните пълноводия са представлявали естествена преграда пред нежелани нашествия. През изминалите векове многократно са строени мостове в тесните места на реката. Повечето от тях са отнасяни при пролетни пълноводия и ледоходи.

Византийските и арменските хронисти лаконично отбелязват в своите хроники река Дунав като репер за местоположението на племето и войните на Аспарух през VII век. Преминаването на реката при заселването на българите и войната с Погонат поставят много въпроси пред съвременните историци. Делтата на река Дунав се характеризира с голяма динамика, множество езера, острови, сложна ръкавна и разливна структура и променящи се наименования на местностите през вековете.

## Особености на речната делта

Река Дунав извира от планината Шварцвалд – Германия, протича през 10 държави и се влива в Черно море. Реката има дължина 2960 км. и водосборен район от 817 000 км² на територията на 19 европейски държави. Годишната амплитуда на реката при пристанище Рени достига 4,5-5,5 метра. Годишният максимален дебит в долното течение на реката достига 20 000 $м^3/с$ при средни стойности от 6430 $м^3/с$. Годишният сток на реката е от 113 км³ до 210 км³. Реката се захранва от дъждове, топене на снегове, ледници и подземни води. Нивото на реката в долното течение е най-високо през пролетните месеци април - май.

Делтата на река Дунав се характеризира със сложна ръкавна и разливна структура, с множество езера, острови и влажни зони. Исторически тя е еволюирала в зависимост от много фактори. Ръкавите на реката са се премествали след пролетните наводнения и запълвали с изнесен материал. Състоянието на речната делта се е променяло в зависимост от нивото на Черно море, появявали са се нови ръкави, езера, заливи и влажните зони. На динамиката на ръкавната структура е оказвала влияние и сеизмичната активност на съпределните региони. Динамиката на река Дунав се проследява ясно на старинни и съвременни хидроложки, географски и топографски карти. Спътниковите снимки показват с голяма точност и детайлност тази динамика в един по-кратък времеви диапазон.

**Река Дунав и основаването на България**

Основаването на България от Аспарух е тясно свързано с река Дунав и нейната делта. Византийските и латински хронисти са отразили лаконично разположението на българските племена край река Дунав и това поражда много въпроси и спорове в научните среди. Преминаването на реката от Аспаруховите войни след сражението с Погонат дава повод на историците да търсят военния лагер на българите северно от днешната ръкавна структура на Дунав. Вероятно българите са обитавали както левите, така и десните брегове на днешните Дунавски ръкави. Много исторически карти от отминали столетия показват наличие на ръкави южно от днешната делта на реката. Такива ръкави са най-малко четири, като най-големият и известен от тях е Карасу. Сред тези исторически карти трябва да отбележим точните и детайлни карти на Пири Реис (Хаджи Мухиддѝн Пѝри ибн Хаджѝ Мехмѐд, 1480-1555) в неговия забележителен труд "Военноморска навигация" [1] (Kitab-ı Bahriye) – 1521 г. Той представя четири основни ръкава (фиг.1), един от които се влива в залив, северно от днешна Констанца. Подобна структура на делтата е отразена и в географските карти на Абрахам Ортелиус (фиг.2) от 1572 г. – (Abraham Ortelius, 1527 –1598). На тях е отразен триъгълен остров, ограден от река Дунав и Черно море с разположени възвишения в северозападната му част [2]. Островът достига до днешния град Констанца.

Холандският картограф Йохан ван Койлен (1654-1715) е изобразил ръкава-езеро Карасу на своя карта в Голям морски атлас (фиг.3) от 1695 година [3,10].

Френският картограф, инженер-географ и хидрограф на флота Жан-Никола Белен (1703-1772) е отразил ръкава Карасу на своята Умалена карта на Черно море в служба на кралските кораби (фиг.4) от 1772 година [4,10]. Отразени са Облучица (Исакча) и Тулча.

Холандските картографи и книготърговци Ян Баренд Елф и Д.М. Лангевелд публикуват своята Нова карта на Малка Тартария или Таврия, посочваща границите на императрицата на Русия и императора на Турция през 1787 година (фиг.5). На картата са изобразени три южни ръкава, несъществуващи днес [5,10]. Първият започва от днешното пристанище Рени, преминава южно от Исакча, Никулицел, Тулча и се влива в Черно море под Св.Георги над Баба – днешен Бабадах. Вторият ръкав започва от Хършова е се влива в Черно море при Баба – днешен Бабадах. Третият ръкав Карасу започва от Хършова и се влива в Черно море при днешна Констанца. Подобно състояние на Дунавската делта е отразено и в други холандски атласи от 18 век –(фиг.6) Covens&Mortier, Amsterdam, 1742 г.

Гръцкият картограф Ригас Фераиос (Rigas Feraios) е публикувал своя карта на Балканския полуостров (фиг.7) през 1797 година. На нея е изобразен ръкав на реката, започващ от Исакча, преминаващ край Телита и вливащ се в Черно море над Бабадах [6]. Подобен ръкав е изобразен и на други карти от 18 век.

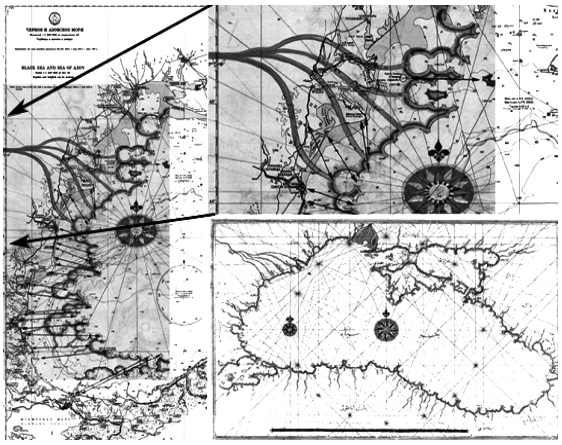
Немският картограф Фердинанд Гьоце от Ваймар е публикувал карта на Черно море (фиг.8) през 1804 година. Картата е направена въз основа на най-новите астрономически наблюдения и измервания, според коментар на автора [7,10]. На нея са отразени настъпилите значителни промени на Дунавската делта през последните десетилетия на 18 век. Изчезнали са трите южни ръкава отразени на холандските карти, останали са две части от ръкава Карасу (източна и западна), разделени от възвишение. Появил се е нов ръкав, известен днес като Георгиевски ръкав. Оформили са се Бабадашкият залив, Сулинският и Килийски ръкави. В края на 18 и началото на 19 век делтата на река Дунав е придобила вид, известен ни към настоящия момент.

Динамиката на подобна ръкавна структура може да се обясни с наличието на тесни и високи брегове, повишаващи локалното речното ниво. Това довежда до разливи в ниските брегови нива на теснините на реката и възникване на нови ръкави при продължителни пълноводия и дъждовни години.

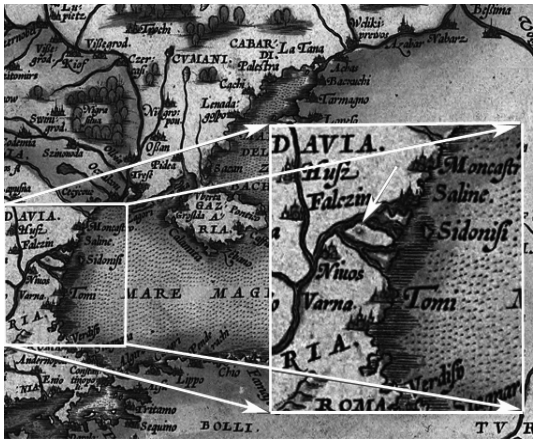
Динамиката на река Дунав може да се проследи и в разливната част на делтата, характеризираща се с множество канали, езера, острови и влажни зони. Характерен пример за това е езерото Лумина, намиращо се между ръкавите Сулина и Св.Георги. От 1917 г. до 2005 г.

то е променило размерите си няколко пъти (фиг. 9) [3]. На фиг.10, фиг.11 и фиг.12 е представено състоянието на езерото Лумина, регистрирано от LandSat 5 - TM, LandSat 7 – ETM+ и TERRA-MODIS – 2013 г. спрямо състоянието през 2005 година.

Регулиращи функции днес за динамиката на речния сток и ниво има хидротехническото съоръжение Железни врата. То поема буферно дъждовните и снежни пролетни води и предотвратява голяма част от възможните наводнения. Това води до отлагане на пясъчни коси в Черно море в района на заустване на речните ръкави.



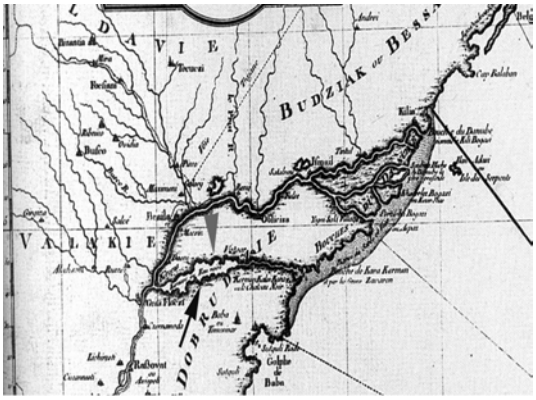
Фиг.1




Фиг. 2




Фиг. 3



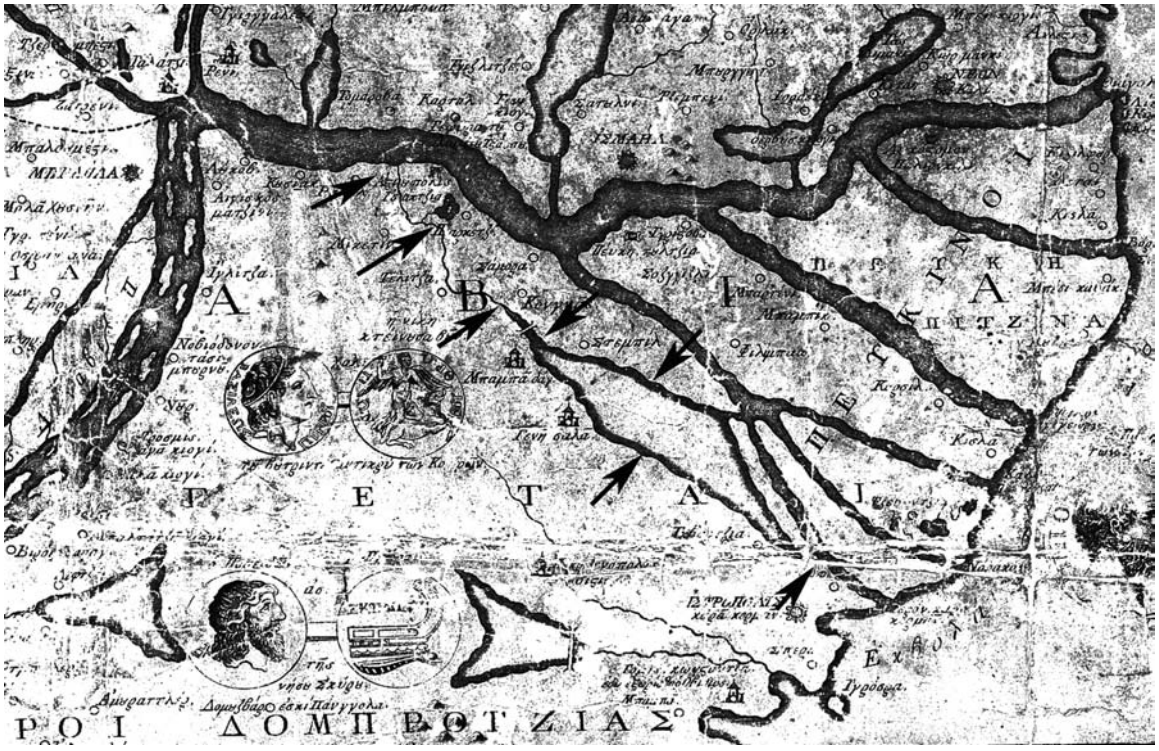

Фиг. 4



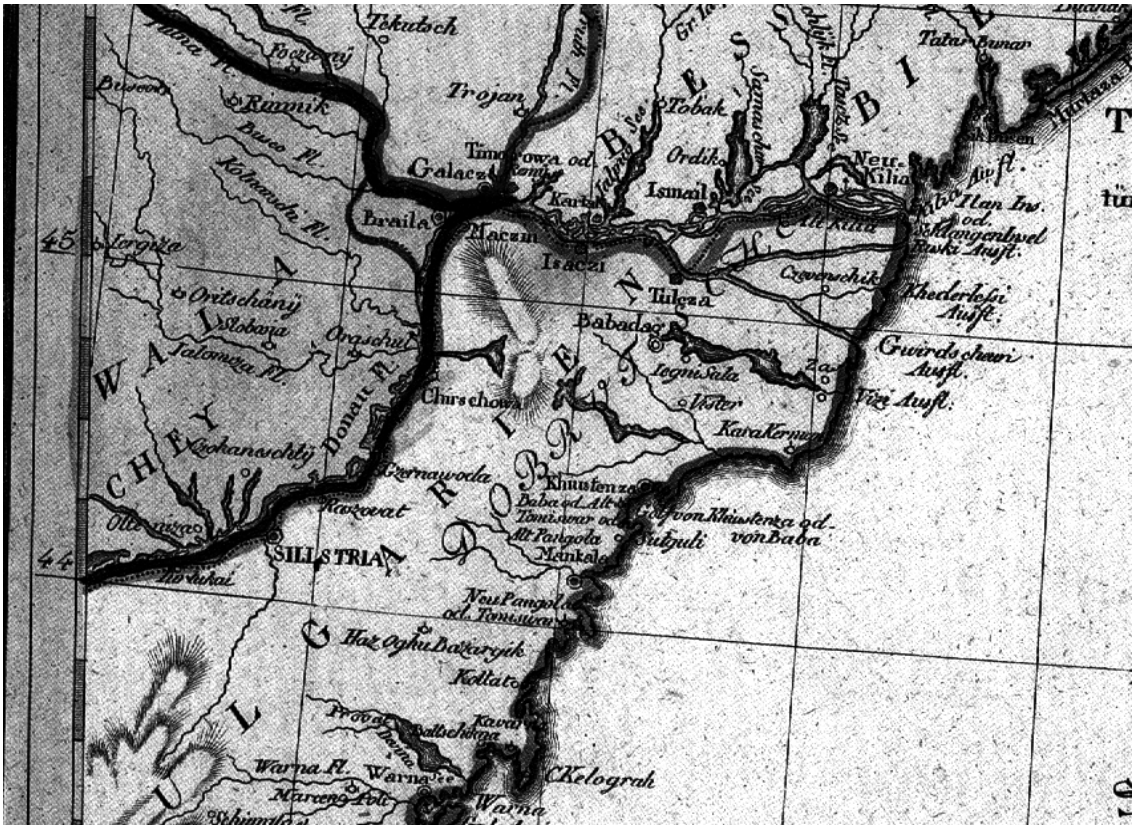

Фиг. 5



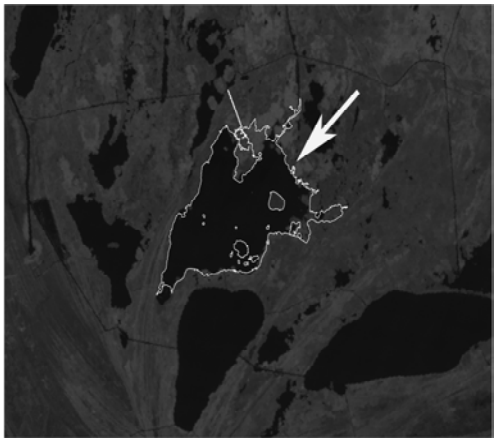

Фиг. 6


ΡΟΙ ΔΟΜΠΡΟΤΖΙΑΣ

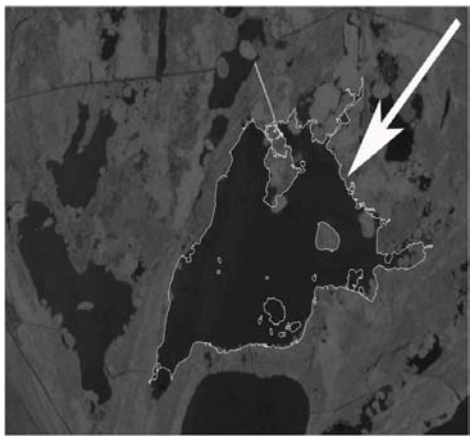
Фиг. 7


Tekutsch
Trojan
Rimnik
Galacz
Braila
Maczin
Isaczi
Tulcza
Babadag
Ismail
Ordik
Tobak
Neu-Kilia
Chirschowa
Kara Kermen
Khiustenza
Mankala
SILISTRIA
Kelograh
Warna
Warna Fl.
Oritschany
Slobozia
Oraschul
Donau Fl.
Czernawoda
Rasovat
Haz Oghu Bazargik
Kollat
Kavarna
Tatar Bunar
Gwirdschewi Ausfl.
Vizi Ausfl.
Czevenschik
Khederlessi Ausfl.
Ilan Ins. od. Schlangenbusel Ruski Ausfl.
Sutguli
Neu Pangola od. Tomiswar
Alt Pangola
Tomiswar od.
Baba od. Alt
Alt Kilia
Ismail
Kartal
Timorowa od.
Buseo Fl.
Kolmanski Fl.
Jalomiza Fl.
Oltenitza
Turtukai
Provat
Baltschikna
45
44

Фиг. 8



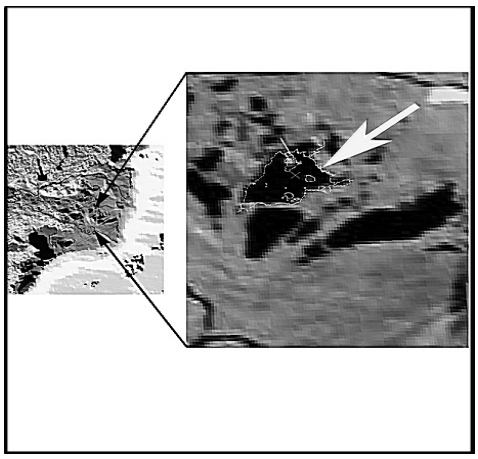
Фиг. 9



Фиг.10



Фиг. 11



Фиг. 12

**Заключение**

Разгледаните исторически карти показват наличие на сложна динамика на ръкавната структура южно от днешната делта на река Дунав. Съществували са най-малко четири ръкава, които са изчезнали към настоящия момент. Това дава основание да се предположи, че военният лагер на Аспарух край Никулицел е бил ограден с речни ръкави от три страни и е бил достъпен само от морския бряг край Баба - сегашния Бабадах. Откритите старинни оръжия в местността Чилик дере край манастира Чилик са явно свидетелство за състоялата се битка в тази теснина. Наличието на ръкави южно от Чилик обяснява описаното от византийските и латински хронисти преминаване на реката и преследване на войските на Погонат от Аспаруховата армия.

**Литература:**


1. Р е и с, П., Военноморска навигация (Kitab-ı Bahriye), 1521
2. О р т е л и у с, А., Атлас на света, 1570
3. К о й л е н, Й., Голям морски атлас, 1695
4. Б е л е н, Ж., Умалена карта на Черно море в служба на кралските кораби, 1772
5. Е л ф, Я. Б., Лангевелд Д.М., Нова карта на Малка Тартария или Таврия, посочваща границите на императрицата на Русия и императора на Турция, 1787
6. Ф е р а и о с, Р., Карта на Балканския полуостров,1797
7. Г ь о ц е, Ф., Карта на Черно море, 1804
8. Топографска карта на Румъния, Мащаб 1:20 000, 1917
9. Jean Covens & Corneille Mortier, Amsterdam, 1742
10. Атлас - Българските земи в европейската картографска традиция (III-XIX в.), Тангра ТанНакРа, 586 с., 2008

**Session 4**

# *Ecology and Risk Management*

Chairman: Prof. Garo Mardirossian
Secretary: Tsveta Srebrova, MS

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# THE EU 7FP PROJECT ENCLOSE – FEASIBILITY STUDY, SOFT MEASURES AND SULP INTENTIONS FOR BALCHIK

**Boyko Ranguelov[1], Steliyan Zhelezov[2], Dimitrin Dimitrov[2], Stoyan Petkov[2], Nadia Marinova[3]**

*[1]Mining and Geology University*
*[2] Balchik Municipality*
*[3]New Bulgarian University*
*e-mail: branguelov@gmail.com*

***Keywords:*** *Balchik, $CO_2$ and pollution decrease, new transport logistics*

***Abstract:*** *The new and modern tools about $CO_2$ and other gas pollutants decrease are discussed from point of view of ENCLOSE Project considering possibilities to apply and perform soft measures, feasibility study and SULP (Sustainable Urban Logistics Plan) in Balchik town. The last advanced technologies like electric vehicles and combined – electric-gas autos are presented. New technologies like remote sensing - satellite images and Google Earth software are applied to assess the distances between the supplied facilities and the transport routes, the street lengths and streets orientation in space, the local parking places and other facilities. $CO_2$ and other pollutants decrease is assessed by non direct measurements just following methodology of the ENCLOSE leading partners (forerunner transport logistics cities) in the filed of urban logistics and sustainability.*

## Introduction

The Project **ENCLOSE (**ENergy efficiency in City LOgistics Services for small and mid-sized European Historic Towns) is a part of **IEE** (Intelligent Energy Europe) program. The official starting date is 03rd May 2012, duration: 30 months, Project Coordinator: MemEx Srl, Livorno (Italy), Funding from EU: 75%, Consortium: 16 EU partners from 13 different countries.

The urban energy-efficient transport **themes addressed** by the project are:

- needs, requirements, options and priorities of European small-/mid-size historic towns, demonstrating and assessing feasible and sustainable solutions leading to tangible and measurable changes in behaviour and impacts of logistics;
- qualifying the demand of Local Authorities and municipalities of European SMHTs for sustainable, energy-efficient urban logistics and freight distribution solutions;
- investigating and assessing the operation of “green vehicles” (FEVs, PHEVs, Bio-gas) and fleets in urban distribution and other logistics schemes with a general purpose to decrease the $CO_2$ emissions.

The overall objectives of ENCLOSE is raising awareness about the challenges of energy efficient and sustainable urban logistics in European SMHTs and about the concrete opportunities to achieve highly significant improvements and benefits by implementing and operating suitable and effective measures, schemes and framework approaches specifically targeted to such specific urban environments.

## The Project Objectives and Structure

The Project ENCLOSE objectives are developed in six specifics called SPO (Specific Project Objectives):

**SPO1**

Implementation of pilot operations in 3 SMHTs: Italy (Lucca), Norway Trondheim), The Netherlands (s’Hertogenbosch);

Feasibility and transferability analysis and implementation of soft measures in 6 SMHTs: Spain (Burgos), Portugal (Almada), UK (Dundee), Romania (Alba Julia), Greece (Serres), Bulgaria (Balchik).

**SPO2**

*Development of* **Sustainable Urban Logistic Plans** (SULPs) in the overall 9 ENCLOSE forerunner and follower towns

**SPO3**

Building up a suitable and usable framework for the definition of Sustainable Urban Logistics Plans for SMHTs. Building upon the outcomes obtained under SPO1, this is a core specific objective of ENCLOSE, which will lead to a key usable tool for European towns.

**SPO4**

Promoting and enhancing the networking of SMHTs on the themes of sustainable and energy-efficient logistics, to facilitate the exchange of experiences, promote and achieve the adoption of Sustainable Urban Logistics Plans.

**SPO5**

Investigating policy-level issues and defining a suitable strategy to ensure long-term sustainability of the designed framework for Sustainable Urban Logistics Plans for small-/mid-size historic towns.

**SPO6**

Defining and implementing the most effective communication and dissemination strategy to ensure the maximum visibility of project activities and outcomes in all targeted town logistics areas.

The strategic objectives targeted to the long term development of the European policy are called STO and follow:

**STO1**

Achieving significant reduction of energy and environmental impacts in European small-/mid-size historic towns

**STO2**

Promoting awareness and sustainable growth of town logistics businesses and industry

**STO3**

Contributing to the EU strategic goal of decarbonising mobility in European cities, in the specific, relevant environment of small-/mid-size historic towns with the respective measures

The ENCLOSE consortium is constructed by 16 partners from 13 EU countries:

Austria, Bulgaria, Greece, Ireland, Italy, Norway, Poland, Portugal, Romania, Spain, Sweden, The Netherlands, UK.

The consortium actions program requires forerunner (pilot) towns and follower (learner) towns):

Forerunner (pilot) towns:

Lucca (Municipality), Trondheim (Posten Norge), s'Hertogenbosch (Municipality);

Follower (learner) towns:

Burgos (Association Plan Strategico), Almada (Municipality), Dundee (Municipality), Alba Julia (Municipality), Serres (Municipality), Balchik (Municipality)

Participating Agencies/Universities:

Energi Kontor Sydost (Energy Agency), Tipperary Energy Agency, Austria Tech (Technology), ILIM (Logistics);

Association:

EATHR (Historic Towns Association);

Specialized Companies:

MemEx (management, Coordination and Technical issues), MCOMM (Communication and marketing)

The ENCLOSE project actions are organised into 7 Work packages:

- 1 concerning Project Management and coordination (**WP1**)
- 4 (core packages **WP2**-**WP5**) covering the Key Project Activities aimed at good practice demonstration, evaluation, transferability and experience sharing
- 2 (**WP6** and **WP7**) implementing the appropriate Communications, Dissemination and IEE concentration activities

The respective **WP's** and their tasks are:

- **WP1** - Project Management and Coordination (MemEx):

*T1.1 - Consortium and project management (MemEx)*

*T1.2 - Financial control and reporting (MemEx)*

*T1.3 - Monitoring and evaluation of project progress/results and dissemination activities (MemEx)*

*T1.4 - Reporting and quality assurance (AustriaTech)*

- **WP2** - Energy efficient urban logistics in SMHTs: situation, needs and challenges (ILIM)

*T2.1 - Review and assessment of European situation (ILIM)*

(This task makes the review of existing real application and European project results)

*T2.2 - Stakeholders goals and User Needs Analysis (Lucca)*

(The methodology of User Needs Analysis (also for defining the stakeholders goals and town objectives) is mainly based on the work already made in Lucca towns in the past years. In T2.2 each involved towns, following a common data collection, will define its "baseline" that will be the start point for supporting the SULP production (WP03 part 2), the evaluation process (to be carried al local level, WP03 part1) and the cross evaluation (WP05).

*T2.3 - Challenges, opportunities and priorities (Almada)*

(This task will set up the scenario in terms of challenges and main opportunities that will be used in WP03 and WP04.)

- **WP3** - Improving energy efficiency of urban logistics in SMHTs: piloting, assessment, transferability and development of SULP (Lucca)

*T3.1 - Pilot implementations and showcasing (Forerunner towns operations) (Lucca)*

(Pilot implementations and showcasing in Forerunner towns, aims to develop pilot operations, data collection and demonstration/activation of new logistics services in the 3 Forerunners towns of Lucca, Trondheim and s'Hertogenbosch.)

*T3.2 - Feasibility and Transferability analysis (Follower towns operations) and implementation of soft measures (Burgos)*

(This task consists of two specific parts: Part 1 – Development of 6 Feasibility and transferability analysis and Part 2 - Implementation at least 2 soft measures in each Follower site.)

*T3.3 - Local assessment of mobility and energy benefits: development of Sustainable Urban Logistics Plans in the 9 ENCLOSE towns (ESS)*

(This task consists of two specific parts: i) the local evaluation and assessment of mobility and energy benefits of the identified urban logistics measures and schemes, ii) Development of Sustainable Urban Logistics Plans in the 9 ENCLOSE towns)

**- WP4** - Good practice analysis, knowledge sharing and exchange of experiences (DenBosch)

(This WP includes visits to the forerunners and follower towns and best practices exchange)

- **WP5** - Evaluation and Policy tools (MemEx)

*T5.1 - Cross-evaluation of ENCLOSE energy-efficient urban logistics measures and schemes (ESS)*

(Definition of a common validation and evaluation methodology framework based on evaluation categories and indicators as defined from the IEE Common Performance Indicators and on the performance indicators)

*T5.2 - Normative frameworks, policy instruments and business models (Dundee)*

(Develop methods of identification and actions providing the site common core elements and main differences for application by partners. The results will be a review of the different frame conditions (perspectives: regulatory, policy and business).

*T5.3 - SULPs: framework and policy road-map (MemEx)*

(Development of a reference framework for the development of SULPs) providing a reference general structure and guidelines.)

*T5.4 - Roll-out strategy and recommendations to regional, national and European policy makers (AustriaTech)*

(Derive and deliver a set of recommendations to European policy makers at all relevant levels – regional, national and EU related – with indication of a suitable roll-out strategy for the replication of sustainable urban logistics measures in SMHTs throughout Europe)

- **WP6** - Evaluation and Policy tools (MCOMM)

*T6.1 - Communication strategy and dissemination plan (MCOMM)*

*T6.2 - ENCLOSE communication and dissemination tools*

T6.2.1 - Dissemination through the EAHTR and s'Hertogenbosch networks *(EAHTR)*

T6.2.2 - ENCLOSE Web Site *(Lucca)*

T6.2.3 - Other dissemination activities *(MCOMM)*

*T6.3 - Communication and promotion towards non-ENCLOSE European historic towns (DenBosch)*

*T6.4 - ENCLOSE Final Conference (Burgos)*

**- WP7** - EACI Dissemination Activities (MemEx)

*T7.1 - Contribution, upon request by the EACI, to the development of information material (MemEx)*

*T7.2 - Participation and/or contribution, upon request by the EACI, to information, training and dissemination events (MemEx)*

*T7.3 - Delivery, upon request by the EACI, of an update/further input of the action's contribution to the "IEE Common performance indicators" (MemEx)*

All these activities need a lot of applications related to the satellite technologies and distant images processing. Balchik municipality and SRIT-BAS have long-lasted cooperation in the filed of distant methods use and applications about many parameters needed by ENCLOSE Project, such like distances measurements, autos travel optimization, exact positions determination of different objects – hotels, restaurants, shops, and other trading supplied facilities. The cooperation with the Association of the Historical towns is essential.

**Balchik soft measures and SULP**

After ARE1 (First Awareness Raising Event) meeting in Balchik held in July 2013 several soft measures have been discussed and some of them implemented.
Two soft measures have been identified for application in the Balchik study area.
These are:

- Time limitation of vehicles access to the hotel area near the sea-shore
- Space limitation of vehicles and tourist cars

Extra soft measures have been indentified and implemented - Promenade:

- there is 1 guarded barrier on the entrance to the seashore line
- 2 parking places – 1 guarded and 1 guarded with barrier

Soft measures proposed and not implemented:

- Time limitation near the Balchik Municipality building.

This measure was rejected due to the necessary access to the main administrative building in the town.

- FEVs and HEVs introduction as replacement and additional measure of the busses to serve to the disabled and aged people. This measure was rejected due to the lack of funds.

Soft measures intended to the future, to be implemented:

- “Blue” zones –

The local administration intend to introduced since the beginning of next year so called “blue” zone (such experience exists in some big cities – Sofia, Varna, etc.). The idea is to introduce the paid “blue” zones to limit the time to park on the streets. These are zones marked in “blue” colour, where the parking time is counted and paid to the machine or special persons on duty issuing tickets. The existing experience shows that usually the local people are against such innovation.

- Parking places

The highest difficulties in the city logistics are related to the limitations of the parking places. Due to the very hilly and steep slopes in Balchik, dominated by local landslides, the space for parking places during the summer times is very limited. To eliminate these difficulties there are several parking places, but they can not ensure the increased traffic during the summer time. A measure proposed is to build up new parking places near the entrances of the town. They are located to relatively flat areas, where the construction of such large parking places is possible. This can ensure the calm traffic during the tourist season. Such measure is effectively implemented to other seaside towns (Sozopol, Nesebar, etc.). The problem is still the lack of money for such huge investment.

**Balchik feasibility study and SULP**

The feasibility study consists of:

1. General City context
2. General Logistics context
3. Setting logistics baseline
4 .“Candidate Measures/Services” identification
5. “Candidate Measures/Services” analysis and assessment
6. Selected Measures/Services design
7. Stakeholder assessment and final delivery

According the performed study all topics above have been investigated and described, except No7 - Stakeholder assessment and final delivery. This point will be assessed and develop in the near future according the schedule of the Project ENCLOSE.
The SULP itself is an extension of the feasibility study with the road map and the future intensions covering the following 10-15 years of implementation. The development of SULP is also a mater of near future execution of the Project.

**Conclusions**

As a follower town Balchik is the only small historical city included in the ENCLOSE project. The $CO_2$ and other gas emissions and polluters decrease could be reached by several intended measures. Soft measures – such like time limitations in supply transport and/or optimisations of the roads access. Develop and create SULP – as a long term measure including in future the introduction of the supply transport industry facilities – such like FEVs, PHEVs, local and/or regional terminals, "blue zone" introduction, etc. – is a large discussed possibility of the environmental pollution elimination. The application of remote sensing methods could be an effective tool to optimise the logistics of Balchik.

**References:**


1. R a n g u e l o v, B., S. P e t k o v, N. M a r i n o v a, 2011. The EU 7FP Project ENCLOSE – Partner Balchik municipality., *E i g h t S c i e n t i f i c C o n f e r e n c e,* S P A C E, E C O L O G Y, S A F E T Y - S E S 2 0 1 2 , 4 *th – 6th December 2012, Sofia, Bulgaria, p. 373-376.*
2. ENCLOSE web page: http://www.eaci-projects.eu/iee/
3. Materials first kick-off meeting, Lucca, 16-17 May, 2012.
4. Materials ARE1, Balchik, 23-24 July, 2013.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# МАРКЕТИНГОВИ МЕХАНИЗМИ ЗА ОПАЗВАНЕ НА ОКОЛНАТА СРЕДА И ЕКОЛОГИЧЕН РИСК

**Надя Маринова**

*Нов български университет*
*e-mail: nmarinova@nbu.bg*

***Ключови думи**: маркетинг, пазарни методи, екологични проблеми*

***Резюме**: Маркетинговият механизъм за опазването на околната среда се основава на базата на пазарните методи. Такива като административното регулиране; икономически стимули; система от плащания за замърсяване; разпределение на квоти за замърсяване и компенсационни плащания. Посочените методи се налага да се използват на различни стадии от маркетинговия процес, въздействащ върху околната среда.*

# MARKETING MECHANISMS FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION AND ECOLOGICAL RISK

**Nadya Marinova**

*New Bulgarian University*
*e-mail: nmarinova@nbu.bg*

***Keywords**: Marketing, marketing methods, environmental issues*

***Abstract**: Marketing mechanism for the protection of the environment is based on the basis of market methods. Such as the administrative regulation, economic incentives, a system of payments for pollution, allocation of allowances of pollution and compensation payments. These methods have to be used at different stages of the marketing process, affect the environment.*

## Въведение

Екологично ориентирания маркетинг и неговите международни аспекти са свързани, преди всичко, с бързото развитие на технологиите и на процесите, свързани с въздействието върху околната среда, а също и с ускореното формиране на пазара на екологични услуги. Към основните маркетингови направления в тази област могат да се определят:

- *формирането на финансови структури за подпомагане на екологичните действия;*
- *екологична оценка (одит) на нивото на въздействие върху околната среда;*
- *екологично застраховане действията на компаниите;*
- *промени във формата на отчетност в дейността на производителите;*
- *нови форми на реклама;*
- *формиране на нови принципи на търговия (например, продажба на екологично чисти продукти).*

## Маркетингови механизми за опазване на околната среда

Маркетинговият механизъм за опазването на околната среда се основава на базата на пазарните методи. Такива като административното регулиране; икономически стимули; система от плащания за замърсяване; разпределение на квоти за замърсяване и компенсационни плащания.

Посочените методи се налага да се използват на различни стадии от маркетинговия процес, въздействащ върху околната среда. Това въздействие до голяма степен зависи от

състава на първичните ресурси, спецификата на производствения процес и прилаганите природозащитни технологии.

Особена роля се отделя на плащанията и данъка за замърсяване. Те, като косвени инструменти за въздействие се изразяват в определяне на плащане за емисии, за използване на първични ресурси, за крайна продукция и технология. Плащането се налага да е в съответствие със социално-икономическия ущърб от замърсяването или друг приемлив показател. Данъците за замърсяване и плащанията са характерни с това, че предоставят максимална свобода на замърсителя при избора на стратегия за съчетаване на разходите за степента на очистване и плащане за остатъчни емисии. Ако природозащитните разходи са ниски, то фирмата значително ще инвестира в нмаляване на емисиите, вместо да плаща данък. Предполага се, че тя може да ги съкрати да оптимално ниво, когато нарастващите разходи за допълнително очистване станат адекватни на размера на плащането.

Важно е да се използват такива пазарни методи, които в най-голяма степен способстват за ефективно решаване на екологичните проблеми. Това са адекватни плащания за природни ресурси (земя, недра, вода, гори и друга растителност, животински свят), екологично данъчно облагане, кредитни механизми в областта на природоползването, система на извънбюджетни екологични фондове и банки, екологично застраховане и др.

В рамките на маркетинговата система за формиране на търсенето и стимулиране на реализацията съществува възможност за прилагане на такива методи като икономическо стимулиране на опазването на околната среда, а също лицензиране и организиране на система от договори в областта на природополването .

Ценообразуването на продукцията на природоексплоатиращите отрасли, особено на екологично чистата продукция и технологии, е необходимо да се предвижда така ясно, както и екологичното предприемачество. С тази икономическа категория тясно е свързана системата за екологичната сертификация. Нейното внедряване ще позволи да се постави въпроса за формиране на пазара на екологични дейности, стоки и услуги (маркетинг, инженеринг, лизинг, борси).

Необходимостта от активното внедряване на пазарните механизми при организиране на природополването показва опитът на такива страни като САЩ, Япония и Германия, в които се прилага така наричаният принцип на „балона". Като източници за замърсяване на околната среда се разглеждат не отделни елементи, например комините, а цялото предприятие. В пределите на региона могат да се установят общи допустими норми на емисии и отпадъци на едни или други замърсяващи вещества. По такъв начин се предполага, че предприятията се намират, като че ли, в единно пространство. При определянето на стандарта за качествата на околната среда за конкретен регион (в рамките на общите допустими обеми на замърсяване), предприятията сами определят обема на емисиите и отпадъците.

За управлението на природозащитната дейност се използват няколко маркетингови подхода:

*Първият маркетингов подход* позволява *отказ от единните технически изисквания към източниците на замърсяване* и допуска възможност за избор на формата на различните начини за постигане на общите норми на емисии. Той стимулира вътрешно производственото и между стопанското разделение на труда чрез отчитане необходимостта от намаляване нивото на замърсяването на средата, благодарение на което се създава възможност за намаляване общите разходи на борбата със замърсяването. Ако дадена фирма е решила да използва ефективни и нескъпи методи за борба с отпадъците, благодарение на това ще може да поддържа ниво на емисии от замърсяващи вещества под установения регионален стандарт. Други фирми, за които борбата с отпадъците струва скъпо, могат да продължат да замърсяват околната среда, но в пределите на общите регионални лимити. В крайна сметка, както показват маркетинговите разчети, съвкупните разходи за постигане на регионалните стандарти в бъдеще ще се окажат по-малки, отколкото в този случаи, ако фирмите са ги постигнали със свои сили.

*Вторият маркетингов подход* за регулиране в регионален мащаб предполага *преки сделки между фирмите*. Той е удобен за нови фирми или за тези действащи фирми, които се модернизират. Преди да бъдат въведени в действие нови мощности в промишлено усвоени райони е необходимо предприемачите, в качеството на компенсация за екологичните щети от тях, да намалят нивото на замърсяване на някои от действащите предприятия в обем, еквивалентен на въвеждания нов източник на замърсяване. Този принцип на разрешения за ново строителство е необходим, когато се купуват права за замърсяване от фирми, които са успели да постигнат намаляване на емисиите под установените норми.

*Третият маркетингов подход* предполага *фирми, които се отклоняват от изграждане на собствено пречиствателно оборудване*, да се задължат да заплатят част от стойността на подобно оборудване, вече функциониращо на други предприятия и осигуряващо ниво на замърсяване на околната среда в района в рамките на общите норми. Разчетите

показват, че подобни сделки, обхващащи основно предприятия от едни и същи обединения, компании, позволяват да се прилага вътрешнофирмен трансфер на права за замърсяване на средата, което значително разширява маневреността на крупните фирми при използване на инвестиционните ресурси. Всичко това дава възможност на някои фирми да натрупват излишъци от намалено замърсяване, с цел в тези граници да запазят и даже да разширят някои замърсяващи производства, без да нарушават регионалните екологични норми, тъй като не всички предприятия са в състояние да осигурят намаляване нивото на замърсяване до нормите.

Маркетинговите подходи за екологично регулиране в крайна сметка ще позволят на фирмите да модернизират собствените възможности за природоползване. По този начин ще се появят нови технологии, което е невъзможно с командно контролни методи, които са основани на проверка съответствието на всеки тип производствено оборудване на държавните и местните нормативи. Маркетинговите методи, също така, спомагат за развитието на нова еколого-икономическа насоченост на регионалното производство и ще позволят да се осъществи разделение на труда и кооперирание вътре в отделните предприятия, фирми и между тях за постигане на приемливо ниво на замърсяване на средата в конкретен регион, а също разделение на труда и кооперирание при производство на основна продукция и по отношение на емисии и отпадъци.

Маркетинговите подходи за регулиране неизбежно са свързани с диференцирано въздействие върху предприятията, т.е. природозащитните мерки ще се концентрират основно на крупни предприятия, на които тяхната себестойност ще бъде по-малка, отколкото на малки и средни предприятия.

Главната цел на маркетинговите подходи за управление на природозащитната дейност е насочена към осигуряване на регионалното използване на асимилационния потенциал на природната среда. Схемата за нейната реализация в мащабите на страната се свежда до следното: Правителството определя допустимите мащаби за въздействие върху природата, разпределя лицензите (разрешенията) между заинтересованите страни, а след това (за разлика от административната и икономическата система за регулиране) на предприемачите се предоставя свободата да преразпределят или препродават тези лицензи. Функцията на органите за управление е да контролира спазването на еквивалентността на сделките, така че сумарното въздействие върху природата да не се увеличава. Всичко това спомага за формирането на пазарна инфраструктура, т.е. закрепване правата на собственост за фирмата, осигуряваща реализацията на тези права (в това число даване на лицензи или сертификати на собственост), а също и възможност за контролиране дейността на екологичните банки и борси.

Техногенното развитие на икономиката увеличава броя на екологичните проблеми с техните заплахи и опасности за съществуването на човека и самата природа. Държавата притежава ограничени ресурси за предотвратяване и ликвидация на всички нови заплахи. Във връзка с това е необходима разработката на методология, позволяваща да се разкриват критичните проблеми и да се определя степента на тяхното негативно въздействие върху човека и природата. Това ще позволи на тази основа да се разпределят ограничените средства, да се разработват необходимите икономически инструменти и механизми за решаване на екологичните проблеми и смекчаване на техните последствия.

Перспективно направление в тази област е и методологията на риска, която все повече се прилага в много страни и за широк кръг от задачи. Екологичните проблеми могат да се разглеждат през призмата на три вида риск:

- *риск за здравето на човека* (травми, болести или смърт в резултат от въздействие на неблагоприятни екологични фактори);
- *екологичен риск* (вероятност от неблагоприятни последствия в резултат на човешката дейност върху екосистемите, растенията и животните);
- *риск за качеството на живота* (рискове, предизвиквани от замърсяването на околната среда, съпроводени то негативни икономически и социални последствия – намаляване рекреационните възможности на водните ресурси, замърсени от промишлени отпадъци и др.).

В количествено отношение екологичният риск се проявява в мащаби, движещи се от нула до единица.

При разглеждането на проблема за екологичния риск често се използва понятието *„опасност”*. Тези понятия следва да се разграничават. Опасност е всеки фактор, под въздействието на който могат да се наблюдава негативно влияние върху околната среда и човека, т.е. опасността е характеристика за самото замърсяващо вещество при взаимодействието му с околната среда и не зависи от наличието на реципиенти и специфичните условия на местността. За разлика от опасността рискът е свързан с

вероятността за настъпване на екологични събития. Той може да се определи количествено и възниква при непосредствено съприкосновение на замърсяващото вещество с реципиентите, зависи от условията на местността и дозата на въздействие.

За определяне на ефективни способи за управление на разнообразието от екологични рискове (тяхното отстраняване или намаляване до определено ниво), при наличие на голям брой рискови фактори, за установяване степента на приоритетност на всеки от потенциалните източници на екологични рискове е необходим сравнителен анализ, аранжиране на рисковете по тяхната значимост, а също и по социалната и медицинската значимост на техните последствия за човека.

Управлението на екологичния риск е процес на приемане на решения, използващи резултатите от оценките на риска и включващи съображения от технически, научен, социален, икономически и политически характер, за обосноваване на оптимални регулативни действия по отношение на замърсяването на околната среда с цел предотвратяване или намаляване на опасността.

Анализът и управлението на екологичния риск са свързани помежду си, но се различават.

Анализът и оценката на екологичния риск отговарят на въпросите: Колко рискова е дадената ситуация? Какви са рисковете, свързани с различните проблемни области?

Управлението на екологиния риск е свързано с въпроса: Какви решения следва да се вземат за намаляване на рисковете, свързани с различните проблемни области?

Управлението на еколгичния риск включва четири основни елемента:

- *сравнителна оценка и степенуване на екологичните рискове;*
- *определяне приемливото ниво на екологичния риск;*
- *избор на стратегия за намаляване и за контрол на екологичния риск;*
- *приемане на управленчески/регулиращи решения.*

В началния етап на управлението на екологиния риск се формира представата за проявлението и приемливостта на риска. Сравняват се пресметнатите рискове от въздействието на факторите върху околната среда с рисковете, предизвикани от други агенти или социални фактори. На тази основа се взема решение за приемлив риск – вероятността за настъпване на събитието, негативните последствия от което са толкова незначителни, че за получаваните изгоди хората или обществото са готови да поемат този риск.

**Заключение**

В заключение следва да се подчертае, че управлението на екологичния риск често е свързано с икономическия анализ на алгоритъма „разходи – резултат/ефективност". На основата на такава сравнителна оценка и степенуване на рисковете, а също и на стойностна оценка на разходите за предотвратяване на неблагоприятното екологично събитие следва да бъде прието съответно управленско решение.

**Литература**:


1. H a r v a r d b u s I n e s s s c h o o l p r e s s What Is Marketing
2. Д и м о в, Н. Околната среда – от енвиронментализма до свободата
3. Б л и з н а к о в, А т., З. Г ъ р г а р о в, Н. М а р и н о в а – Екология и икономика икономика и екология

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# VALIDATION OF THE MARINE MULTI-HAZARD SYSTEM OF NIMH-BAS THROUGH THE SATELLITE EARTH OBSERVATION DATA

**Marieta Dimitrova, Anna Kortcheva, Vasko Galabov**

*National Institute of Meteorology and Hydrology – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: :Marieta.Dimitrova@meteo.bg*

***Key words:*** *Satellite altimetry, scatterometer, wave modeling, Black Sea, coastal hazards, IncREO.*

***Abstract:*** *Strong winds, high waves and storm surges are the greatest environmental danger for the coastal areas. Therefore accurate prediction of the sea-state is absolutely necessary to minimize the risk at the sea and along the coastal zones. Wind waves and storm surge forecasting is the main part of the marine multi-hazard warning system for the western part of the Black sea. The National Institute of Meteorology and Hydrology, Bulgarian Academy of Sciences (NIMH-BAS) is responsible for this forecast services in Bulgaria and has combined its wave prediction system with a verification system in order to issue more accurate operational forecast products. The wind and wave model evaluation for the Black Sea is a difficult task because of the lack of conventional (in situ) wave data from buoys and weather ships. The advancement in satellite technology has created a possibility to use remotely sensed wave data for the validation of the atmospheric and wave models. Altimeter and scatterometer data from the satellite missions ERS-1/2, TOPEX-POSEIDON, ENVISAT, JASON1/2 and Metop-A has played a key role in the development of the operational numerical wind and wave forecast at NIMH-BAS during the last two decades. Wind speed and wave height measured by satellite scatterometer and altimeter over the Black Sea area represent a reliable data source to the study of regional wind and wave conditions. Simulation of historical storm situations is a key tool in examining potential natural hazards along the Bulgarian coast of the Black Sea. The wind and wave model data from the simulation of historical storm situations in the Black sea are compared with altimeter wind and wave data from ENVISAT, JASON1/2 satellites and the scaterometer wind data from the Advanced Scatterometer (ASCAT) on board the Metop-A satellite. This study has been done in the frame of FP7 EU Project "Increasing Resilience through Earth Observation" (IncREO). The results from the statistical model validation show that the model simulations are in good agreement with altimeter measurements in terms of the mean and standard deviation of the variables (significant wave height and wind speed).*

# ВАЛИДИРАНЕ ЧРЕЗ СПЪТНИКОВИ ДАННИ НА МОРСКАТА СИСТЕМА НА НИМХ-БАН ЗА ПРОГНОЗА НА ОПАСНИ ПРИРОДНИ ЯВЛЕНИЯ

**Мариета Димитрова, Анна Корчева, Васко Гълъбов**

*Национален институт по метеорология и хидрология – Българска академия на науките*
*e-mail: Marieta.Dimitrova@meteo.bg*

***Ключови думи:*** *Спътникова алтиметрия, скатерометър,моделиране на вълнение,Черно море, крайбрежие, природни бедствия*, IncREO.

***Резюме:*** *Силният вятър, щормовото вълнение и покачването на морското ниво представляват най-голямата опасност за крайбрежните райони. Затова точното предсказване на състоянието на морето е абсолютно необходимо за да се минимизира рискът за тези. Прогнозирането на морското вълнение и морското ниво е основна част на морската мулти-рискова система за предупреждения за западната част на Черно море. Националният институт по метеорология и хидрология към Българска академия на науките (НИМХ-БАН) е отговорен за този вид дейност в България и е съчетал своята система със система за проверка, за да се изготвят по-точни прогнозни продукти. Оценката на вятъра и вълнението от числения модел за Черно море е трудна задача, поради липсата на морски данни от буйове и метеорологични кораби. Напредъкът в сателитните технологии дава възможност да се използват дистанционно получените за вятър и вълнение данни за валидиране на атмосферните модели и вълновите модели. Алтиметричните данни от спътниците ERS -1 /2, Topex - POSEIDON , Envisat , JASON1 / 2 и данните от скатерометъра*

*ASCAT Metop -A играят ключова роля в развитието на оперативните числени прогнози на НИМХ -БАН през последните две десетилетия. Данните за скоростта на вятъра и височината на вълните, измерени от спътниците над района на Черно море представляват надежден източник на данни за изследването на регионалния вятър и състоянието на морето. Симулацията на исторически щормови ситуации е ключов инструмент при разглеждането на потенциалните природни бедствия по българското черноморско крайбрежие. Резултатите от модела като вятър и височина на вълната от симулацията на исторически щормови ситуации в Черно море се сравняват с алтиметричните данни за вятър и височина на вълната от сателитите Envisat , JASON1 / 2 и данните за вятър от скатерометъра- Advanced Scatterometer ( ASCAT ) на борда на сателита Metop -A. Изследванията са направени в рамките на проекта по 7РП на ЕС "Увеличаване на устойчивостта чрез наблюдение на Земята " ( IncREO ) . Статистическите резултатите от валидицията показват, че симулациите на моделите са в добро сходство с алтиметричните измервания по отношение на средната стойност и стандартното отклонение на променливите (значима височина на вълните и скорост на вятъра) .*

## Introduction

Wind waves affect human activities and have great geophysical significance. The description of the sea-state now is mandatory in the international safety bulletins. Accurate forecasting of sea conditions and adequate forewarning is essential for the safety of people, equipment and the environment**.** Wind waves, together with the strong winds and storm surge events, are major hazards in the coastal areas. The accurate forecast of such events is of a great importance for the national meteorological services in order to be able to issue reliable early warnings to the authorities, general public and users of specialized forecasts, ships, offshore platforms etc. In Bulgaria the organization, which is responsible to issue such warnings on operational basis is the National Institute of Meteorology and Hydrology (NIMH). The wind and wave model evaluation for the Black Sea is a difficult task because of lack of conventional (in situ) wave data from buoys and weather ships. The advances in satellite technology have created a possibility to use remotely sensed wave data for the validation of the atmospheric and wave models [6].

## Satellite Altimetry and Scatterometer Data

Satellite Earth Observation (EO) altimetry data plays an important role in the wave modeling and forecasting. Recent advances in satellite technology have created a possibility to use remotely sensed wave data for wave model validation. Satellite Earth Observation techniques have over the last two decades matured to such a stage, that quality products of ocean wind, waves, can be produced routinely. The most frequent variables retrieved from satellite sensors used in the national and international pre-operational and operational systems are wind and waves altimeter data. Significant wave height can be determined using satellite altimeter measure and such measurements have been used to validate numerical wave forecasting models.

Intercomparison studies of satellite data and model results have been previously carried out for the validation of wave models. The use of ERS1/2 and TOPEX-Poseidon altimeter data for ~~the~~ wave model verification for the Black Sea has been demonstrated in [7,8] and use of ENVISAT and Jason-1 altimetry in [15].

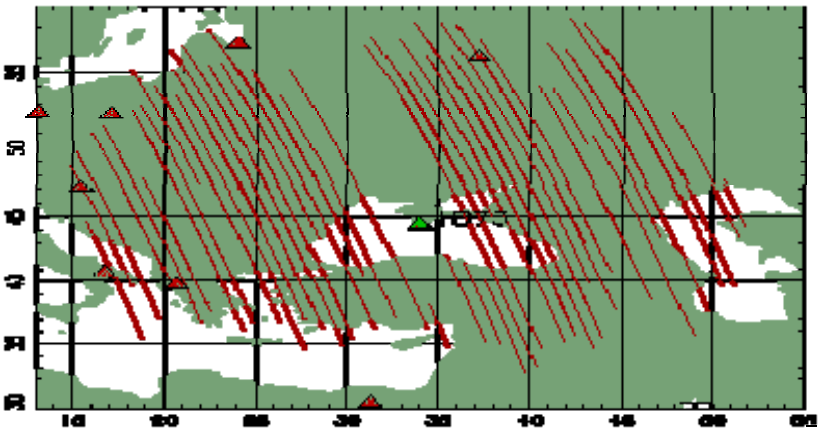


Fig. 1. Spatial coverage of the ERS-2 tracks

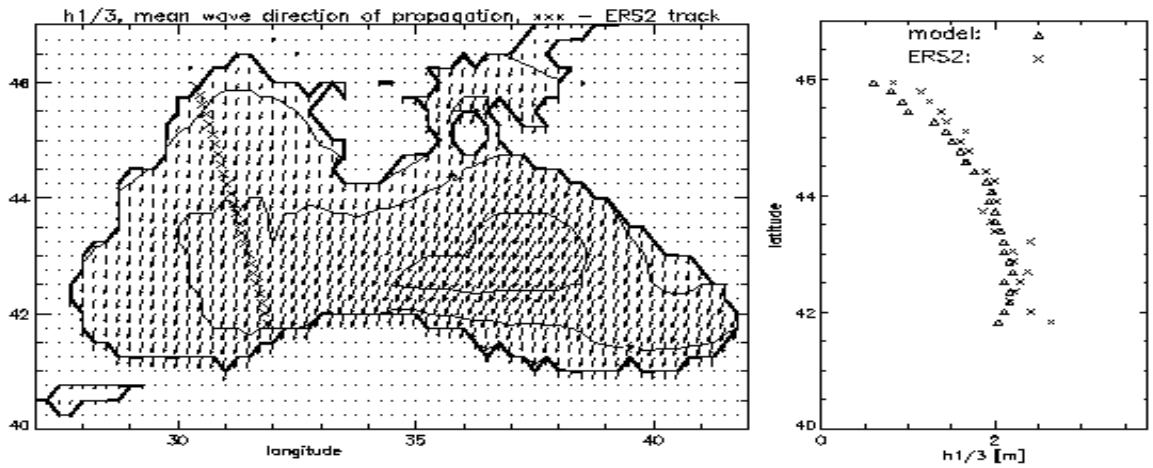



Figure 1

Fig. 2. Comparison of modeled by VAGBUL SWH and ERS-2 altimeter data during the storm in the Black Sea on 23.12.1996 at 12.00 UTC (A. Kortcheva, J-M Lefevre, 1998)

Satellites Jason 1 and Jason2 are continuation to TOPEX/Poseidon. Jason-2 was launched on June 20, 2008, as a collaboration effort between CNES, NASA, NOAA and EUMETSAT and flies in a low-Earth orbit at latitude of 1336 km, with global coverage between 66°N and 66°S latitude and a 10-day repeat of the ground track. Space-borne altimeter-derived wave heights Jason-2 are available along the satellite ground track (Fig.3). Fig.4 shows a repetitive pattern for the Jason-2 satellite path over the Black Sea. Jason-2 operates using two different radar frequencies: one in the Ku-band (13.6 GHz) and the other in the C-band (5.3 GHz). Ku band is the most commonly-used frequency (used for ERS, Topex/Poseidon, Jason-1, Envisat). This study use a Ku-band significant wave height (SWH) only.

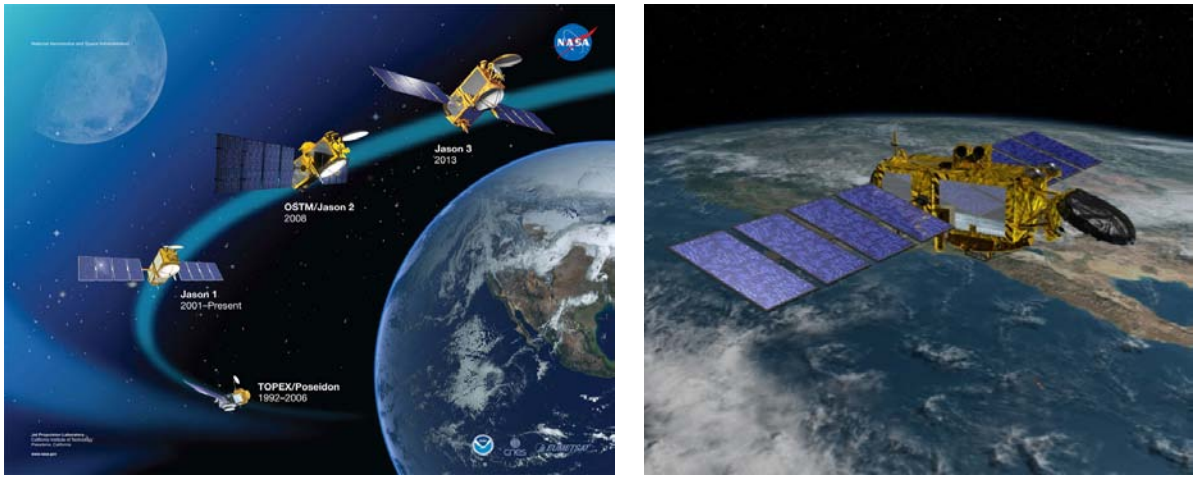



Fig. 3. Jason-2 along track measurements

The main data set used is in the Binary Universal Form for the Representation of meteorological data (BUFR) version (WMO Codes) of the Operational Geophysical Data Record (OGDR) of Jason-2 radar altimeter. Jason-2 BUFR products are designed primarily for dissemination via the Global Telecommunication System (GTS) and they consequently follow the format conventions defined by the World Meteorological Organization (WMO) for all data disseminated on the GTS. The WMO FM-94 BUFR is a binary code designed to represent, employing a continuous binary stream, any meteorological data. It has been designed to achieve efficient exchange and storage of meteorological and oceanographic data. This data is produced and disseminated by EUMETSAT and NOAA in the Near Real Time (NRT) within a few hours, which makes it suitable for operational use in atmospheric and ocean wave forecasting systems. The satellite altimeter data represent a high quality, independent and globally covering wave and wind data set which can be used for direct validation of the wave model data, even though this is limited to significant wave height and wind

speed**.** Jason-2 OGDR-BUFR product has been routinely streamed via GTS to NIMH-BAS since July 2012[9].

The near real time satellite significant wave height from Radar Altimeter instruments on the Jason-2 satellite are received, processed and used for the wave model validation for the Black sea.

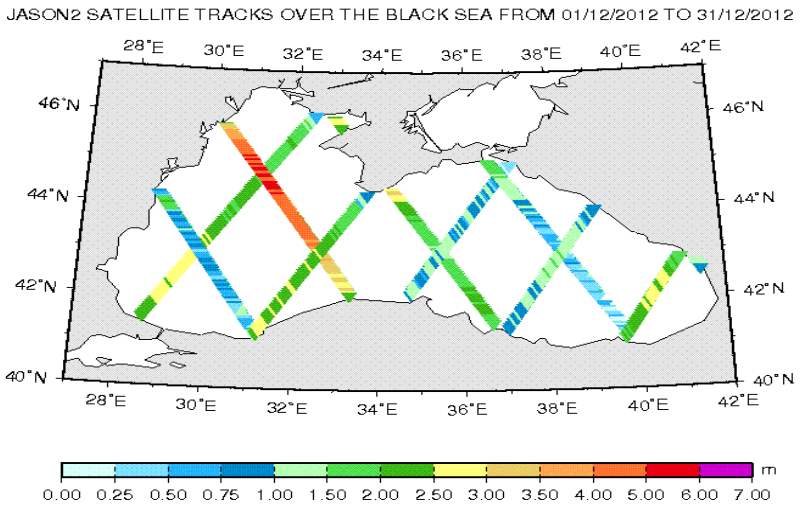



Fig. 4. Jason-2 Satellite tracks over the Black sea for December 2012

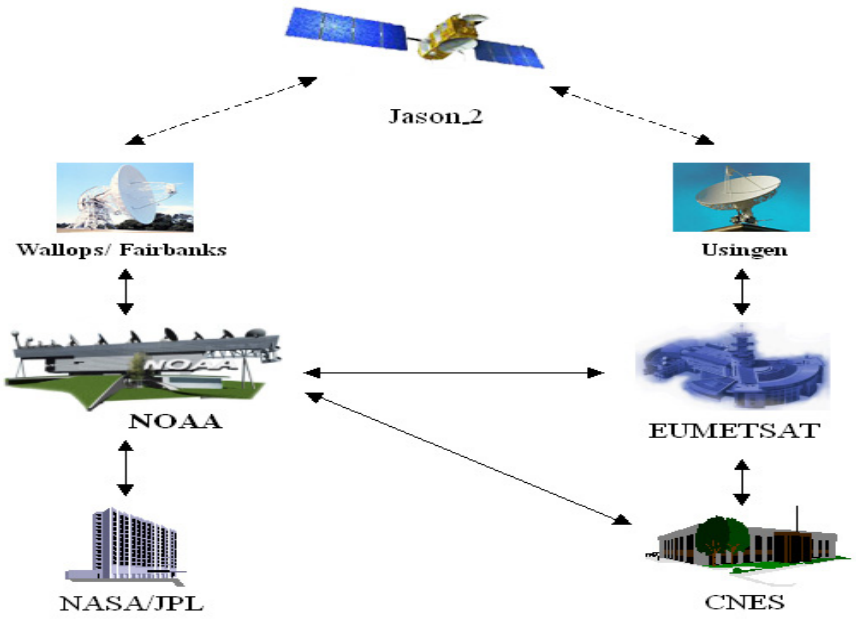



Fig. 5. The way of receiving of altimeter data

Trough the bilateral agreement between NIMH and ROSHYDROMET (Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring), ROSHYDROMET is providing us wind data from the Advanced Scatterometer (ASCAT) on board the Metop-A satellite (Fig.6).

The prime objective of ASCAT is to measure wind speed and direction over the oceans. With the rapid global coverage, day or night and all-weather operation, ASCAT offers a unique tool for long-term climate studies**.** ASCAT is a real aperture radar, operating at 5.255 GHz (C-band) and using vertically polarised antennas. It transmits a long pulse with Linear Frequency Modulation (‘chirp’).Ground echoes are received by the instrument and, after de-chirping, the backscattered signal is spectrally analysed and detected. In the power spectrum, frequency can be mapped into slant range, provided the chirp rate and the Doppler frequency are known. The processing is, in effect, a pulse compression, which provides range resolution.From around 837 km altitude, the instrument transmits well characterised pulses of microwave energy towards the sea surface. Winds over the sea cause small scale (centimetric) disturbances of the sea surface which modify its radar backscattering

characteristics in a particular way. These backscattering properties are well known and are dependent on both the wind speed over the sea and the direction of the wind, with respect to the point from which the sea surface is observed.

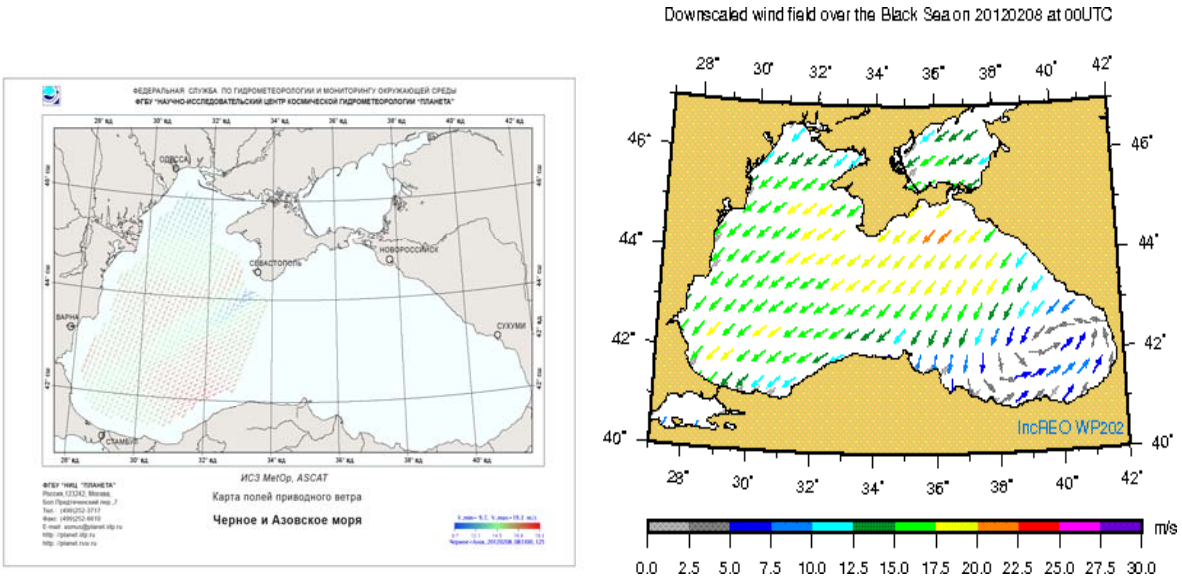



Fig. 6. Examples of ASCAT, Metop-A scatterometer wind data and obtained by-simulations of the atmospheric model for 07.02.2012 and 08.02.2012

**WAVEWATCH III Model**

WAVEWATCH III (WW3) is an operational numerical wave model implemented at NIMH-BAS for wind waves forecasting in the Black Sea. WW3 is a 3rd generation wave model developed by NOAA/NCEP [13] and based on finite difference solving of the balance equation of the spectral wave action in the approximation of phase averaging. The numerical wave model was implemented on a spherical grid cover the area of the Black Sea from 40°N to 47°N and from 27°E to 42°E on a regular latitude-longitude grid. The grid resolution is 0.125°x0.125° mesh size and it's driven by the 10 m surface wind fields from the limited area NWP model ALADIN. Initial conditions for each forecast, consisting of spectral density distribution of sea surface variance at the start time, generated during the previous forecast cycle. Wave energy two-dimensional spectra is post-processed from the numerical model to provide the output fields of the following variables: significant wave height (SWH), peak wave period, mean wave period, peak wave direction and mean wave direction (Fig.7).

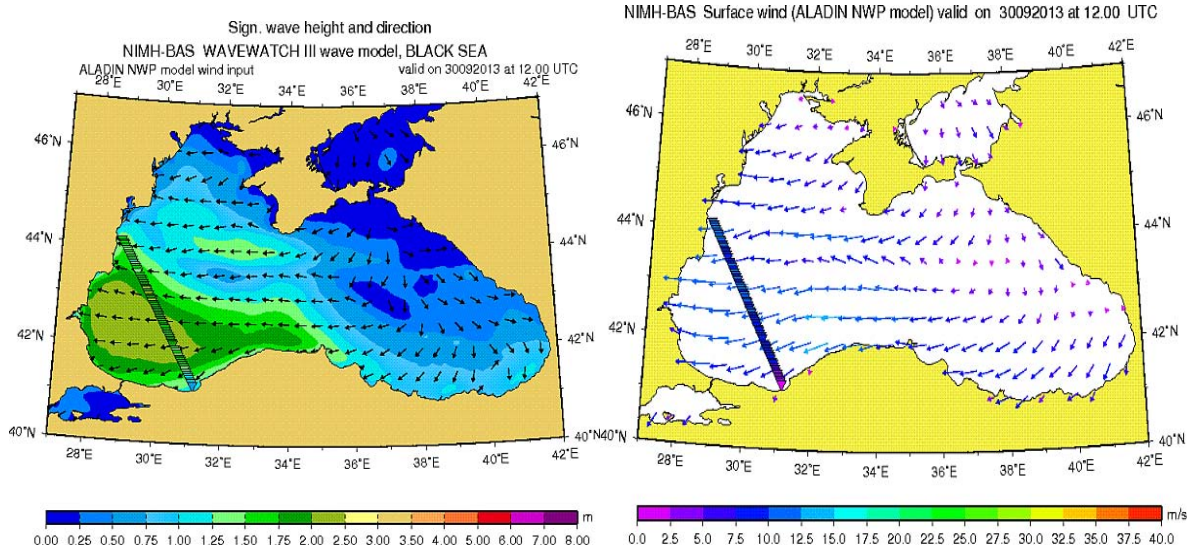



Fig. 7. Left- Map of SWH (WW3 model) in the Black Sea (the arrows indicate the mean wave directions), the black line denotes the ground track of Jason-2 above the Black Sea on 30.09.2013 at 11h26min. Right- Surface wind field (ALADIN model) and the ground track of Jason-2 on 30.09.2013 at 11h26min

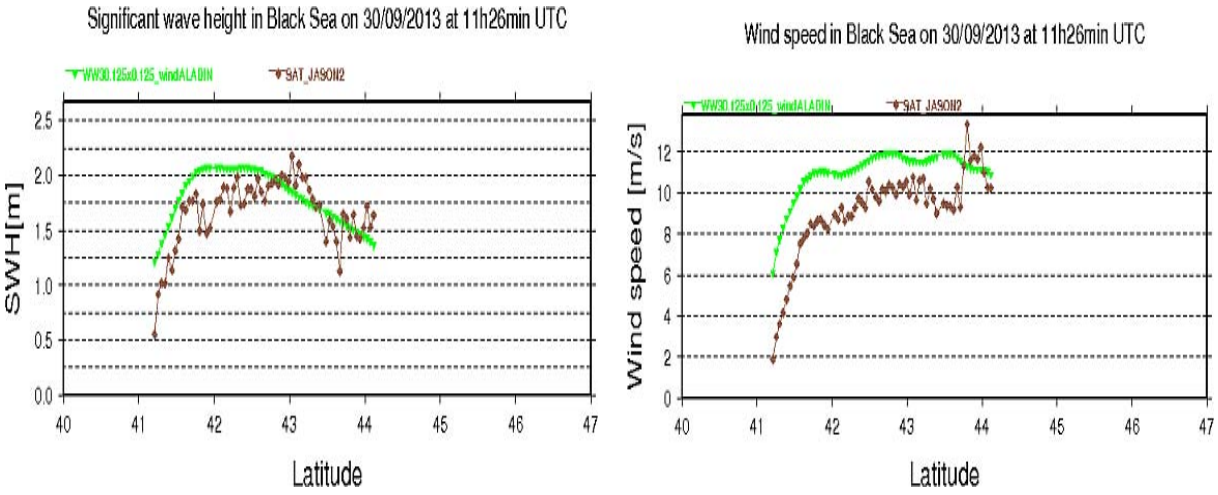



Fig. 8. SWH (WW3 wave model) and altimeter SWH along the Jason-2 track on 30.09.2013 at 11h26min-left. Wind speed (Aladin atmospheric model) and altimeter Jason-2 track wind speed on 30.09.2013 at 11h26min-right

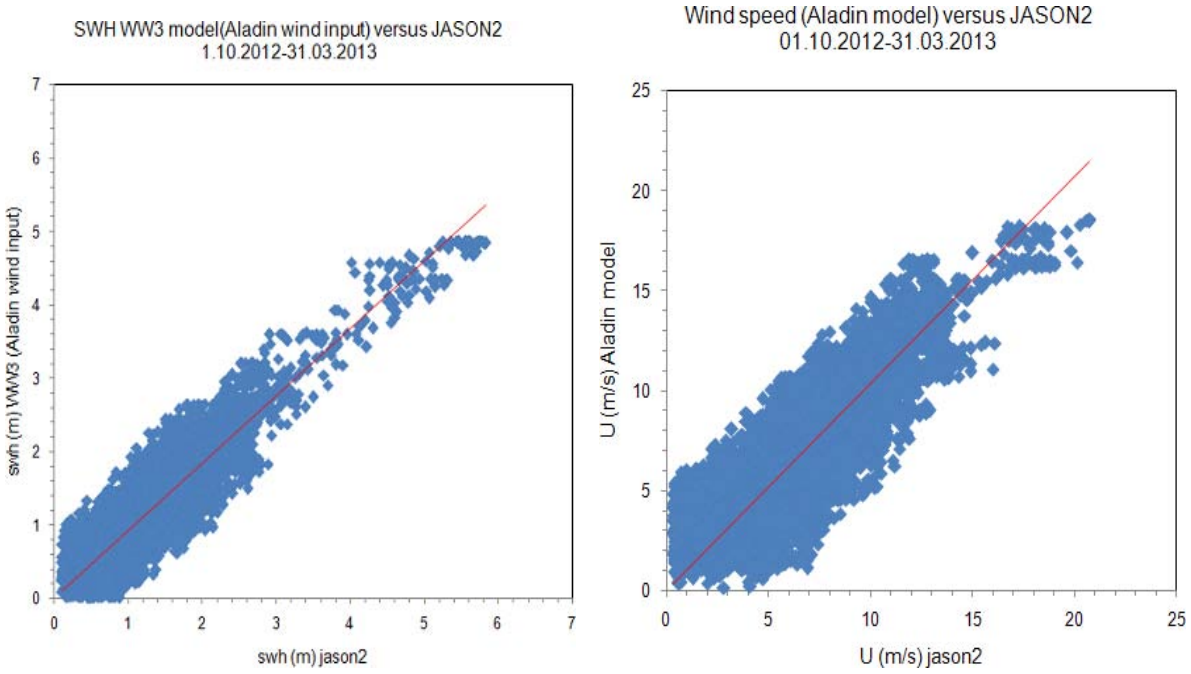



Fig. 9. Scatter diagram WW3 SWH versus the corresponding Jason-2 altimeter data during the period 01.10.2012-31.03-2013- left. Scatter diagram ALADIN wind speed versus the corresponding Jason-2 altimeter data during the period 01.10.2012-31.03.2013-right

Tab. 1 SWH (WW3 model) versus JASON2 altimetry for the period of 01.10.2012-31.03.2013

| | Nb. | SWH WW3 (m) | SWH JASON2 (m) | Bias (m) | RMS error (m) | Scatter index |
|---|---|---|---|---|---|---|
| all | 8964 | 1.11 | 1.19 | -0.08 | 0.33 | 0.28 |
| 0.5-1 m | 3193 | 0.72 | 0.76 | -0.04 | 0.27 | 0.36 |
| 1-2 m | 3834 | 1.29 | 1.40 | -0.11 | 0.33 | 0.25 |
| 2-3 m | 772 | 2.12 | 2.34 | -0.22 | 0.44 | 0.19 |
| >3 m | 164 | 3.88 | 4.29 | -0.40 | 0.54 | 0.13 |

Statistical results from the comparison of the altimeter-derived SWH and those from the wave model WW3 (Tabl.1) show that the absolute values of mean errors were relatively small during the period. The scatter plot (Fig.9) also shows a good agreement between the observed and the modeled SWH for WW3 wave model. In general WW3 wave model can provide accurate numerical simulation of the wave conditions over the Black Sea.

**SWAN Model**

SWAN (Simulating Waves Near Shore) is a third generation spectral wave model, developed in the technical university of Delft, Netherlands (TU- Delft) [14], with the purpose to be a coastal wave transformation model, which solves the action density balance equation. This high resolution wave model was implemented at NIMH in 2011[15]. The coastal wave prediction system was tested during the winter of 2011/2012. Fig.11 presents SWH during the most significant storm in the Black Sea in the last two decades (06-09 February 2012) which caused significant damage around the Bulgarian coast. The model is runing with grid resolution 0.0333°x0.0333° mesh size and it's driven by the 10 m surface wind fields from the output of ARPEGE/ ALADIN regional atmospheric model (the operational atmospheric model of NIMH-BAS), producing a forecast for the next 72 hours. Output from the SWAN model for near shore locations with depth below 20m was verified by comparing a satellite altimetry data from JASON1 and ENVISAT satellites (Fig.10 and Tab.2). In general the model can provide reliable wave forecasts for the Black Sea and coastal waters. For the entire Black Sea basin the corresponding statistics for several consecutive storms (observed significant wave height mean is 4.7m) is: bias -0.28m, root mean square error 0.61m and scatter index 0.13. Taking into account that we are investigating the behavior of the model under stormy (and not ordinary) conditions, such bias is 6% of the measured average value and taking into account that the scattering is below 0.15 we may conclude that SWAN when properly calibrated (replacement of the default choice of parameterizations) may work very satisfactory for extreme conditions (with the prerequisite that the atmospheric input is adequate enough)

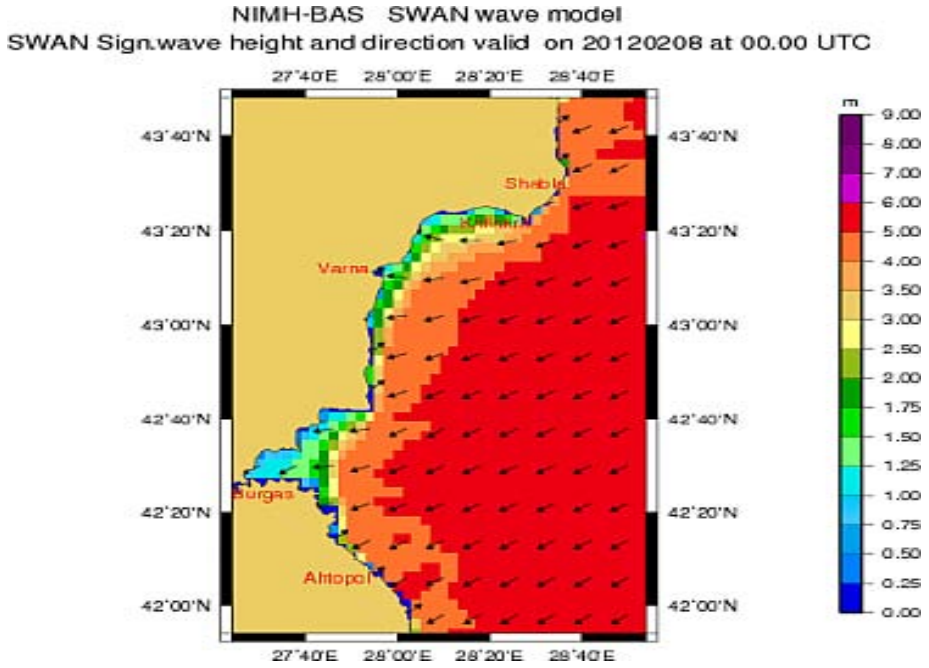



Fig. 10. Map of SWH (SWAN model) along the coastal area of the Black Sea on 08.02.2012 at 00:00UTC

Tab. 2. Comparison of SWH (SWAN wave model) with altimeter data from ENVISAT and JASON 1 only for locations with depth 10-20m but at least 10km from the coast during storms (the average measured wave height at these locations is 3m)

| Significant Wave Height [m]- SWAN – shallow waters | Bias [m] | Root Mean Square Error (RMSE) [m] | Scatter Index |
|---|---|---|---|
| Entire period of the Forecast (+6- +72h) | -0.24 | 0.42 | 0.14 |




Fig. 11. Right track-SWH (m), measured by ENVISAT satellite on 07/02/2012, 21UTC and left track-SWH from JASON1 on 08/02/2012

### Conclusion

The Earth Observation Satellite data helps to verify and improve the marine forecast and early warning system in order to increase the resilience of the coastal communities to the weather-related hazards. The overall conclusion is that operational wave models was found to produce a reliable wave forecasts for the Black Sea not only at deep, but also at coastal area. There is a good agreement in terms of statistical characteristics between the models output and the satellite data.

### Acknowledgments

This study has been supported by the FP7 EU-funded IncREO Project.

### References:

1. B o g a t h e v, A., (2008) Changes in operational suite of ALADIN-BG, ALADIN Newsletter No 34.
2. B o o i j, N., R. R i s, & L. H o l t h u i j s e n,( 1999) A third-generation wave model for coastal regions 1. Model description and validation, Journal of geophysical research 104(C4), 7649- 7666.
3. C h e l t o n, D. B., J. C. R i e s, B. J. H a i n e s, L. L. F u, and P. S. C a l l a h a n, (2001) “Satellite Altimetry”, Satellite Altimetry and Earth Sciences, ed. L.L. Fu and A. Cazenave, pp. 1-131.
4. J a n s s e n, P.A.E.M., (2007) Progress in ocean wave forecasting, J. Comput. Phys**.** 227, pp. 3572–3594.
5. J a n s s e n, P., B. H a n s e n, & J.-R. B i d l o t, Verification of the ECMWF forecasting system against buoy and altimeter data, (1997) Wea. Forecasting, 12, 763-784
6. J e a n – M i c h e l L e f e v r e, L o t f i A o u f, C h a f i h S k a n d r a n i, P i e r r e Queffeulou, Contribution of Satellite Altimetry to Wave Analysis and Forecasting, 15 years of progress in radar altimetry Symposium, Venice, Italy, 2006, http://earth.esa.int:80/workshops/venice06/participants/1268/index.html
7. K o r t c h e v a, A, (1998) Use of the ERS-2 satellite date for validation of wave model VAGBULH1 for the Black Sea. Bulgarian Journal of Meteorology & Hydrology, 6, 1-10.
8. K o r t c h e v a, A, K o r t c h e v, G, J-M. L e f e v r e. (2000) Operational numerical wind wave model for the Black Sea. Medit. Mar. Sci., 1/1, 2000, 65-69.
9. D i m i t r o v a, M., A. K o r t c h e v a, V. G a l a b o v, Validation of the operational wave model WAVEWATCH III against altimetry data from JASON-2 satellite , Bul. J. Meteo & Hydro 18/1-2(2013) 4-17
10. M a z a r a k i s, N., V. K o t r o n i, K. L a g o u v a r d o s, and L. B e r t o t t i,(2012) High-resolution wave model validation over the Greek maritime areas, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 3433–3440.
11. OSTM/Jason-2 Products Handbook, (2011) EUM/OPS-JAS/MAN/08/0041, http://www.aviso.oceanobs.com/fileadmin/documents/data/tools/hdbk_j2.pdf
12. S a l e h A b d a l l a, P e t e r A. E. M. J a n s s e n, and J e a n-R a y m o n f B i d l o t, (2010) Jason-2 OGDRWind andWave Products: Monitoring, Validation and Assimilation, Marine Geodesy, 33(S1): 239–255.
13. T o l m a n, H. L, (2009) User Manual and System Documentation of WAVEWATCH III TM Version 3.14. *NCEP Technical Note*, 220 pp.
14. The SWAN Team (2011) Implementation Manual SWAN Cycle III version 40.85. Delft University of Technology
15. G a l a b o v, V., A. K o r t c h e v a, M. D i m i t r o v a, (2012) Towards a system for sea state forecasts in the Bulgarian Black Sea coastal zone: the case of the storm of 07-08 February, 2012SGEM2012 Conference Proceedings/ ISSN 1314-2704, Vol. 3, 1017 - 1024 pp, DOI: 10.5593/SGEM2012/S14.V3012.
16. WMO Codes, http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/OperationalCodes.html
17. W o o d, A new dynamical core for the Met Offices global and regional modelling of the atmosphere, (2005) Q. J. R. Meteorol. Soc. 131. 1759-1782.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# АНАЛИЗ НА СТАТИСТИЧЕСКИ ДАННИ ЗА НАВОДНЕНИЯ В Р. БЪЛГАРИЯ

**Ралица Берберова**

*Нов български университет*
*e-mail: rberberova@nbu.bg*

***Ключови думи:*** *наводнения, България, статистически данни*

***Резюме:*** *Настоящият доклад представя анализ на официални статистически данни за станали наводнения на територията на страната ни за периода 2004 – 2011. Като отделен случай за 2012 г. е представено наводнението в с. Бисер, следствие на скъсана стена на язовир „Иваново”.*

# ANALYSIS OF STATISTICS FOR FLOODS IN BULGARIA

**Ralitza Berberova**

*New Bulgarian University*
*e-mail: rberberova@nbu.bg*

***Keywords:*** *floods, Bulgaria, statistical data*

***Abstract:*** *The purpose of this report is to present an analysis of floods occurred in Bulgaria for the period 2004-2011 on the basis of statistical data. The flood due to rupture of the dam wall Ivanovo of Biser village is presented like special case for 2012.*

## Въведение

Природните бедствия в България са на водещи позиции като причина за настъпване на кризисни събития. Наводненията са на първо място по вид природно бедствие, случващо се в страната ни [1, 2, 3, 4, 5].

Най-честата причина за появата на наводнения е следствие на интензивни дъждове, което води до приждането на реки, а оттам и до сериозни разливи. Такива наводнения са от т.нар. „дъждовно-речен” тип. Друг тип наводнения са по причина на бързото покачване на нивото на моретата и океаните, което най-често е следствие от появата на бури, а също така при изключително високи океански приливи, както и при рязкото потъване на части от сушата. Наводнения, могат да бъдат причинени и следствие на стопяване на снегове, от стопяване на ледове, от заприщвания на речни корита, от разрушаване на язовирни стени, от аварии в хидротехнически съоръжения и др. Освен изброените фактори, причина за появата на наводнения би могла да бъде комбинация от няколко от тези фактори. Например, налице са проливни дъждове, които водят до силно пълноводие на реките и в случай, че е налице заприщване на речното корито, това може да доведе до сериозни наводнения. Друг пример може да бъде отново проливен дъжд, който да спомогне топенето на сняг и оттам отново до наводнения. Или интензивни валежи и внезапно изпускане на язовирни стени – би довело до сериозно наводнения. Примерите за комбинирането на факторите, които могат да доведат до наводнение са много. [6, 7]

. Ежегодно в страна ни стават наводнения, които нанасят сериозни икономически щети и вземат жертви в отделни случаи [8]. Близо 70 % от ставащите наводнения на територията на България са следствие преливане на реки [9]. Причините за това са освен интензивните дъждове и снеготопене, неподдържане на речните корита и диги. През 2012 г., 06 февруари, с. Бисер е наводнено следствие на скъсана стена на язовир ”Иваново”. Този инцидент повдигна

много въпроси, свързани с мониторинга и контрола на тези съоръжения. В България съществуват над 2000 малки язовира [10].

**Информация за използваните данни**

Изготвеният в настоящия доклад анализ е въз основа на официални данни от Националния статистически институт (НСИ) [11]. Не са включени данни за станали горски пожари. В НСИ група „Пожари" обхваща битови и производствени. Данни за горски пожари са налични в Министерство на земеделието и храните и могат да бъдат изискани съгласно Закона за достъп до обществена информация (ЗДОИ) [12, 13]. В НСИ данни за кризисни събития за 2009 г. не са обработвани. При отправено запитване за тяхната липса се установи, че в посочения период екипът, отговарящ за сектор „Кризисни събития", е подновен и посочената година е „нулева".

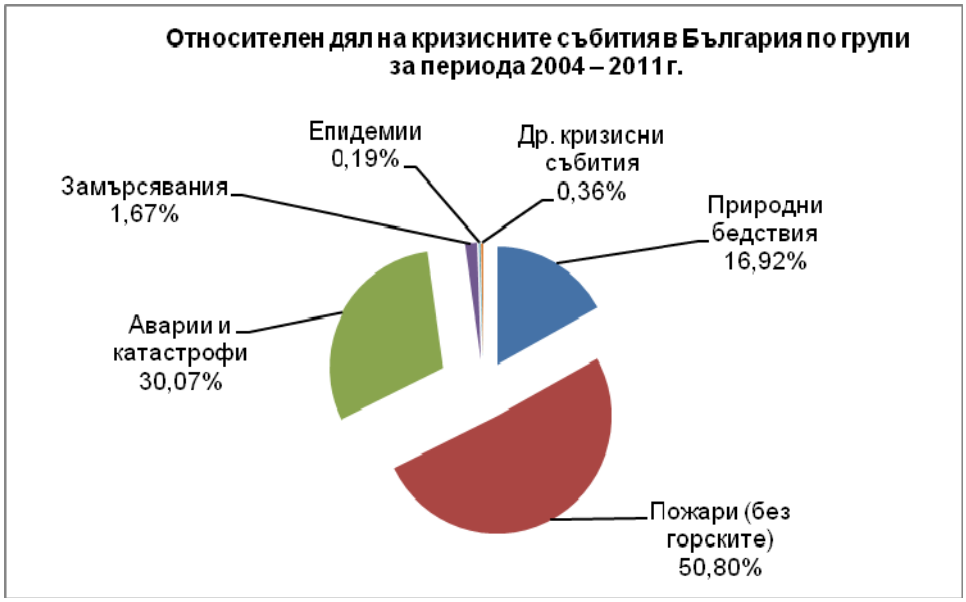
**Дискусия**

По данни на НСИ за периода 2004 – 2011 г. в България са отчетени общо 54462 кризисни събития (табл. 1) [11]. От тях най-голям относителен дял заемат пожарите (без горските) (50,8 %) и аварии и катастрофи (30,07 %) (фиг. 1). На трето място по брой станали кризисни събития е групата на природните бедствия (16,92 %). Следват замърсявания (1,67 %), епидемии (0,19 %) и други кризисни събития (0,36 %).

Табл. 1. Брой кризисни събития в България по групи за периода 2004 – 2011 г. [11]

| Група кризисно събитие | Кризисно събитие, бр. |
|---|---|
| Природни бедствия | 9217* |
| Пожари (без горските) | 27664 |
| Аварии и катастрофи | 16376 |
| Замърсявания | 909 |
| Епидемии | 102 |
| Др. кризисни събития | 194 |
| ***ОБЩО*** | ***54462*** |

** Без данни за станали горски пожари - данните не са налични в НСИ. В НСИ за 2009 г. не е изготвяна база данни за кризисни събития и тази година не е отчетена тук.*

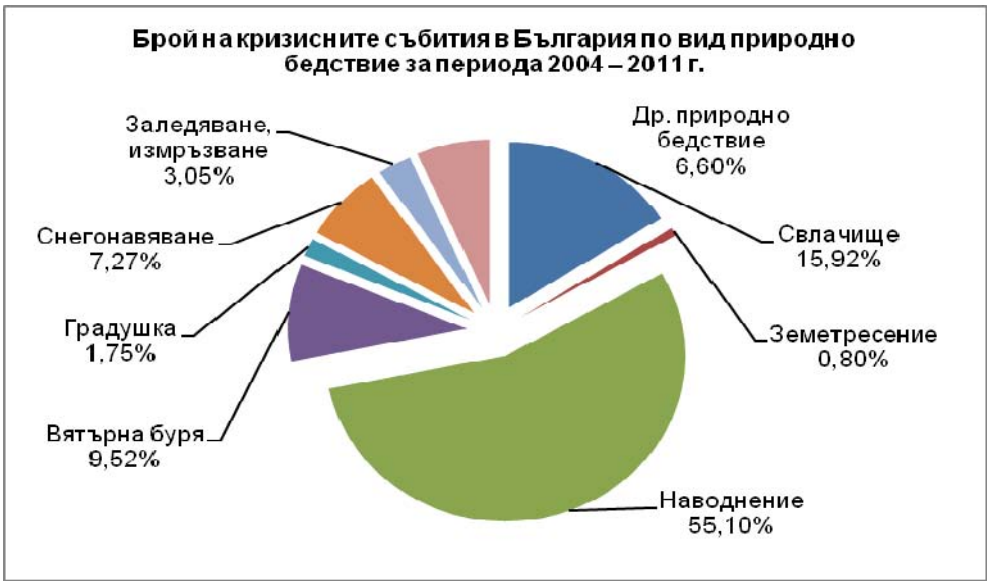



Фиг. 1. Относителен дял на кризисните събития в България по групи за периода 2004 – 2011 г.

От табл. 2 и фиг. 2 се вижда, че за разглеждания 7-годишен период от време, страната ни най-често е била засягана от наводнения (55,1 %). Свлачищата заемат второ място по честота на причинени кризисни събития (15,92 %), което доказва връзката между тези две явления. От геоложка и хидрогеоложка гледна точка много често наводненията са предпоставка за генериране на свлачищни процеси и/или активизиране на съществуващи свлачища. Относителният дял на кризисни събития, предизвикани от други природни бедствия, засегнали страната ни ,е както следва: вятърна буря (9,52 %), снегонавяване (7,27 %), заледяване (3,05 %), градушка (1,75 %), земетресение (0,8 %), други природни бедствия (6,6 %).

Табл. 2. Брой кризисни събития в България по вид природно бедствие за периода 2004 – 2011 г. [11]

| Група кризисно събитие | Вид природно бедствие | Кризисно събитие, бр. |
|---|---|---|
| **Природни бедствия** | Свлачище | 1467 |
| | Земетресение | 74 |
| | Наводнение | 5079 |
| | Вятърна буря | 877 |
| | Градушка | 161 |
| | Снегонавяване | 670 |
| | Заледяване, измръзване | 281 |
| | Друго природно бедствие | 608 |




Фиг. 2. Относителен дял на кризисните събития в България по вид природно бедствие за периода 2004 – 2011 г.

В табл. 3 са представени данни за броя на кризисните събития, настъпили следствие на станали наводнения в страната ни за периода 2004 – 2011 г. От фиг. 3 се вижда, че най-много са били през 2005 г., след което следва спад и отново леко нарастване през 2010 г. Най-честатап ричина за тяхната поява са преливане на речни корита и ненавременно и/или недобре неконтролируемо изпускане на водите от язовири. Освен метеорологичните условия в посочените години, спадът би могъл да се обясни с предприети действия от страна на държавната и общинска администрация – почистване на речни корита, поддържане на диги и други дейности с цел минимизиране на щетите от това природно бедствие. В последните години Министерство на околната среда и водите предприе мерки за борба с наводненията, изготвяйки аналитични доклади, оценки и методики с цел превенция от наводненията [14, 15]. Освен изготвянето на подобни анализи, оценки, планове и програми, за минимизиране на риска от наводнения е необходимо прилагането на конкретни превантивни мерки (почистване на речни корита, контрол по състоянието на речните диги, контрол на водните нива на

микроязовирите и язовирите, контрол на състоянието на микроязовирните и язовирни стени и др.).

Табл. 3. Брой кризисни събития от наводнения в България по години за периода 2004 – 2011 г. [11]

| **Природно бедствие** | **Година и брой** | | | | | | | | **Общо** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Година* | *2004* | *2005* | *2006* | *2007* | *2008* | *2009* | *2010* | *2011* | *2004-2011* |
| Наводнение | 531 | 1657 | 945 | 591 | 322 | **0** | 651 | 382 | **5097*** |

** В НСИ за 2009 г. не е изготвяна база данни за кризисни събития и тази година не е отчетена тук.*




Фиг. 3. Брой кризисни събития от наводнения в България за периода 2004 – 2011 г.

**Заключение**

Наводненията в Р България са природното бедствие, водещо до най-голям брой кризисни събития в страната ни за периода 2004 – 2011 г. Най-честата причина за тяхната поява са преливане на речни корита. Не са малко случаите на наводнения от ненавременно и/или недобре контролирано изпускане на количества вода от язовири. Станалото наводнение в с. Бисер през февруари 2012 г. изкара налице още един сериозен проблем – липсата на мониторинг и контрол за устойчивостта на язовирните и микроязовирни стени и функционирането на елементи от тях.

**Благодарности:** Настоящата работа е осъществена с финансовата помощ на ФНИ към МОМН (договор ДФНИ-М01/9/22.11.2012 г.).

**Литература:**

1. Б е р б е р о в а, Р., Г. П е т р о в, Л. Л а с к о в. 2013. Мониторинг и превенция от екологични бедствия чрез изследване на земно-насипни съоръжения на речни крайбрежия и микроязовири чрез георадар. Сборник с доклади Научна конференция с международно участие “Космос, екология, нанотехнологии, сигурност” SENS’2012. БАН. 413-419
2. Б е р б е р о в а, Р. 2012. Анализ на природните бедствия в България за периода 2004-2008 г. Сборник с доклади Научна конференция с международно участие “Космос, екология, нанотехнологии, сигурност” SENS’2011. БАН. 267-275
3. Б е р б е р о в а, Р. 2012. Уязвимост на България от природни бедствия, Сборник с доклади Научна конференция с международно участие “Космос, екология, нанотехнологии, сигурност” SENS’2011. БАН. 276-282
4. Б е р б е р о в а, Р. 2008. Аналитичен обзор на природните бедствия в България за 2006 г. Сборник с доклади VII международен научен симпозиум “Екология-устойчиво развитие”. СУ-Враца. 126-130
5. Б е р б е р о в а, Р. 2012. Рисковете от природни бедствия за РБългария. Сборник с доклади Международна научна конференция „Екологизация 2011”. НБУ. I 123-128

6. М а р д и р о с я н, Г. 2009. Природните бедствия и екологични катастрофи – изучаване, превенция, защита. Второ допълнено и преработено издание. Проф. Марин Дринов – БАН.
7. Национална програма за защита при бедствия 2009-2013. Р. България. МС. 2009
8. Сайт на община Харманли, Списък на засегнатите от наводнението в с. Бисер - Приложение № 2 към Протокол №15/11.10.2012 г. на ОбС-Харманли, http://www.harmanli.bg/presscenter/1-about-harmanli/1338-2012-10-15-06-11-30 (посетено на 21.10.2013 г.)
9. И в а н о в а, И., Р. Н е д к о в, Н. С т а н к о в а, М. З а х а р и н о в а, М. Д и м и т р о в а, С. Н и к о л о в а, К. Р а д е в а. 2013. Анализ на наводнението от месец февруари 2012 г. на територията на с. Бисер на базата на сътпникови и GPS данни в среда на ГИС. Сборник с доклади Научна конференция с международно участие “Космос, екология, нанотехнологии, сигурност” SENS’2012. БАН. 432-442
10. Т о ш е в, Д., Т. Ч о л а к о в, О. Т о д о р о в, Н. Л и с е в, Състояние на малките язовири в Р. България, сп. Водно дело, бр. 5-6/2012, 2-8
11. Национален статистически институт, http://www.nsi.bg/otrasal.php?otr=18 (посетено 20.09.2013 г.)
12. Закон за достъп до обществена информация, обн. ДВ, бр. 55/07.07.2000 г., посл. изм. ДВ, бр. 39/20.05.2011 г.
13. Закон за опазване на околната среда, обн. ДВ, бр. 91/25.09.2002 г., посл. изм. ДВ, бр. 66/26.07.2013 г.
14. Предварителна оценка на риска от наводнения в главните речни басейни на Република България – методика за оценка на риска от наводнения съгласно изискванията на Директива 60/2007/ЕС. МОСВ. 2011.
15. Окончателен доклад. Методика за оценка на заплахата от наводнения съгласно изискванията на Директива 2007/60/ЕС. МОСВ. 2013.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# СЪСТОЯНИЕ НА МИКРОЯЗОВИРНА СТЕНА НА ЯЗОВИР БЛАТНИЦА, ОБЩИНА СТРЕЛЧА

**Биляна Костова, Ралица Берберова**

*Нов български университет*
*e-mail: rberberova@nbu.bg*

***Ключови думи:*** *свлачище, GPRS, пенетрация, микроязовирна стена*

***Резюме:*** *Направена е съпоставка на възможностите на съвременни геофизични методи и класическите такива за изследване на земно-насипни съоръжения, в т.ч. микроязовирни стени. Въз основа на проведените изследвания е установено, че генерирането на свлачищния процес е следствие на разликата в литоложкия състав на двата насипа, изграждащи стената. Използването на георадарното изследване дава достатъчно надеждна първоначална информация за установяване на фактическото състояние на земно-насипните съоръжения.*

# ACTUAL CONDITION OF BLATNITZA EMBANKMENT DAM, STRELCHA MUNICIPILITY

**Bilyana Kostova, Ralitza Berberova**

*New Bulgarian University*
*e-mail: rberberova@nbu.bg*

***Keywords:*** *landslide, GPRS, penetration, embankment dam*

***Abstract:*** *A comparison of the capabilities of advanced geophysical and classical methods for the study of embankment dams has been made. Based on this studies it is found that the sliding processes are a consequence of the difference in the lithological composition of the two embankments of the studied dam. Using georadar research provides sufficiently reliable initial information to establish the actual condition of embankments.*

## Въведение

Микроязовир Блатница е изграден върху метамофни скали, които се разкриват в района – мигматизирани ивичести и очни гнайси с прослойки от амфиболити, гнайси и гнайсошисти [1].

Микроязовирната стена е изградена от два насипа. Първият насип (насип 1) е положен през 1958 г. Вторият насип (насип 2) е положен върху насип 1 през 1978 г. Насип 1 е с дебелина 8,5 m (разположен между 3,5 – 12,00 m от кота корона). Изграден е от светло-кафяви твърдопластични глини. Насип 2 е с дебелина 3,5 m и е съставен от тъмно-кафяви песъчливи средно до твърдопластични глини. Установена е граница на свличане около 3,5 m от кота корона. Като причина за наличието на свлачищния процес е посочена недобра степен на уплътняване между двата насипа, което предполага възможна филтрация на язовирните води на границата им. Получените резултати са въз основа на използване на класически методи на изследване [2].

Целта на настоящата работа е съпоставка на възможностите на съвременни геофизични методи [3] и класическите такива за изследване на земно-насипни съоръжения [4], в т.ч. микроязовирни стени.

## Обект

Обектът на изследване е стената на микроязовир Блатница. Микроязовирът е разположен на 1500 m източно от с. Блатница, в землището на с. Блатница, община Стрелча, област Пазарджик. Обектът е избран поради установен свлачищен процес от въздушната

страна на язовирната стена (фиг. 1), т.е. нарушение в целостта на съоръжението, което е и вероятна причина за наблюдаваното поддържано ниско водното ниво в чашата на язовира (10 – 10,5 m от кота корона).



Фиг. 1. Свлачищен процес от въздушната страна на язовирната стена, яз. Блатница

**Методи**

*Пенетрационни изследвания*

Пенетрациите са изпълнени със статичен пенетрометър TG63-150 DP+CPT, на италианската фирма PAGANI Geotehnical Equipment със следните технически характеристики: статично приложена натискова силасъс скорост от 0 до 10 cm/sec – 150 kN; статично приложена опънна сила със скорост от 0 до 7,5 cm/sec – 160 kN. Пенетрометърът е оборудван с електрически конус, с възможност за измерване и на порен натиск. Конусът е свързан с преобразовател и с помощта на лицензиран софтуер на GEOSTRU Software S.a.S. с лиц. № 1955/09.03.2004. Данните се обработват автоматично.

*Георадарно изследване (GPRS - Ground Penetrating Radar System), X3M, MALA.*

Измерванията са извършени на дълбочинно проникване 10 m от кота корона на язовирната стена. Антената е с номинална честота 250 MHz, предоставяща качествен сигнал до 15 m дълбочина. Времевият прозорец е 199.7 ns, като отговаря на отразени сигнали, достигащи от дълбочина до 10,04 m. Параметри на цифров тахометър – вид на колелото 250-800. Интервал между две поредни обработвани измервания 0.010 m. Параметри на системата за сбор данни – разделителност на антената 0.10 m, което отговаря на 10 осреднени поредни измервания. Посока на измерването – напред, тахометърът следва радара. Активиран сензор за детекция и отстраняване на мрежов шум 50-60Hz. Честота на дискретизация – 2633.33MHz. Георадарното изследване е направено при сух терен, което прави грешката на измерването пренебрежима.

**Резултати и дискусия**

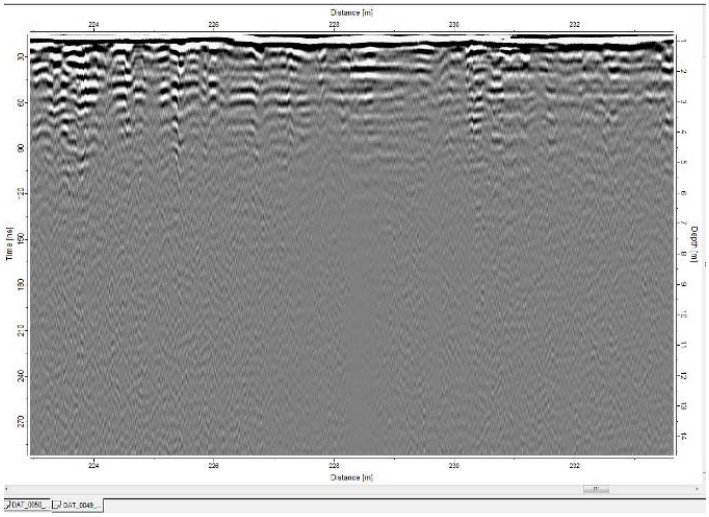
- *GPRS изследвания*

Направени са два георадарни профила на замерване. При профил 1 замерването е направено на дълбочинно проникване на сигнала на 15 m, а на профил 2 – 10 m (фиг. 2).



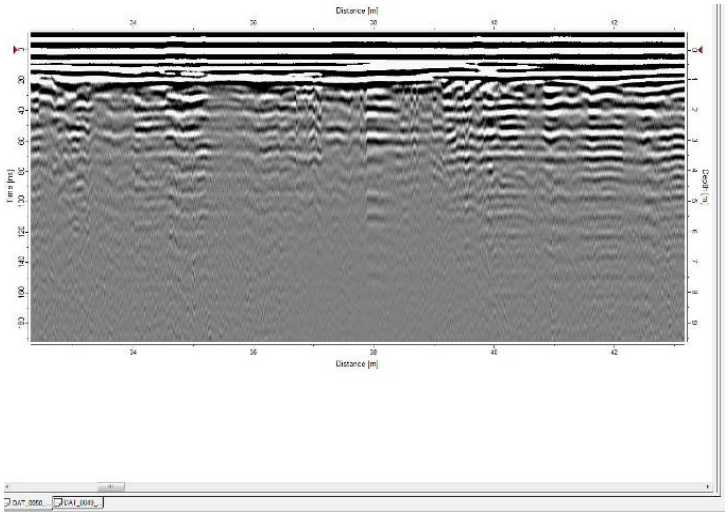

Фиг. 2. Положение на георадарните замервания на язовирната стена, яз. Блатница

Профил 1 е с дълбочинно проникване на сигнала на 15 m с цел достигане на коренните скали, върху които е изградена язовирната стена [1, 2]. При анализирането на радарграмата се установи една граница, показваща наличие на два разнородни по физични показатели материали. Границата се наблюдава на дълбочина между 2,5 и 4 m (фиг. 3). Границата между коренна скала и насип 2 не е отчетена. Вероятни причини за това са: (i) сходни физични параметри на коренните скали и насип 1 и (ii) границата между коренните скали и насип 1 е разположена на по-голяма дълбочина от 15 m. На радарграмата не се наблюдават структурни нарушения.



Фиг. 3. Георадарно замерване (профил 1)

Профил 2 е с дълбочинно проникване на сигнала на 10 m с цел получаване на по-качествен сигнал от измерването в двата насипа и границата между тях (фиг. 4). При анализирано на радарграмата е ясно отчетлива границата между двата насипа в дълбочина между 3 и 4 m. Тази граница съвпада добре с по-рано определената при класическите методи на изследване [2].



Фиг. 4. Георадарно замерване (профил 2)

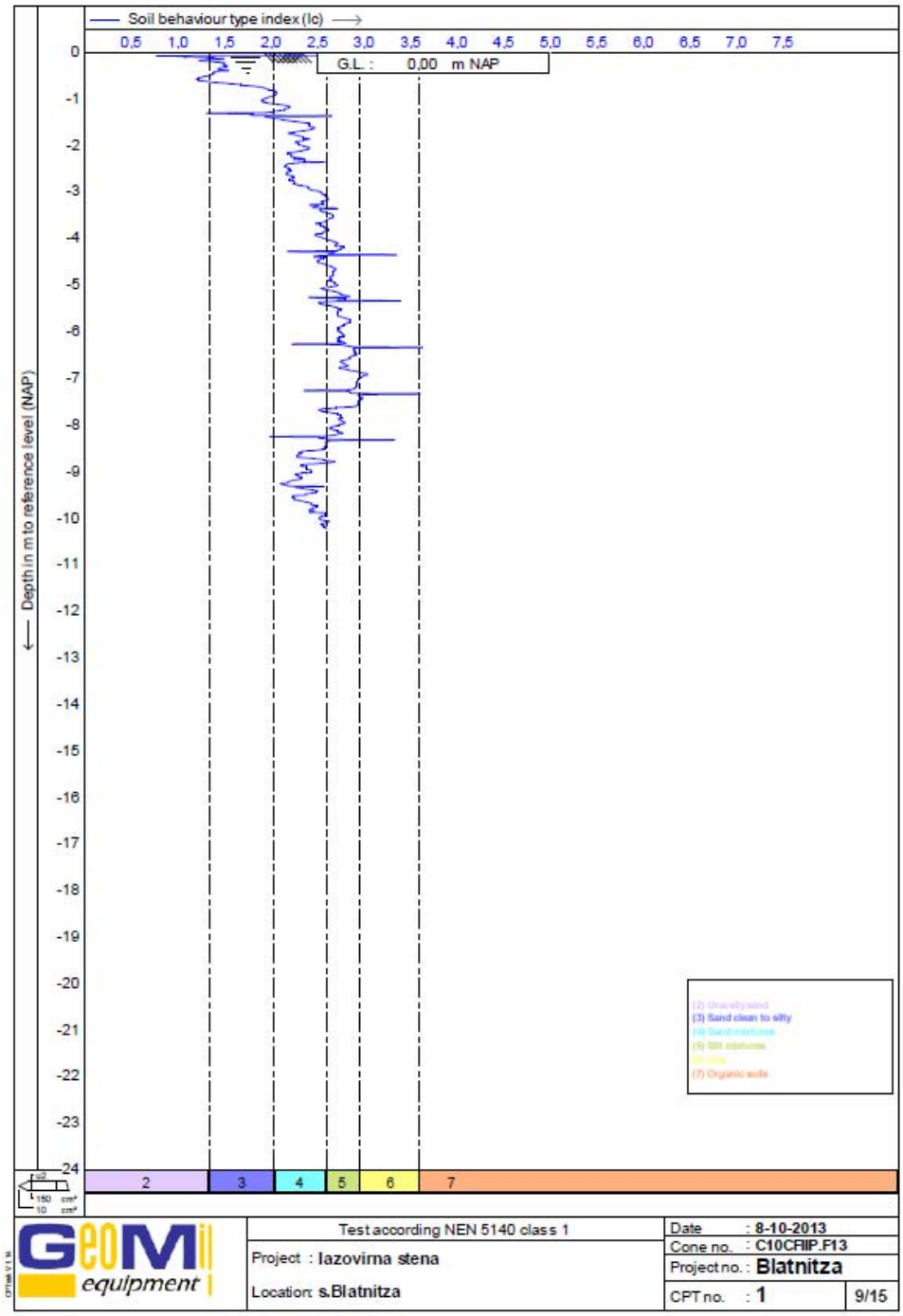
- *Пенетрационни изследвания*

Въз основа на резултатите от георадарните изследвания и интерпретацията на получените данни е определена дълбочината на пенетрационното изследване – 10 m, с цел получаване на информация за литоложкия състав на двата насипа (фиг. 5).

На дълбочина до около 1,5 m са установени песъчливи глини. От 1,5 m до около 3,00 m и от 8,5 m до 10 m дълбочина има наличие на материал с песъчлив състав. Между 3 m и 8 m дълбочина насипът е изграден от глинест материал.

Резултатите от проведените пенетрационни изследвания потвърждават резултатите от проведените класически изследвания, като ги детайлизират. При пенетрационните изследвания

в насип 2 се установява вътрешна литоложка граница на дълбочина около 1,5 m. Отчетената граница между насип 1 и насип 2 е разположена на дълбочина около 3,2 m, което съвпада с резултатите от класическите методи и георадарните измервания, като ги доуточнява. В насип 1 също е установена вътрешна литоложка граница, разположена на около 8,5 m дълбочина, което може да позволи инфилтрация на язовирна вода под тази граница.




Фиг. 5. Пенетрационно изследване - литоложки състав

**Заключение**

Въз основа на проведените теренни изследвания и апаратурни измервания на земно-насипната стена на микроязовир Блатница могат да бъдат направени следните изводи:

- ✓ при теренните изследвания е установен свлачищен процес от въздушната страна на язовирната стена;
- ✓ георадарните и пенетрационните изследвания корелират с литературните данни за литоложкия състав на материалите, изграждащи стената;

- ✓ георадарните изследвания не показват наличие на пукнатини и разломи по язовирната стена;
- ✓ интерпретацията на радарграмите и пенетрационните изследвания определя като вероятна причина за генерирането на свлачищния процес разликата в литоложкия състав на двата насипа, изграждащи стената.

В резултат от проведените изследвания са направени следните изводи относно приложението на георадарния метод при изследване на земно-насипни съоръжения:

- ✓ георадарните изследвания са недеструктивен метод за изследване на земно-насипни съоръжения;
- ✓ данните от радарното изследване се визуализират на момента;
- ✓ радарграмите дават информация земно-насипното съоръжение в целия му обем, а не отделни негови точки или участъци;
- ✓ радарграмите предоставят достатъчно качествена първоначална информация относно наличието в дълбочина на материали с различни физични свойства;
- ✓ резултатите от направените точкови пенетрационни изследвания потвърждават резултатите от георадарните изследвания;
- ✓ паралелното използване на пенетрационни и георадарни изследвания съвпадат достатъчно добре с класическите методи на изследване и могат да бъдат използвани за първоначален мониторинг на земно-насипни съоръжения;
- ✓ използването на георадарното изследване дава достатъчно надеждна първоначална информация за установяване на фактическото състояние на земно-насипните съоръжения.

**Благодарности:** Настоящата работа е осъществена с финансовата помощ на ФНИ към МОМН (договор ДФНИ-М01/9/22.11.2012 г.). Авторите благодарят на В. Ангелова-Сергиева за техническата помощ при оформянето на фиг. 2.

**Литература:**

1. Геоложка карта на България, М1:100 000, Картен лист № 61
2. Инженерно-геоложко и хидрогеоложко проучване за укрепване на язовирна стена на язовир Блатница, община Стрелча. “Водоканалпроект – Чисти води“ ООД. 2013
3. M o r i, G., The use of Ground Penetrating Radar and alternative geophysical techniques for assessing embankments and dykes safety, 2009, PhD Doctoral Thesis, Alma Mater Studiorum Università di Bologna
4. D a n i e l s, J. 2000. Ground Penetrating Radar Fundamentals, Department of Geological Sciences, The Ohio State University Prepared as an appendix to a report to the U.S.EPA, Region V Nov. 25
5. G R I M B E R G M., Rozina STEIGMANN, Nicoleta IFTIMIE, Adriana SAVIN, 6th NDT in Progress 2011, International Workshop of NDT Experts, Prague, 10-12 Oct 2011, Ground Penetrating Radar as tool for nondestructive evaluation of soil, National Institute of Research and Development for Technical Physics, Iasi, Romania
6. Т о ш е в, Д., Т. Ч о л а к о в, О. Т о д о р о в, Н. Л и с е в. Състояние на малките язовири в Р. България. сп. Водно дело. 5-6/2012. 2-8

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# КАРТОГРАФИРАНЕ НА СВЛАЧИЩНАТА ЧУВСТВИТЕЛНОСТ НА ТЕРИТОРИЯТА НА ОБЩИНИТЕ ПЕХЧЕВО И СИМИТЛИ ЧРЕЗ МОДЕЛИРАНЕ В GIS

**Екатерина Иванова[1], Ивица Милевски[2]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2]Скопски университет „Св. Св. Кирил и Методий"*
*e-mail: ivanovae@space.bas.bg; ivicamilevski@gmail.com*

***Ключови думи:*** *GIS, свлачищна чувствителност, модел за отношение на честотите (FRM)*

***Резюме:*** *Инструментите на ГИС и статистическите методи за симулация и моделиране позволяват прилагането на количествените методи и в изследванията на свлачищните процеси. Целта на това изследване е да се картографира свлачищната чувствителност на територията на трансграничният регион на общините Пехчево и Симитли по модел, анализиращ съотношението на относителната честота на свлачищните събития във всеки един клас от предварително определена група от фактори. Избраните в това изследване фактори, които оказват най-силно влияние върху свлачинтата активност са геологията, наклона на склоновете, надморската височина, изложенията на склоновете, растителната покривка, разстоянието от реки, пътища и тектонски структури. Използвани са и два индекса, които характеризират условията на овлажнение в зависимост от топографската повърхност (TWI и SPI), извлечени от цифровия модел на релефа. Предимствата на избрания модел са два. Първо използва ясни и логични критерии за анализ и второ се основава на емпирични данни за реални свлачищни събития. Ето защо считаме, че картата на индекса на свлачищна чувствителност, създадената в резултат от прилагането на модела, дава една сравнително обективна оценка на опасността от проява на свличаща в границите на изследваната територия.*

# LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPPING OF THE TERRITORY OF MUNICIPALITIES PEHCHEVO AND SIMITLI BY MEANS OF GIS MODELING

**Ekaterina Ivanova[1], Ivica Milevski[2]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Ss Kyril and Methodius University of Skopje*
*e-mail: ivanovae@space.bas.bg; ivicamilevski@gmail.com*

***Keywords:*** *GIS, landslide susceptibility mapping, frequency ratio model (FRM)*

***Abstract****: GIS tools and statistical methods for modeling and simulation allow the application of quantitative methods in research on landslide processes. The purpose of this study is to map landslide susceptibility of the crossborder area of municipalities Pehchevo and Simitly using frequency ratio model for analyzing the landslide events in any class of a predetermined set of factors. Selected in this study factors that have the strongest influence on the landslide activity are geology, slope angle, elevation, slope aspects, vegetation cover, distance from rivers, distance from roads and distance from tectonic structures. Two indexes for characterizing of the hydrological conditions were used – Topographic Wetness Index (TWI) and Stream Power Index (SPI). Those indexes depend of the topographic surface and were derived from the digital elevation model. There are two advantages of the selected model. First this model uses clear and logical criteria for analysis and the second is based on empirical data about real landslide events. Therefore, we believe that the landslide susceptibility map which was created as a result of the implementation of the model provides a relatively objective assessment of the landslide hazards within the study area.*

**Въведение**

Свлачището е природно бедствие от което страдат много райони по света, включително Балканският полуостров, където попадат териториите на България и Македония. У нас са известни над 1000 големи свлачища, които ежегодно причиняват сериозни щети на инфраструктурата. Освен за крайбрежните зони, това природно бедствие е типично и за разломните зони каквато е Струмската, за райони със силно пресечен релеф и за местата, където се извършва добив на полезни изкопаеми – особености с които се характеризира територията на общините Пехчево и Симитрли. Свлачищните процеси нямат внезапен характер и е възможно да бъдат регулирани с технически средства, но борбата с тях е трудна и скъпа. Ето защо оценката на свлачищната чувствителност и картографирането на районите с опасност от възникване на свлачище са от съществено значение за управлението на територията. Картите на свлачищната чувствителност и свлачищната опасност дават възможност за вземане на превантивни мерки за предотвратяване на възникването на свлачища на места, където би могло да се очаква това да се случи.

Предвиждането на свлачищната чувствителност на даден район изисква количествена методология за моделиране на сложните явления които са повлияли на минали свлачищни събития, използвайки комбинацията от голям набор от причинно-следствени фактори, свързани с появата на бъдещи свлачищни процеси. А анализа на свлачищната чувствителност изисква събирането на голямо количество данни за конкретния изследван район, което от своя страна е свързано с изразходването на време и ресурси [1].

Развитието на иновационните технологии – цифровите методи на GIS и методите за дистанционни изследвания и наблюдения на Земята значително улесниха трудоемката задача, свързана със събирането на данните и дадоха нова насока за развитие на геомогфологията в търсенето й на ефективни методи за анализиране на савлачината чувствителност.

Физически базираните детерминистични подходи за предсказване на свлачища, свързани с безкраен анализ на стабилността на склона и с хидроложки модели, описващи движенията на подземния воден поток имат силно пространствено ограничение и изискват огромно количество трудно достъпна информация свързана с хидравличните и механичните свойства на почвения и подпочвения слой [2]. Ето защо все по-голяма популярност придобиват другият тип прогнозни модели – така наречените статистически или вероятностни модели, които се базират на предположението, че бъдещи свлачища могат да възникнат при подобни условия на тези, при които вече са възникнали такива и чийто свойства вече са известни. Те използват корелацията между възникването на свлачище и условията, които влияят върху възникването на свлачища. Група от фактори или така наречените от [2] обяснителни променливи или параметри като геоложка основа, наклони на склоновете, изложения на склоновете, растителната покривка, разстоянието от реки, пътища и др.

Най-често използваните статистически модели са логистичният регресионен анализ [2, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14], йерархическият аналитичен процес [5, 9, 12], модела за съотношение на честотите [1, 8, 11, 12, 14], така наречените изкуствени невронни мрежи [1, 3, 4, 8, 10, 11, 13, 15] и др. Отделните модели се различават както по начина на задаване на параметрите в тях, така и по начина на изчисляване на коефициентите на самите параметри. Общото при тях е, че всички те изискват информация за минали свлачищни събития в рамките на изследваната територия (т.н. свлачищна инвентаризация). Прилагането на всеки един от моделите за конкретна територия съдържа в себе си и субективната експертна оценка при избора на самите параметри.

Тези методи все повече се използват за анализ на опасността от поява на свлачища в различни части на света, но за сега нямат широко приложение за региона на Балканския полуостров. Методът на размитата логика е прилаган за оценка на природни рискови процеси комплексно именно за територията на Югозападна България в границите на която попада и община Симитрли [16], както за части от територията на Източните Родопи [17]. Доколкото ни е известно до сега не са прилагани статистически модели за оценка на свлачищната чувствителност за територии в границите на Република България или Република Македония. Ето защо се надяваме настоящата работа, чиято цел е да се картографира свлачищната чувствителност на територията на трансграничният регион на общините Пехчево и Симитли да проправи път в тази посока за развитието на геоморфоложките изследвания в региона. Избрали сме Модела за съотношение на честотите, като най-подходящ както по отношение на неговата обективност, така и по отношение на детайлността на наличната база данни и площта на изследваната територия.

**Район на изследване**

Районът на изследване включва две административни единици от двете страни на държавната граница – община Пехчево на територията на Република Македония и община Симитли на територията на Република България. Разположен е на 768.3 $km^2$ площ, от която 27% попадат в Република Македония, а останалите 73% на територията на България. Простира се от 41°41' на юг до 42°00' на север и от 22°46' на запад до 23°22' на изток. Територията се характеризира с силно контрастен и разнообразен релеф. Включва части от 7 структурни единици – Беровската и Делчевксата котловини в Македония, граничните планини Малешевска и Влахина, а в границите на община Симитли попадат Симитлиийския грабен и чати от Пирин и Рила, която е най-високата планина на Балканския полуостров. Надморската височина варира от 193 m по течението на р. Струма до 2590 m във високопланинския дял на Пирин. Поради силният контраст на релефа, в границите на двете общини преобладават големите наклони – над 30 градуса, а средният наклон е 40,3 градуса. Това показва, че енергията на релефа е много висока, което е силна предпоставка за развитието на свлачищни процеси и обуславя оценката за опасността от такива.

Районът е изграден от разнообразни по състав, структура и възраст скали. Планинските дялове са изградени от стари докамбрийски и палеозойски метаморфни скали (гнайси и шисти, мигматити, амфиболити), силно деформирани от последвали тектонски процеси и магмени интрузии (гранити и диабази). Грабените са запълнени от мощни палеогенски и неогенски седименти, които включват и някои въгленосни свити, където броят на въглищните пластове се изменя от 1 до 16, а дебелината им варира от сантиметри до 25-30 метра. Въгленосните пластове при Ораново и Брежани се експлоатират. Неспоените кватернерни седименти имат значително генетично разнообразие. Включват делувиалните и пролувиалните образувания в подножията на планините, както алувиалните седименти по долините на реките.

По отношение на сеизмичната активност на територията на двете общини попада активно земетръсно огнище с енергиен потенциал един от най-високите в Европа, способни да породят земетресение от 7-ма и по-висока степен по скалата на Рихтер – Крупнишко-Кресненското земетръсно огнище. В тази зона, по Крупнишкия разлом (линията Крупник – Пехчево – Кочани) на 4 април 1904 г е било регистрирано най-голямото земетресение Европа за последните 200 години.

Климатът в района е преходно-континентален със силно средиземноморско влияние, а във високите части – планиски. Средногодишната температура е 12,7°C по долината на р. Струма, а във високите части на планините около 0°C. Средногодишната сума на валежите в котловините е около 560 mm. С увеличаването на надморската височина се увеличава и средногодишното количество на валежите, което във високите части на планините достига и надминава 1000 mm. Територията на община Симитли се отводнява от р. Струма, а тази на Пехчево от р. Брегалница. Почвената покривка в района също е разнообразна. От почвените типове най-голяма площ заемат камбисолите, следвани от лувисолите и ранкерите. Структурата на почвите включва още регосоли, вертисоли, лувисоли, флувисоли и колувиални почвиени типове. Според анализа, направен на основата на тематични карти за растителната покривка, спътникови изображения и модела CORINE Land Cover (CLC 2006), горският фонд в община Симитли представлява 58.5% от нейната територия, а този на община Пехчево около 45% включващ различни видове широколистна и иглолистна растителност.

**Данни и методология**

Методът за съотношението на честотите, използван в това изследване е количествен метод, предложен от [11] и се базира на връзката между областите, където е настъпило свлачище и условията, при които е настъпило или факторите, които са го причинили. Количествено тази връзка е изразена чрез отношението на честотата на настъпване на свлачищни събития в даден клас на всеки от предварително определените фактори и площта на съответния клас спрямо общата площ на изследваната територия. Както посочва [11], колкото е по-голямо това съотношение, толкова по силна е връзката между възникването на свлачището и атрибута на дадения фактор. Честотата на съотношенията за всеки диапазон от всеки фактор се изчислява, като се раздели съотношението на свлачищните прояви в него на съотношението на неговата площ. Накрая честотата на съотношенията на всеки фактор се сумира за да се получи индексът на свлачищна чувствителност на територията, използвайки уравнение (1)

(1) $$LSI = \sum_{i=1}^{n} FR_i$$

където ***FR*** е съотношението на честотите на всеки фактор, а ***n*** е броят на избраните фактори.

За оценката на свлачищната чувствителност на територията на трансграничния район на общините Пехчево и Симитли бяха избрани десет фактора, които оказват най-силно влияние върху възникването на свлачищни процеси. Това са геоложката основа, средният наклон на релефа, надморската височина, изложенията на склоновете, индексът за топографска влажност на почвата (TWI), конвергенцията на релефа (SPI), разстояния от реки, пътища и разломи, както и растителната покривка.

Събирането на данните бе извършено на основата на специализирани картографски източници, справочни материали и публикации. За целта бяха използвани граждански топографски карти в М 1:50 000, геоложки карти в мащаб 1:100 000 издадени от съответните държавни институции в периода между 1989 и 1995 година и обяснителните записки към тях. За територията на община Симитли бяха използвани съответно картен лист „Разлог" [18], картен лист „Благоевград" [19] и картен лист „Делчево", [20]. Материалите бяха георефериранi в координатна система UTM WGS-84 Zone 34T.

За оценка на морфологията на релефа бе използван и генерираният за целта цифров модел на релефа на базата на спътникови данни – ASTER Global DEM, модифицирана версия 2012 г., както и спътникови изображения от Landsat ETM+ с пространствена разделителна способност 30 метра. Бяха събрани данни за регистрираните свлачища на територията на двете общини от геоложки картни материали и регистрите на Министерството на регионалното развитие и благоустройството в България за периода 1984 – 2013 г.

Оценката на растителната покривка беше направена на базата на цифровите данни за земното покритие за 2006 година и промените в него, създадена по Проекта "Корине земно покритие 2006", който е част от общоевропейския проект CORINE LAND COVER (CLC 2006).

Тъй като движенията на подземните води в повечето случай следват топографската повърхност, то релефа е факторът, който контролира пространствената диференциация на хидроложките условия и разпределението на почвената влага. А пък от своя страна пространствената диференциация на почвената влага е едно от най-важните условия за възникването на свлачищни процеси. По тази причина в настоящото изследване са използвани два индекса, които симулират това разпределение – Topographic Wetness Index (TWI) и Stream Power Index (SPI).

TWI е модел описващ водния отток на основата на релефа, предложен от [21], а SPI отразява ерозивната сила на потока [22]. Изчисляват се по формулите (урав. 2 и 3).

(2) $$TWI = \ln\left(\frac{A_s}{\tan\beta}\right)$$

(3) $$SPI = A_s * \tan\beta$$

където $A_s$ е площта на всяка клетка от мрежата на склона, а $\beta$ е ъгълът на средния наклон на склона в рамките на всяка клетка в градуси.

**Картографиране на свлачищната чувствителност (Landslide susceptibility mapping)**

На основата на събраната и интегрирана в GIS среда гео-база данни за територията на трансграничният регион на общините Пехчево и Симитли, качествената и количествената оценка на природните ресурси и анализа на предварително определените рискови зони и факторите, които оказват влияние за проявата на свлачищни процеси, беше приложен модела съотношение на честотите за генерирането на карта на свлачищната чувствителност на територията на двете общини. Моделирането се базира на изложените по-горе количествени методи и методите за класификация в GIS, които дават цифрова оценка на факторите и класовете в тях (Табл. 1).

Геоложката основа е най-важният фактор за възникването на свлачищата. Използвана е създадена за целта база данни за литостратиграфските единици за територията на двете общини.

Таблица 1. Съотношение на честотите на факторите на свлачищни прояви

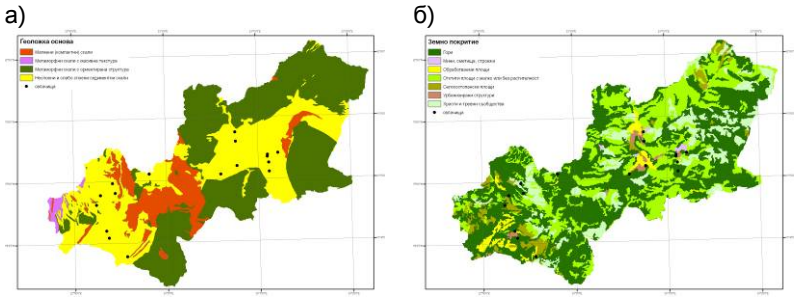
| Клас | Свлачища (%) | Площ (%) | FR |
|---|---|---|---|
| *Наклони (°)* | | | |
| 0 - 10 | 0.0 | 2.8 | 0 |
| 10 - 20 | 0.0 | 9.1 | 0 |
| 20 - 30 | 52.9 | 14.9 | 2.47 |
| 30 - 40 | 29.4 | 21.4 | 2.37 |
| 40 - 45 | 5.9 | 12.4 | 0.47 |
| 45 - 50 | 5.9 | 12.5 | 0.52 |
| 50 - 55 | 5.9 | 11.4 | 0.64 |
| 55 - 60 | 0.0 | 9.2 | 0 |
| 60 - 65 | 0.0 | 5.0 | 0 |
| 65 - 74,68 | 0.0 | 1.2 | 0 |
| *SPI* | | | |
| от -12,1 до -6,84 | 0.0 | 1.0 | 0 |
| от -6,84 до -4,84 | 0.0 | 3.1 | 0 |
| от -4,84 до -3,35 | 5.9 | 5.0 | 1.18 |
| от -3,35 до - 2,15 | 5.9 | 7.4 | 0.79 |
| от -2,15 до -1,14 | 5.9 | 12.7 | 0.46 |
| от -1,14 до -0,15 | 29.4 | 12.4 | 2.38 |
| от -0,15 до 0,75 | 29.4 | 15.9 | 1.85 |
| от 0,75 до 1,58 | 17.6 | 19.5 | 0.91 |
| от 1,58 до 2,49 | 5.9 | 16.1 | 0.36 |
| от 2,49 до 5,66 | 0.0 | 6.9 | 0 |
| *Надм.височина* | | | |
| 200 - 450 | 23.5 | 7.3 | 3.21 |
| 450 - 600 | 11.8 | 7.6 | 1.55 |
| 600 - 800 | 17.6 | 16.3 | 1.08 |
| 800 - 900 | 5.9 | 11.0 | 0.53 |
| 900 - 1000 | 17.6 | 11.3 | 1.56 |
| 1000 - 1100 | 17.6 | 10.9 | 1.62 |
| 1100 - 1300 | 5.9 | 14.1 | 0.42 |
| 1300 - 1600 | 0.0 | 13.4 | 0 |
| 1600 - 2000 | 0.0 | 6.4 | 0 |
| 2000 - 2588 | 0.0 | 1.8 | 0 |
| *Разс. от пътища* | | | |
| 0 - 200 | 70.6 | 29.2 | 2.42 |
| 200 - 400 | 17.6 | 11.6 | 1.53 |
| 400 - 600 | 0.0 | 7.5 | 0 |
| 600 - 800 | 0.0 | 6.1 | 0 |
| 800 - 1000 | 0.0 | 5.4 | 0 |
| 1000 - 1200 | 0.0 | 4.8 | 0 |
| 1200 - 1400 | 0.0 | 4.2 | 0 |
| 1400 - 1600 | 5.9 | 3.8 | 1.56 |
| 1600 - 1800 | 0.0 | 3.5 | 0 |
| 1800 - 9407 | 5.9 | 23.9 | 0.25 |

| Клас | Свлачища (%) | Площ (%) | FR |
|---|---|---|---|
| *TWI* | | | |
| от -6,27 до -3,38 | 0.0 | 0.9 | 0 |
| от -3,38 до -1,42 | 5.9 | 4.8 | 1.22 |
| от -1,42 до -0,25 | 5.9 | 8.4 | 0.70 |
| от -0,25 до 0,65 | 5.9 | 11.3 | 0.52 |
| от 0,65 до 1,56 | 5.9 | 11.5 | 0.51 |
| от 1,56 до 2,39 | 23.5 | 15.3 | 1.54 |
| от 2,39 до 3,14 | 17.6 | 18.3 | 0.96 |
| от 3,14 до 3,95 | 29.4 | 15.7 | 1.87 |
| от 3,95 до 5,01 | 5.9 | 9.9 | 0.59 |
| от 5,01 до 12,03 | 0.0 | 3.8 | 0 |
| *Изложения* | | | |
| Равнина | 0.0 | 0.0 | 0 |
| Север | 11.8 | 13.2 | 0.89 |
| Североизток | 11.8 | 8.8 | 1.33 |
| Изток | 17.6 | 10.1 | 1.75 |
| Югоизток | 0.0 | 10.0 | 0 |
| Юг | 5.9 | 13.7 | 0.43 |
| Югозапад | 17.6 | 15.6 | 1.13 |
| Запад | 23.5 | 16.1 | 1.46 |
| Северозапад | 11.8 | 12.5 | 0.94 |
| *Разс. от разломи* | | | |
| 0 - 200 | 17.6 | 19.1 | 0.92 |
| 200 - 400 | 0.0 | 13.6 | 0 |
| 400 - 600 | 17.6 | 10.9 | 1.62 |
| 600 - 800 | 29.4 | 8.5 | 3.46 |
| 800 - 1000 | 0.0 | 6.5 | 0 |
| 1000 - 1200 | 5.9 | 5.2 | 1.12 |
| 1200 - 1400 | 0.0 | 4.4 | 0 |
| 1400 - 1600 | 0.0 | 3.6 | 0 |
| 1600 - 1800 | 0.0 | 3.0 | 0 |
| 1800 - 9888 | 29.4 | 25.2 | 1.16 |
| *Разс. от реки* | | | |
| 0 - 150 | 41.2 | 50.2 | 0.82 |
| 150 - 300 | 23.5 | 28.4 | 0.83 |
| 300 - 450 | 23.5 | 13.0 | 1.81 |
| 450 - 600 | 11.8 | 5.4 | 2.19 |
| 600 - 750 | 0.0 | 2.1 | 0 |
| 750 - 900 | 0.0 | 0.7 | 0 |
| 900 - 1050 | 0.0 | 0.2 | 0 |
| 1050 - 1284 | 0.0 | 0.1 | 0 |

Литостратиграфските единици бяга групирани 4 класа скали – компактни магмени скали, метаморфни скали с масивна текстура, метаморфни скали с ориентирана текстура (гнайси и шисти) и неспоени и слабо споени седиментни скали (Фиг. 1). Установена бе силна зависимост

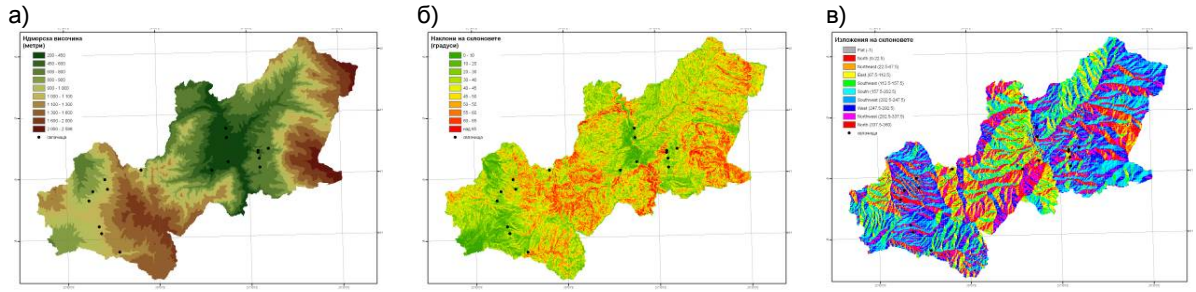
между свлачищните процеси и вида на скалите, като над 88% от проявените свлачища на територията са се случили в последния от обособените класове – седиментите скали.

Друго важно условие, от което зависи възникването на свлачища е средният наклон на терена. Средните наклони на склоновете, извлечени от цифровия модел на релефа бяха класифицирани в съответствие с целите на модела в 10 класа (Фиг. 2). Честотата на случване на свлачища е най-голяма при наклони в диапазона между 30 и 40 градуса. По-малка, но все пак съществена е честотата и в класа 20-30 градуса. При наклони под $10^{o}$ и над $50^{o}$ свлачищни прояви практически не бяха засечени.




Фиг. 1. Природни условия: а) геоложка основа; б) земно покритие

Надморската височина и изложенията на склоновете влияят косвено върху проявата на свлачища чрез условията на овлажнение, които създават и влиянието им върху динамиката на подпочвените води. Генерирани са от цифровия модел на релефа и са класифицирани в 10 класа в съответствие с целите на изследването. Най-голяма е честотата на случване на свлачищни процеси при надморска височина в диапазона от 200 до 800 метра (над 90%) при изложения на склоновете с източна и западна компонента.



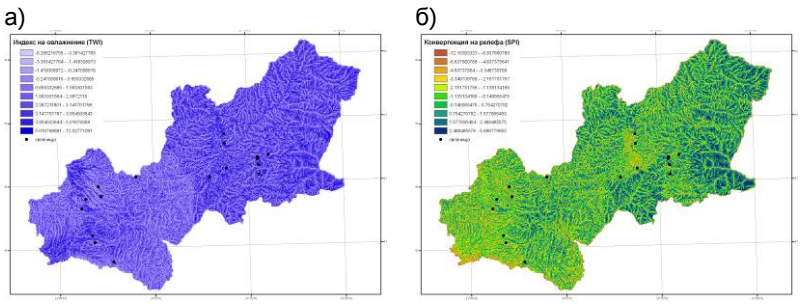

Фиг. 2. Условия на релефа: а) надморска височина; б) наклони; в) изложения на склоновете

Двата индекса, характеризиращи хидроложките условия (TWI и SPI) и също генерирани на основата на релефа са класифицирани в по 10 класа в относително равномерни пространствени интервали (Фиг. 3). Бе установено, че с висока честота на случване на свлачищни събития се характеризират територии с по-високи стойности на TWI и по-ниски стойности на SPI, както и територии с ниски стойности и на двата индекса. За територията на двете общини най-добри условия за възникване на свлачища дават стойностите TWI на  в диапазона от 1,56 до 3,95 и стойностите SPI на  в диапазона от -1,14 до 0,75. Не са отчетени свлачища при много ниски и при много високи стойности на двата индексите.

Важен фактор, който е взет под внимание при съставянето на модела за свлачищата е разстоянието от леглата на реките, тъй като речните легла са естествения ерозионен базис, който определя движението на водните пототоци на подпочвените води по склоновете на басейните. Обособени са 8 класа, приспособени към характеристиките на речната мрежа на района (Фиг. 4). С най-високи стойности на съотношението на честотите се характеризира диапазона с разстояние от реките между 300 и 600 метра. На-по-малките разстояния се засилва действието на ерозионните процеси за сметка на свлачищните, а на разстояние над 600 метра за този район не са засечени свлачища (Табл. 1). Поради голямата гъстота на речната мрежа в изследваната територия първите два класа с разстояние от реките от 0 до 300 метра заемат 78,6% от цялата площ.

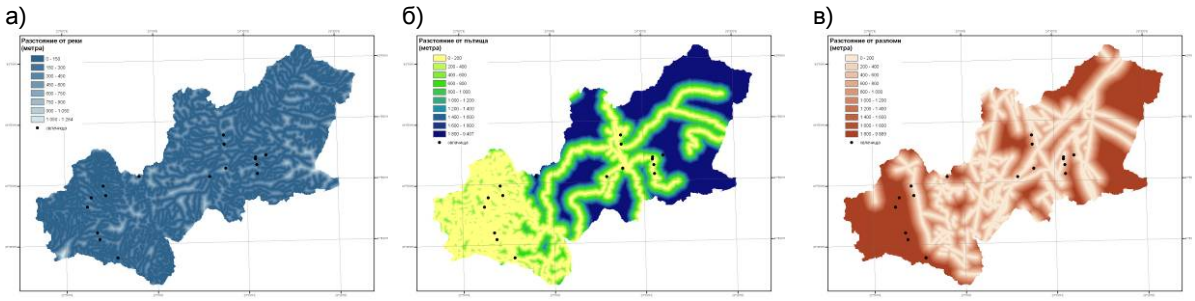
Подобно на речните легла, локални ерозионни базиси, макар и с антропогенен произход се явяват пътищата. Но пътищата освен това са изкуствени зони на срязване и съответно

предпоставка за плъзгане на земни маси. Затова логично при анализа на този фактор установихме по-висока зависимост на свлачищата от разстоянията от пътищата в сравнение с фактора „разстояние от реки". Класифициран е в 10 класа, като с най-високи стойности на съотношението на честотите се характеризира първият клас – с разстояние от пътищата от 0 до 200 метра.




Фиг. 3. Хидроложки условия: а) TWI; б) SPI

Естествените природни зони на срязване на земни пластове, по които може да се осъществи придвижване на земни маси са разломите. Те са също така и сеизмично активните зони на територията. Ето защо, разстоянието от разломите също беше взето предвид като фактор при генерирането на модела (Фиг. 4). За изследвания район обаче, този фактор влияе най-силно на разстояние от 600 до 800 метра. Това е класът, в който съотношението на честотите е най-високо спрямо останалите 10 класа от използваната класификация (табл. 1).




Фиг. 4. Разстояния от линейни структури: а) разстояния от реки; б) разстояния от пътища; в) разстояния от разломи

Факторът с една от високите степени на зависимост за формирането на свлачищата е растителната покривка. За целите на изследването, получените по модела CLC2006 класове бяха групирани в 7 класа (Фиг. 1). При анализа на този фактор с най-високи стойности на съотношението на честотите (съответно с най-голямо влияние върху свлачищата) се характеризира класа „урбанизирани структури" (табл. 1). Освен в този клас на територията на двете общини са регистрирани свлачища и върху терени заети от гори и открити площи с малко или без растителност. Това дава основание да се смята, че антропогенната дейност също оказва влияние върху възникването на свлачищни процеси. Факт, които трябва да се има предвид при бъдещото развитие на територията.

Картата на свлачищната чувствителност на територията на трансграничния регион на общините Пехчево и Симитли беше генерирана по описания вече модел, комбиниращ съотношенията на честотите на всичките 10 избрани фактора, които оказват влияние върху възникването на свлачищните процеси.

Както е известно един от най-важните причиняващи фактори при свлачищата е динамиката на валежите. За да бъде отчетен този фактор при генерирането на модела за свлачищната чувствителност на територията, са използвани данни на НИМХ-БАН за средногодишните количества на валежите за 54-годишен период на измерване (1931–1985 г.) от 14 станции разположени в близост до изследваната територия, които характеризират климатичните особености на съответната област. Влиянието на релефа и надморската височина е калкулирано по метода на линейната регресия, където регресионното уравнение има вида (урав. 4):

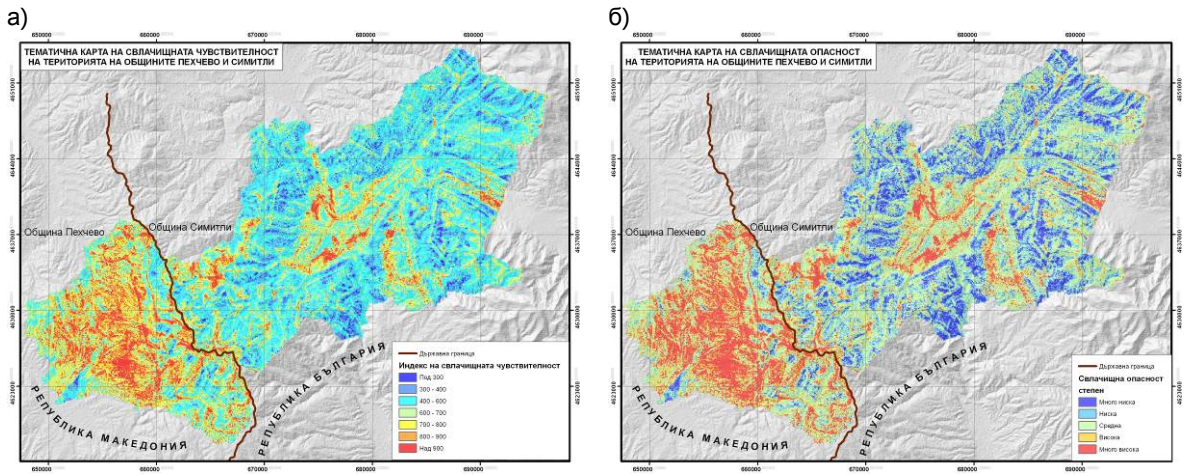
(4) $$H = 0.24497 * E + 491.4101$$

където ***H*** е средногодишната сума на валежите, а ***E*** е надморската височина.

Моделът за средногодишната сума на валежите е съставен на основата на цифровия модел на релефа. След което индексът за свлачищна чувствителност, получен по модела за съотношение на честотите (урав. 1) е коригиран с индекса на валежите (урав. 5):

(5) $$LSI_H = LSI * \frac{H}{12}$$

Картата на свлачищната чувствителност на територията на общините Пехчево и Симитли (Фиг. 5а), съставената на основата индекса на свлачищната чувствителност (LSI), който представлява цифрова оценка на диференцираното влияние на всичките избрани 10 фактора и класовете в тях, свързани с възникването и динамиката на свлачищните процеси, съобразено с природните условия на избрания район. Колкото е по-висока стойността на индекса, толкова е по-чувствителна съответната комбинация от фактори към възникването на свлачище.




Фиг. 5. а) индекс на свлачищна чувствителност; б) карта на свлачищната опасност

С помощта на инструментите на GIS бе извършена класификация на индекса на свлачища чувствителност и бе създадена тематична карта на свлачищната опасност на територията на общините Пехчево и Симитли (Фиг. 5б). Класификацията съдържа 5 класа (Табл. 2), които дават качествена оценка на пространственото разпределение на различните степени на опасност от възникването на свлачище.

Таблица 2. Класификация на свлачищната опасност на територията на общините Пехчево и Симитли

| ***№*** | ***Клас свлачищна опасност*** | ***Индекс на свлачищна чувствителност*** |
|---|---|---|
| 1 | Много ниска | 108 – 400 |
| 2 | Ниска | 400 – 500 |
| 3 | Средна | 500 – 700 |
| 4 | Висока | 700 – 800 |
| 5 | Много висока | 800 – 1 381 |

**Заключение**

Трансграничният район на общините Пехчево и Симитли поради силно пресечения си релеф е едно от местата за териториите двете държави за които са характерни свлачищата като природно бедствие. По информация на различни институции за период от около 30 години (от 1984 г. до 2013) на територията на двете общини са регистрирани 17 големи свлачища, данните за които са използвани при моделирането на свлачищната чуствителност в настоящото изследване.

Причините за възникването на свлачища са много, имат сложна взаимовръзка, а в редица случаи остават скрити. Свлачищните събития корелират с много фактори. Ето защо изборът на фактори е важен при картографирането на свлачищната чувствителност. В настоящото изследване, използвайки модела за съотношение на честотите беше установена количествена връзка между свлачищата и 10 въздействащи фактора: геоложката основа, средният наклон на релефа, надморската височина, изложенията на склоновете, индексът за топографска влажност на почвата (TWI), конвергенцията на релефа (SPI), разстояния от реки, разстояния от пътища, разстояния от разломи и растителната покривка. Една от най-важните причини за избора на този метод, основаващ се на взаимовръзката между свлачищата и причинно-следвсвените фактори, е тази, че според редица автори [8, 11, 13] той дава сравнително добра точност и минимизира субективните експертни оценки. За територията на общините Пехчево и Симитли най-силна зависимост беше установена между свлачищата и типа на геоложка основа и растителна покривка. Силна зависимост беше установена също и между факторите разстояние от пътища и наклони на склоновете. Съществени за възникването на свлачищните процеси в района са също хидроложките условия и разстоянията от реките и разломните структури. По отношение на изследваната територия макар и по-слаба бе установена взаимовръзка между свлачищата и надморската височина и изложенията на склоновете.

Считаме, че генерираната в резултат на изпълнението на модела карта на свлачищната чувствителност на територията на избрания транскраничнен район между Република България и Република Македония чрез прилагането на вероятностен модел на основата на дистанционни методи и използвайки инструментите на ГИС за анализ на пространствени бази данни е един нов за региона подход при изследването на свлачищните процеси. На основата на тази карта може да се предскаже възникването на бъдещи свлачища на места, където все още не са се случили.

На основата на картата за свлачищната чувствителност, след избор на подходяща класификация, беше създадена и тематична карта на свлачищната опасност за района. Установено бе, че 28,3% от територията на двете общини се характеризира с висока и много висока степен на опасност от възникване на свлачища.

Надяваме се, че след проверката на модела в бъдеще, получените резултати биха могли да бъдат използвани при управлението и планирането на земеползването в двете общини, а също биха могли да бъдат в помощ на инженерните и проектантските проекти при избора на места за по-нататъшно детайлно проучване.

**Литература:**


1. Kyo-Young Song, Hyun-Joo Oh, Jaewon Choi, Inhye Park, Changwook Lee, Saro Lee. Prediction of landslides using ASTER imagery and data mining models, Advances in Space Research, 49, 2012, pp. 978–993
2. Jonas von Ruette, Papritz, A., Lehmann, P., Rickli, C., Dani Or. Spatial statistical modeling of shallow landslides—Validating predictions for different landslide inventories and rainfall events. Geomorphology, 133, 2011, pp. 11–22
3. Melchiorre, C., Matteucci, M., Azzoni, A., Zanchi, A. Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation. Geomorphology, 94, 2008, pp. 379–400
4. Borgogno Mondino, E., Giardino M., Perotti L. A neural network method for analysis of hyperspectral imagery with application to the Cassas landslide (Susa Valley, NW-Italy). Geomorphology, 110, 2009, pp. 20–27
5. Neaupane K.M., Piantanakulchai M. Analytic network process model for landslide hazard zonation. Engineering Geology, 85, 2006, pp. 281–294
6. Greco, R., Sorriso-Valvo M., Catalano E. Logistic Regression analysis in the evaluation of mass movements susceptibility: The Aspromonte case study, Calabria, Italy. Engineering Geology, 89, 2007, pp. 47–66
7. Pradhan, B. Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross-validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia. Advances in Space Research, 45, 2010, pp. 1244–1256
8. Yilmaz, I. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat — Turkey). Computers & Geosciences, 35, 2009, pp. 1125–1138
9. Pourghasemi, H. R., B. Pradhan, C. Gokceoglu and K. Deylami Moezzi. Landslide Susceptibility Mapping Using a Spatial Multi Criteria Evaluation Model at Haraz Watershed, Iran. Terrigenous Mass Movements, 2012, pp. 23-49
10. Nefeslioglu, H. A., C. Gokceoglu, H. Sonmez. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. Engineering Geology, 97, 2008, pp. 171–191

11. Lee, S., J. A.Talib. Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. Environmental Geology, 2005, 47 pp. 982–990
12. Yalcin, A., S. Reis, A.C. Aydinoglu, T. Yomralioglu. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. Catena, 85, 2011, pp. 274–287
13. Pradhan, B., S. Lee. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. Environmental Modelling & Software, 25, 2010, pp. 747759
14. Süzen, M. L., V. Doyuran. A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate. Environmental Geology, 2004, 45, 5, pp 665–679
15. Neaupane, K.M., M. Piantanakulchai. Analytic network process model for landslide hazard zonation. Engineering Geology, 85, 2006, pp. 281–294
16. Zlateva, P., L. Pashova, K. Stoyanov, D. Velev. Fuzzy Logic Model for Natural Risk Assessment in SW Bulgaria. 2nd International Conference on Education and Management Technology IPEDR, 13, 2011, IACSIT Press, Singapore
17. Желев, Г. Изследване на вулканогенни структури в района на източни Родопи чрез дистанционни методи и ГИС. Дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен „Доктор", Акад. Изд. „Проф. М.Дринов", 2013, София, стр.120, ISBN 978-954-322-633-7
18. Маринова, Р., И. Загорчев. Обяснителна записка към геоложка карта на България в М1:100 000. 1993, София
19. Маринова, Р. Обяснителна записка към геоложка карта на България в М1:100 000. 1993, София
20. Загорчев, И., Й. Динкова, А. Вапцарова. Обяснителна записка към геоложка карта на България в М1:100 000. 1991, София
21. Beven, K. J., M. J. Kirky. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. Hydrological Sciences Bulletin, 24, 1, 3, 1979, pp. 43 – 69.
22. Moore, I. D., P. E.Gessler, G. A. Nielsen, G. A. Peterson. Soil attribute prediction using terrain analysis, Soil Science Society of America Journal, 57(2), 1993, pp. 443–452.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# EROSION POTENTIAL MODELING OF THE TERRITORY OF MUNICIPALITIES PEHCHEVO AND SIMITLI USING REMOTE SENSING DATA

**Ivica Milevski[1], Ekaterina Ivanova[2]**

*[1]Ss Kyril and Methodius University of Skopje*
*[2]Spase Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: ivicamilevski@gmail.com; ivanovae@space.bas.bg*

***Keywords:*** *GIS modeling, erosion potential, remote sensing, Pehchevo, Simitli*

***Abstract:*** *This work presents an evaluation of soil erosion in the municipalities Pehchevo and Simitly based on digital data integrated in GIS settings, Digital Elevation Model generated on the basis of satellite data - ASTER Global DEM, a modified version of 2012 with spatial resolution of 30 meters and satellite images from Landsat ETM +. In the generation of the model to assess the potential erosion the following factors was reported: erosion resistance of soils and rocks, the influence of vegetation cover, the slope gradient, average annual rainfall and average air temperature. These factors was considered that have the most significant impact on the development and manifestation of erosion. In assessing the average potential of the erosion in the municipalities Pehchevo and Simitly, the model of Gavrilovic 1972 is used. This model have been successfully applied in different parts of the region of the Balkan Peninsula, where it have been compared with actual performance. Therefore we believe created as a result of applying the model thematic map of erosion potential is sufficiently representative of the cross-border region of the two municipalities.*

# МОДЕЛИРАНЕ НА ЕРОЗИОННИЯ ПОТЕНЦИАЛ НА ТЕРИТОРИЯТА НА ОБЩИНИТЕ ПЕХЧЕВО И СИМИТЛИ НА БАЗАТА НА ДАННИ ОТ ДИСТАНЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

**Ивица Милевски[1], Екатерина Иванова[2]**

*[1]Скопски университет „Св. Св. Кирил и Методий”*
*[2]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: ivicamilevski@gmail.com; ivanovae@space.bas.bg*

***Ключови думи:*** *ГИС моделиране, ерозия, дистанционни изследвания, Пехчево, Симитли*

***Резюме:*** *В настоящата работа е представена оценка на почвената ерозия на територията на общините Пехчево и Симитли въз основа на цифрови данни, интегрирани в среда на ГИС, цифров модел на релефа, генериран на базата на спътникови данни – ASTER Global DEM, модифицирана версия от 2012 г. с пространствена разделителна способност 30 метра и спътникови изображения от Landsat ETM +. При генерирането на модела за оценка на потенциала на ерозията са отчетени следните фактори, които бе прието, че оказват най-съществено влияние върху развитието и проявата на ерозионните процеси: ерозивната устойчивост на почвите и скалите, влиянието на растителната покривка, средният наклон на релефа, средногодишната сума на валежите и средногодишната температура на въздуха. При оценката на средния потенциал на ерозията е използван модела на Гавриловић от 1972 г., който успешно е прилаган в различни части от региона на Балканския полуостров, където е сравняван с реални показатели. Ето защо смятаме, че създадената в резултат на прилагането на модела тематична карта на ерозионния потенциал е достатъчно представителна за трансграничния регион на двете общини.*

## Introduction

Soil erosion by water is a widespread problem throughout Europe. Erosion rate is very sensitive to both climate and land use, therefore southern Europe and the Mediterranean region is particularly prone to erosion because it is subject to long dry periods followed by heavy bursts of

erosive rain, falling on steep slopes with fragile soils. [1]. Part of this region are both Republic of Bulgaria and Republic of Macedonia.

Republic of Macedonia is highly exposed to erosion. The excess erosion as uncontrolled natural phenomena gradually increases in last decades generally due to climate change, causing significant damages [2], [3], [4]. Thus identification of erosion hazard areas is very significant for better prevention and protection of landscape and population [5], [6], [7], [8], [9]. Studies of The National Forest Management and Executive Environment Agency on the status of soil resources in Bulgaria shows that over 80% of the arable land and 15% of the forest are prone to erosion to varying degrees. Struma River watershed is one of the regions in Bulgaria, where the course and one of the strongest erosion.

For assessing soil erosion risk, various approaches can be adopted. In this study Erosion Potential Model (EPM) [10] was used for soil erosion assessment in the municipalities Pehchevo and Simitly based on digital data integrated in GIS environment. The following parameters were used in this model: erosion resistance of soils and rocks, type of vegetation cover, slope angle, the average annual rainfall and average air temperature. Gavrilovic model (EPM) has been successfully applied to various parts of the region of the Balkan Peninsula, where it was compared with actual performance. This model was also already applied to the municipality of Pehchevo. And the results for GIS-produced erosion risk coefficient (Z) according to EPM empirical model, show significant area with moderate, high and very high risk (Z>0.6) with 58.8 $km^2$ or almost 28% of the total area [11]. The purpose of this study is to apply the model of Gavrilovic (EPM) also for the territory on the other side of the state border - Simitli Municipality, which is part of the territory of Bulgaria and to compare the results.

**Study area**

The total area of the researched region is 768.3 $km^2$, of which 27% is accounted for the municipality of Pechevo and 73% for municipality of Simitli. In the 24 settlements in them lives a population of about 20 1000 inhabitants. Simitli municipality is located in the southwestern part of Bulgaria at the border with the Republic of Macedonia. It is in the middle reaches of the Struma River at a distance of 120 km south of Sofia. Its length is about 40 km to the southwest-northeast, and width amounts to 12-15 km. Westernmost point in the municipality is situated at the elevation of 1390 m in Vlahina Mountain (coordinates 22 ° 56'20 "E 41 ° 50'50" N), while the most eastern point is situated at the elevation of 2352 m in the Rila Mountain (coordinates 23 ° 22'16 "E 41 ° 58'30" N). In the quoted limits Simitli municipality occupies an area of 559.8 $km^2$ (0,5% of the area of Bulgaria ) and counts 15 185 inhabitants (0.2% of the population of Bulgaria). Lowest point in the municipality (200 m) is detected at the Struma River Valley and the highest point is Grabenets Peak (2597 m) in the Pirin Mountain. The Municipality of Pehchevo is one of the smallest in the Republic of Macedonia covering an area of 208.5 km2. It is located in the easternmost part of the country, up to the border with Bulgaria. On the west it is surrounded by mountain Bejaz Tepe (1348 m) and on the east by Vlaina Mountain (Kadiica, 1932 m) which is the second highest mountain in the eastern part of Macedonia (behind Osogovo Mountains, 2252 m). On the southeast it is surrounded by the highest part of the Maleshevo Mountains (Dzami Tepe, 1803 m). The Municipality of Pehchevo consists of a total of 7 settlements in which live just over 5000 inhabitants (of which 3,200 residents of the City of Pehchevo). As regards of natural features both municipalities are interesting and varied. This is expressed in terms of the geological composition, topography, climate, hydrography, vegetation cover and soils.

**Methodology**

Performance of the model was done using the tools of GIS. The modeling is based on the numerical evaluation of the factors that influence erosion using classification and quantitative methods. Database of lithostratigraphic units in the study area was used like a basis for the assessment of erosion resistance of soils and rocks. The model CORINE LAND COVER of 2006 (CLC 2006) was used for the assessment of vegetation cover. The slope gradient were derived from digital elevation model, based on satellite data from the ASTER Global DEM, a modified version in 2012 with a spatial resolution of 30 m by using the tools of GIS. Visible erosion were derived from the red channel (band 3) of satellite images from Landsat ETM + in 2005, which reflects waves in the red range of 0.63 to 0.69 μm. Digital models for average rainfall and average air temperature were generated based on the digital elevation model and data from 12 weather stations at different altitudes, located close to the study area.

Erosion Potential Model (EPM) of Gavrilovic [10] is in form (eq. 1):

(1) $$Wy = T * H * 3.14 * \sqrt{Z^3} * f$$

Where ***Wy*** is average annual soil erosion in $m^3$; ***H*** is mean annual precipitation sum in mm; ***Z*** is erosion coefficient ranging from 0.1 to 1.5 and over; ***f*** is study area in $km^2$ and ***T*** is temperature coefficient in form (eq. 2):

(2) $$T = (0.1 * t + 0.1)^{0.5}$$

Where ***t*** is mean annual air temperature.

Among these factors, ***Z*** coefficient has highest importance. It combines soil erodibility (***Y***), land cover index (***Xa***), index of visible erosion processes (***φ***), and mean catchment slope (***J***) in relation (eq. 3):

(3) $$Z = Y * Xa * \left(\varphi + \sqrt{J^{0.5}}\right)$$

Values of ***Z*** usually ranged between 0 (no erosion) and 1.5 or above (excess erosion). In the original form of the model which is catchment oriented, ***Xa*** coefficient, and especially ***φ*** are very subjective in nature, estimated by researches on the field. Because of that, starting from 2001, GIS approach of the model is introduced [11]. Unlike the traditional cartographic tools, in GIS-modified approach of EPM, most of the model parameters are derived from digital elevation model and satellite imagery [12], [13], [14], [15], [16]. Thus, for the ***Y*** coefficient, previously prepared digitalized geologic and soil map are used with corresponding values for the rock and soil erodibility according to that proposed by Gavrilovic [10]. In general, values are in range from 0.1 (very resistant rocks) to 2.0 (very soft rocks and soils). However, because it is very difficult to exactly determinate erodibility, value averaging is made with square rooting in form [11] (eq. 4):

(4) $$Y = \sqrt{Y_1}$$

Thus, the values of ***Y*** is changed in a range between 0.3 to 1.4.

Land cover index (***Xa)*** is prepared from CORINE Land cover model (CLC2006) with added values ranging from 0.1 (dense forests) to 1.0 (bare soils) which is according the original model. Landsat ETM+ band 3 (b3-red) was used for the value of ***φ*** coefficient of visible erosion processes, instead the subjective estimation in the traditional model [11]. The values of 8-bit satellite image (0-255) were divided of 255. The vegetation cover absorbs electromagnetic energy with wavelengths in the red range of the visible spectrum and the bare rocks and the bare soils where the erosion processes are active reflect it. In this way the lower values correspond to areas without visible erosion processes and higher values correspond to areas with excess erosion. However, high values also may represent bright anthropogenic objects. For that reason, correction with slope gradient was made in form [11] (eq. 5):

(5) $$\varphi = \frac{b3}{255} * \log(a + 1)$$

The result is much more accurate values for ***φ*** coefficient. Slope factor ***J*** is calculated from available 30 m DEM as a raster layer for slope angle in radians. The following equation is used (eq. 6):

(6) $$J = \frac{a}{a_{\max}}$$

Where ***a*** is the slope angle.

Finally, GIS-calibrated ***Z*** coefficient is calculated according to the equation 7:

(7) $$Z = \sqrt{\sqrt{Y}} * Xa * (\varphi + 2J)$$

Mean annual temperature (***t***) and mean annual precipitation sum (***H***) were obtained in GIS procedure using vertical interpolation (regression), based on meteorological data and elevation (***h***) from DEM [11] (eq. 8).

(8) $$t = 13.6 - 0.65 * \frac{h}{100} + \frac{h^2}{10^6}$$

For mean annual precipitation sum in the municipalites Pehchevo and Simitli, the regression is in form (eq. 9):

(9) $$H = 500 + \frac{2h}{10} + \frac{h^2}{3 * 10^4}$$

In such way final ***Wy*** values can be calculated as average annual values. However, in this form, soil loss during only one rain event can't be estimated. Because of that, instead of average annual precipitations (***H***), form of daily rain value is introduced as [11] (eq. 10):

(10) $$H = H_y * \left( \frac{H_d}{H_y * 0.1} \right)^2$$

Where ***Hd*** is daily value of rain and ***Hy*** is average yearly sum of precipitations in the area. In that way, daily amount of soil erosion which is precipitation-related can be produced.

**Results**

Results from the modeling in the form of erosion coefficient (Z) show significant presence of areas with high and very high erosion risk (values greater than 0.6) with 12.8% of the whole territory (Fig. 1). As this percentage is higher for the Municipality of Pehchevo (28%) than for the Municipality of Simitli (13.9%). On these areas, even modest rainfall causes high production, transport and accumulation of eroded material. This is especially evident during heavy rains – more than 0.5 mm/min [11].

The mean value of the Z coefficient for the whole cross-border area is about 0.4. And the same mean value of the Z coefficient has only the territory of Municipality of Simitli. But it is higher in the Municipality of Pehchevo – 0.44.

From the model follows that the average annual production of sediment yields is rather high – 564 $m^3/km^2$. There is a very large spatial differences within the territory, but also between the two municipalities (Fig. 2). The average annual production of sediment yields in Simitli Municipality is 574 $m^3/km^2$, while in Pehchevo Municipality is 773 $m^3/km^2$. The dense forest areas in the source part of Bregalnica River have only 50-100 $m^3/km^2$, while some areas in the bottoms of the valleys have over 2000 $m^3/km^2$. Highest erosion rate have areas in the Valley of Zhelevica River and its right tributaries, then the southern slopes of Bejaz Tepe and the area east of Pehchevo. In some places, the erosion intensity exceeds 3000 $m^3/km^2/y$ (soil layer of 3 mm per year), which is a huge value. There actually appears severe or excessive erosion causing numerous destructive landforms, losing valuable fertile land and filling of river beds with a large amount of sediment material [11]. High average annual production of sediment yields (around or over 2000 $m^3/km^2$) in Simitli Municipality is observed on the southern slopes of the Rila Mountain (right valley slopes of Gradevska River and its right tributaries) and also on the southern slopes of mountains of Pirin, Vlanina and Maleshevska.

On the other hand the well forested areas in the southeastern part of the municipality of Pehchevo and the northeastern part of the municipality of Simitli have normal or "natural" erosion intensity, with values below 400 $m^3/km^2/y$.

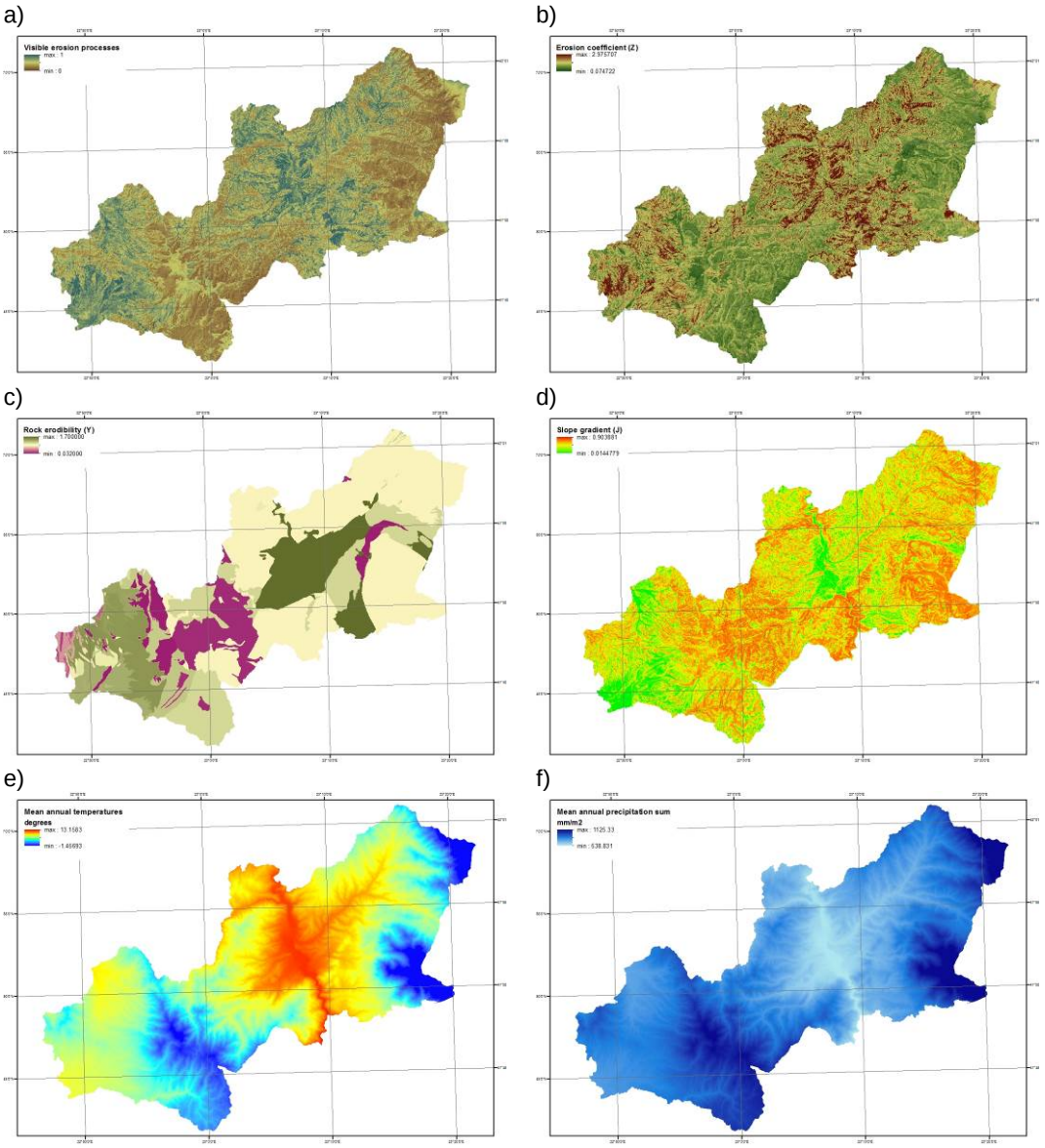



Figure 1. Erosion potential factors: a) Coefficient of visible erosion processes (φ); b) Erosion coefficient (Z); c) Rock erodibility (Y); d) Slope gradient (J); e) Average annual air temperature; f) Average annual precipitation sum

The eroded material is deposed on arable land, roads and buildings, sometime causing considerable damage. Interestingly, erosion risk is greatest at about 900-1100 m above sea level in the municipality Pehchevo [11] and about 200-700 m above sea level in municipality of Simitli, where most of the population lived. This spatial distribution indicates that the significant for the erosion intensity is the anthropogenic factor. At about 1300-1500 m, erosion risk sharply decline, due to the dense forests in that areas. On highest altitudes erosion risk increase again because mountain peaks usually are bare or under rare grassland vegetation and unprotected from erosive action of rain [11].

Quantitative thematic map for the erosion potential within the cross-border region of both municipalities Pehchevo and Simitly was created (Fig. 2a). This quantitative indicator is expressed as the average annual soil erosion in $m^3$ per $m^2$.

Classification of this quantitative indicator was carried out using the tools of GIS. The result is a thematic map of erosion hazard within the territory of the both municipalities (Fig. 2b). The presented hazard map simulates the spatial quality evaluation of the menace of erosion occurrence. Established classification contains 5 classes as follows (Tab. 1):

Table 1. Erosion hazard classes

| № | Hazard class | Average annual erosion ($m^3/m^2$) |
|---|---|---|
| 1 | Много ниска | 54,7 – 400 |
| 2 | Ниска | 400 – 700 |
| 3 | Средна | 700 – 1 000 |
| 4 | Висока | 1 000 – 1 600 |
| 5 | Много висока | 1 600 – 7 288,6 |

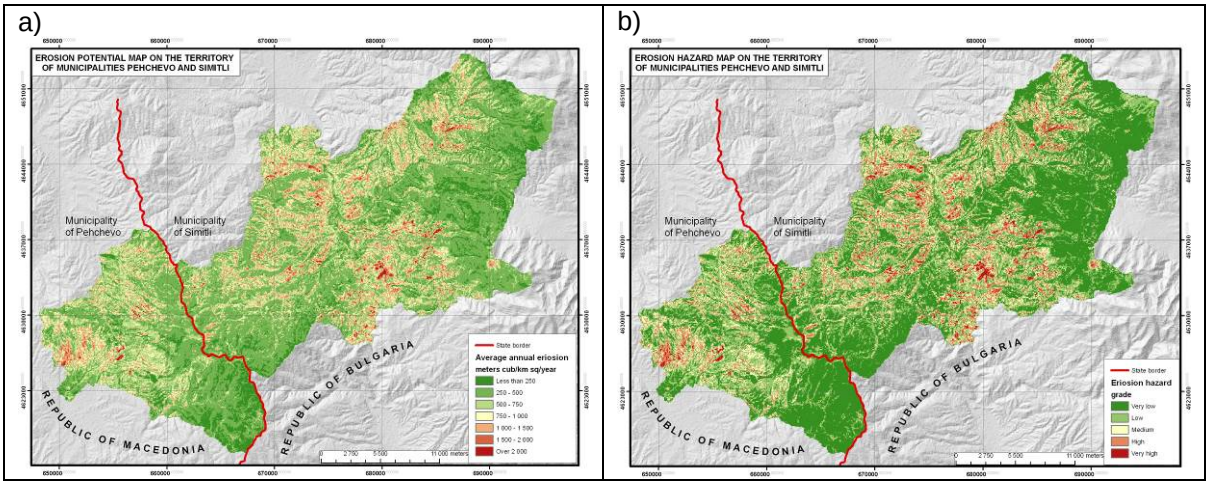



Figure 2. Erosion potential mapping on the cross-border region of municipalities Pehchevo and Simitly: a) Average annual erosion map; b) Erosion hazard map

## Conclusion

Qualitative and quantitative evaluation of natural resources of the municipalities Pehchevo and Simitly was made on the basis of collected and integrated into the GIS settings database. Pre-defined risk areas were analyzed. Model that is most appropriate for the available database was selected and implemented after careful analysis of the approbated models – Erosion Potential Model of Gavrilović [10]. The modeling is based on the assessment of the factors that have the strongest influence on erosion processes. Performance of the models was done using the tools of GIS. Erosion potential map and Erosion hazard map for the researched territory was generated by using the methods of classification and quantitative methods that provide numerical assessment of the factors and classes in them.

Municipalities of Pehchevo and Simitli possess valuable natural resources which are quite limited and susceptible to human degradation. Their degradation is closely related to natural hazards which are usually directly or indirectly caused by humans. Excessive erosion is one of the worst natural hazards in that area. As a consequence, there is a deterioration of the quality of the soil or their complete "loss" [11]. The results for GIS-produced erosion risk coefficient (Z) according to EPM empirical model, show significant area with moderate, high and very high risk (Z>0.6) with around 12.8% of the total area. The mean value of the erosion coefficient (Z) for the entire area is 0.4, but there are areas with more than 1.5 of Z-value. On these areas, even during moderate rainfall, severe production, transport and accumulation of alluvial material occur. This is especially evident during intense heavy (over 0.5 mm/min) or prolonged rains [11].

The models show that a large part of the territory would be under some erosion risk in the next period. Therefore, it is necessary to take appropriate preventive measures to reduce the risk or limit their impact. In case of excessive erosion, biotechnical measures must be in first line, as well as construction of small and micro reservoirs, retentions and various other objects, changing the way of land use etc. The areas where the intensity of erosion exceeds 1000 $m^3/km^2/y$ should take appropriate preventive anti-erosive measures and activities that will reduce the loss and degradation of natural resources, especially soil and water conservation.

**References:**


1. Grimm, M. R. Jones, L. Montanarella. Soil Erosion Risk in Europe. European Soil Bureau Institute for Environment & Sustainability JRC Ispra, 2001
2. Lerner, L. A. Assessing global exposure to natural hazards. Progress and future trends. Environmental Hazards, 7, 2007, pp. 10–19
3. Mosquera-Machado, S., M. Dilley. A comparison of selected global disaster risk assessment results. Natural Hazards, 48(3), 2009, pp. 439–456
4. Ristić, R., S. Kostadinov, B. Abolmasov, S. Dragićević, G. Trivan, B. Radić, M. Trifunović, Z. Radosavljević. Torrential floods and town and country planning in Serbia. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 2012, doi:10.5194/nhess-12-23-2012, pp. 23–35.
5. Tanislav, D., A. Costache, G. Murătoreanu. Vulnerability to natural hazards in Romania. Forum Geografic, 8, 2009, p. 131
6. Dragicević, S., D. Filipović, S. Kostadinov, R. Ristić, I. Novković, N. Zivković, G. Andjelković, B. Abolmasov, V. Secerov, S. Djurdjić. Natural hazard Assessment for Land-use Planning in Serbia. Int J Environ Res., 5(2), 2011a, pp. 371–380.
7. Dragićević, S., I. Novković, I. Carević, N. Zivković, R. Tošić. Geohazard assessment in the Eastern Serbia. Forum geographic, 10(1), 2011b, pp. 10–19
8. Dragićević, S., R. Ristić, N. Živković, S. Kostadinov, R. Tošić, I. Novković, A. Borisavljević, Z. Radić. Floods in Serbia in 2010 – Case Study. The Kolubara and Pcinja River Basins. Geomorphological impacts of extreme weather: Case studies from central and eastern Europe, D. Loczy (ed.), Springer Geography, 2013a, pp. 155–170. DOI 10.1007/978-94-007-6301-2_10.
9. Dragićević, S., M. Mészáros, S. Djurdjić, D. Pavić, I. Novković, R. Tošić. Vulnerability of national parks to natural hazards in the Serbian Danube region, Polish journal of environmental studies, 22(4), 2013b, pp. 75–82.
10. Gavrilović, S. Engineering of Torrents and Erosion, Journal of Construction (Special Issue), 1972, Belgrade, Yugoslavia
11. Milevski, I., S.Dragićević, R. Tošić. GIS and remote sensing assessment of erosion risk areas in Pehchevo Municipality, Problems and perspectives of the hilly-mountains areas, Scientific symposium with international participation, Ohrid, 12–15 September 2013
12. Milevski, I. Modeling of soil erosion intensity with software tools, in the example of Kumanovo Basin, Proceedings of II Congress of Macedonian Geographic Society, 2001, Ohrid, pp. 49–57
13. Globevnik, L., D. Holjevic, G. Petkovsek, J. Rubinic. Applicability of the Gavrilovic method in erosion calculation using spatial data manipulation. Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques, Proceedings of symposium HS01 held during IUGG2003 at Sapporo, July 2003, IAHS Publ. No. 279, pp. 224–233
14. Petras, J., D. Holjevic, D. Kunstek. Implementation of GIS-technology in Gavrilovi's method for estimation soil erosion production and sediment transport, Proceedings of the International Conference Erosion and Torrent Control as a Factor in Sustainable River Basin Management 25-28 September, 2007, Belgrade – Serbia, p. 10
15. Karim, S., S. Modallaldoust S, S. Lofti. Investigation of land use changes on soil erosion process using geographical information system, International Journal Sciences Technology, 6, 3, 2009, pp. 415–424
16. Tošić, R., S. Dragićević, N. Lovrić. Assessment of soil erosion and sediment yield changes using erosion potential model – case study: Republic of Srpska (BiH), Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 7(4), 2012, pp. 147–154

# УСПЕШНИ ПРАКТИКИ В ОРГАНИЗИРАНЕТО НА ЩАДЯЩ ПРИРОДАТА ТУРИЗЪМ. БИЗНЕСЪТ КАТО ПОЗИТИВЕН ФАКТОР В ОПАЗВАНЕТО НА ПРИРОДАТА

**Калина Левкова**

*Магистратура „Екологичен мениджмънт", Нов Български Университет*
*e-mail: levkova.kalina@abv.bg*

***Ключови думи**: екотуризъм, устойчиво развитие, биоразнообразие, орнитологичен туризъм*

***Резюме**: Разгледани са някои методи за разрешаване на част от проблемите в опазването на природата в България, подкрепени с примери от вече установени и работещи ефективно бизнес практики, а именно развиване на устойчив алтернативен туризъм. Резултатите от изследването показват, че колкото по-ангажиран е бизнесът да развива устойчив туризъм на територията на дестинации с ценно биоразнообразие, толкова по-благоприятно е въздействието му върху природата, по-ангажирано е местното население и околните населени места икономически просперират.*

# BEST PRACTICES IN THE ORGANIZATION OF ECO-FRIENDLY TOURISM. BUSINESS AS A POSITIVE FACTOR IN NATURE CONSERVATION

**Kalina Levkova**

*New Bulgarian University Master Programme Ecological Management*
*e-mail: levkova.kalina@abv.bg*

***Keywords**: ecotourism, sustainable development, biodiversity, birdwatching tourism*

***Abstract**: A few methods for solving some of the issues in nature conservation in Bulgaria are being discussed, supported by examples from already known and effectively operating business practices, namely development of sustainable alternative tourism. The results of the study show that the more engaged the business is in development of sustainable tourism in destinations with high biodiversity rate, the more favorable is its impact on the environment, the more involved is the local population and the surrounding settlements prosper economically.*

## Въведение

Опазването на природата в България е актуална тема в икономическата и социална ситуация в момента – ситуация, която през последните години включваше протести срещу промени в закони, свързани с природата, ситуация, в която всеки ден се протестира вече не само за конкретни решения и срещу конкретни хора, а се протестира за липса на морал в обществото и управляващите държавата.

Интересът към опазването на природата все повече се превръща в гражданска и социална позиция, вместо само професионален интерес или хоби на еколози, природозащитници, хора, работещи в сферата на свързаните с природното ползване институции и неправителствени организации или туристически агенции.

Как, обаче, да балансираме желанията и изискванията за все по-мащабно и агресивно природоползване на туристическия бизнес, който формира 11,4% от БВП на страната (2012 г.), с изискванията, които поставят принципите на устойчиво развитие?

Разглеждайки следните цитати от дефиниции, можем да открием пресечна точка между алтернативния туризъм, представен чрез своя подвид екотуризъм, и устойчивото развитие:

(според Collins English Dictionary) „Екотуризъм: туризъм, който има за цел да допринесе за опазването на околната среда или поне да сведе до минимум щетите към нея“;

(Според Уикипедия:) „Устойчиво развитие е начин на използване на природните ресурси, който цели да задоволи човешките нужди, като същевременно запазва естествения баланс в околната среда“.

Това сходство в целите може да обедини усилията на туристическия бизнес с дейността на природозащитниците и да се достигне икономически просперитет едновременно със защита и грижа за природата. По този начин постепенно могат да се смекчат част от проблемите, възникващи от противоположността на бизнес-идеите в туристическия бранш и изискванията на местните и световни природозащитни организации и Европейския съюз относно ползването на Българската природа и световното биоразнообразие, което целогодишно или циклично се среща на тази територия.

Целта на настоящия доклад е да представи някои вече действащи в България практики за организиране на туризъм, който едновременно полага грижи за природата и носи добри доходи за бизнеса, изяснявайки начините, чрез които се извършва. Така да се допринесе за все по-трайното навлизане на подобни практики у нас като естествен преход от развитие на масов туризъм към развитие на устойчиви видове туризъм, който е отговорен към природата и бъдещето.

**Първа глава. Състояние на биоразнообразието в България в международен план**

В момента България се намира в началния стадий в развитието на устойчив туризъм и това е етапът, в който да работиш за устойчив туризъм е най-трудно.

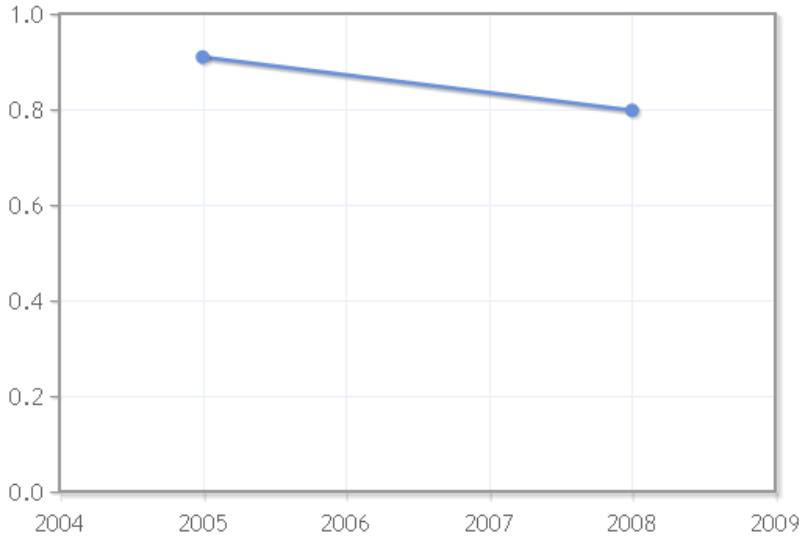
България е изправена пред най-разнообразни пътища в развитието на своя туризъм – в недалечно минало, а и до сега - развиване на масов туризъм, от скоро (Национална стратегия за устойчиво развитие на туризма в Р. България от 2009 г.) – устойчиво развитие на противоположни по своята концепция видове туризъм (на едни и същи или близки територии развиване на масов и алтернативен туризъм, на едни и същи територии развиване на ловен и и екотуризъм). Възможно най-скоро бизнесът и държавното управление трябва да се преориентират към развиване на устойчиви видове туризъм, което се оказва твърде различно от така формулираната досега концепция за устойчиво развиване на туризъм. В противен случай има опасност от отблъскване на платежоспособни туристи с екологично самосъзнание и формиране на негативен имидж на България като туристическа дестинация, безотговорна към природното си богатство, както и към световното биоразнообразие, което се среща на територията й.

Чрез http://www.indexmundi.com, международен сайт, претендиращ, че съдържа най-пълните профили на държавите в интернет пространството, формирани чрез подробна статистика, диаграми и карти и уповаващ се на множество източници, можем да добием представа къде се намираме в класификацията на държавите в света по биоразнообразие и в коя посока вървим.

Източникът относно биоразнообразието е публикацията на Pandey, Buys, Chomitz и Wheeler's, "Biodiversity Conservation Indicators: New Tools for Priority Setting at the Global Environment Facility" (2006).

Глобалният екологичен фонд (ГЕФ) е създал така наречения Индекс на ползите от биоразнообразието (на англ. GEF benefits index for biodiversity), който представлява комбиниран индекс относно относителния потенциал на биоразнообразие на всяка страна, на базата на представените видове, статусът им на застрашеност и многообразието от типове местообитания. Стойностите на индекса се движат от 0 (никакъв потенциал на биоразнообразие) до 100 (максимален потенциал на биоразнообразие), като критерият за максимален потенциал сред страните за 2008-ма г. е Бразилия със стойност 100 и първо място. За същата година България се намира на 126 място в класацията със стойност потенциал на биоразнообразие 0,81. Класацията се състои от 187 стойности на потенциал на биоразнообразие.

Съставена е и графика на движението на стойностите на потенциала на биоразнообразие за България за периода 2005-2008 г., която показва низходящо движение от стойности 0,92 за 2005, до споменатите вече 0,81 за 2008.




Графика 1. Потенциал на биоразнообразие на България за периода 2005-2008 г.
http://www.indexmundi.com/facts/bulgaria/gef-benefits-index-for-biodiversity

Анализът на тези данни води до следните заключения:

1. България не полага достатъчно грижи за потенциала на биоразнообразие в страната;
2. България е изостанала в сравнение със света в развитието на потенциала си на биоразнообразие;
3. За наблюдавания период от време потенциалът на биоразнообразие в страната е намалял със стойност от 0,09, като ако тенденцията би се запазила стойност 0 би била достигната през 2044 г.

Туристическият ресурс, базиран на потенциала на биоразнообразие на страната, е изцяло зависим от състоянието на биоразнообразието и от предприеманите или непредприемани действия към опазването както на него, така и на местообитанията на видовете.

**Втора глава. Туризъм в България, основан на биоразнообразието**

Разглежданите в този доклад видове туризъм, основан на биоразнообразието в България, попадат в следните категории:

- Наблюдение и фотография на диви животни в естествената им среда;
- Създаване и категоризиране на специализирана леглова база за орнитологичен туризъм, разпространяване на ноу-хау – европейската марка Bed & Birding ™ , инициирана в България – първата в света категоризация на леглова база според изискванията на орнитологичния туризъм.

*1. Наблюдение и фотография на диви животни в естествената им среда*

Туризъм с цел наблюдение и фотография на диви животни в естествената им среда в България се организира от различни туристически агенции и отделни специалисти, като аз няма да се спирам на всички. Да разгледаме една еднодневна екскурзия с орнитологичен акцент за група от 30-40 души, която се организира вече няколко пъти от туристическа агенция Травентурия, с поканени специалисти от Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания – БАН и Дружеството за защита на хищните птици (ДЗХП) за водачи. Дестинацията на екскурзията е Врачански Балкан, района около село Долно Озирово. Животинският вид, обект на наблюдение, е белоглавият лешояд, който е строго защитен в България и бива реинтродуциран на територията на Стара планина чрез специален проект, по който се работи вече над 10 години от природозащитните организации Зелени Балкани, Фонд за дивата флора и фауна и ДЗХП.

Освен наблюдение и фотография на наблюдаваните птици, провежда се лекция на тема обекта на наблюдение и запознаване на участниците с проекта за реинтродукция. При неподходящи метеорологични условия се посещават други туристически обекти в района.

Цената на екскурзията, включваща също така транспорта от град София и медицинска застраховка, е 26 лв.

Какви са предимствата на тази екскурзия?

- Предимства за бизнеса:
  1. не се създава атракция – обектът на туристическо предлагане е реинтродуцираният вид;
  2. не се изгражда материална база – липсват разходи по изграждане, поддръжка и обслужване на материалната база;
  3. туристите, които закупуват екскурзията, се интересуват от тематиката ѝ, биха участвали многократно, представляват идентифициран пазарен сегмент, разстоянието до който е скъсено чрез свързващия фактор от специалисти, които вече познават пазара;
  4. туристите сами носят нужните за орнитологичния туризъм екипировка, бинокли, фотоапарати и други, което улеснява финансово бизнеса;

  и други.
- Икономически предимства:
  1. привличане на туристи в район на страната, който е икономически изостанал, не е обект на масов туризъм и рядко е обект на организиран туризъм – туристопотокът се разпределя по-балансирано на територията на страната, районът се популяризира за туризъм и придобива специфичен туристически имидж на важна орнитологична дестинация;
  2. населението в региона има възможност да се включи в организирането на туризъм, имайки пред вид вече направените инвестиции по проекта и по организирането на екскурзията, вече разработения туристически продукт, и така да получава доход;

  и други.
- Предимства за биоразнообразието:
  1. Биоразнообразието се развива и популяризира;
  2. минимизират се заплахите за развиване на заплашващи биоразнообразието дейности на тази територия – бизнесът и местното население се ангажират с поддържане на биоразнообразието, нямат интерес да действат в разрез с целите му;
  3. полагането на грижи по опазването дори на един вид от биоразнообразието включва опазване на целия му хабитат, което води до нарастване на потенциала на биоразнообразие на територията на цялото местообитание на вида;

  и други.

*2. Създаване и категоризиране на специализирана леглова база за орнитологичен туризъм, разпространяване на ноу-хау – европейската марка Bed & Birding ™ , инициирана в България – първата в света категоризация на леглова база според изискванията на орнитологичния туризъм.*

През настоящата 2013 г. беше патентована туристическата марка Bed & Birding ™, която представлява набор от общи стандарти за услуги, свързани с организация на екскурзията, настаняването и рекламата, на които клиентите могат да разчитат, когато планират орнитологичните си екскурзии. Идеята и собствеността на патента е на българина Павел Симеонов, който, заедно със съпругата си Татяна Симеонова, организира орнитологичен туризъм и ръководи специализирана леглова база в Дуранкулак вече 16 години, а сега освен това разпространява своя ноу-хау в цяла Европа, разраствайки мрежата от Bed & Birding ™ туристически места за настаняване. Bed & Birding ™ мрежата от партньори е първата в света система от природосъобразно-ориентирани хотели, обединени от обща марка, общи критерии за предлагането и обща категоризационна система за развитие на орнитологичния туризъм, който привлича почиващи орнитолози и любители на природата дори по време на т. нар. „мъртъв сезон". По този начин наблюдението на птиците и дивата природа може да се извършва целогодишно и съдейства за удължаване на туристическия сезон.

Категоризационната система на Bed & Birding ™ включва изисквания от няколко типа:

- общи изисквания за налични в или в непосредствена близост до легловата база условия, подходящи за орнитологичния туризъм;
- изисквания за предлаганите под наем свързани с орнитологичния туризъм ресурси;

- изисквания за предлаганите орнитологични и други услуги;
- изисквания за устойчивост;
- мнение на клиента.

Вече 6 орнитологично-ориентирани хотелиери от 4 държави са се включили в мрежата на Bed & Birding ™ още преди изтичането на 1 година от създаване на марката, инициирана в България.

За разлика от екскурзията до Врачански Балкан, тук туристите са най-вече от Западна Европа, цените са по-високи и пакетът от услуги е много по-завършен и многообразен. Развитието на орнитологичния туризъм в Дуранкулак естествено е довел бизнеса до преминаване на следващ етап – формирането на туристическа марка, обединяваща все повече туристически фирми. Относно орнитологичния туризъм този етап е достигнат за първи път и това показва напредничавостта на световно ниво на българския бизнесмен в сферата на екотуризма. В този случай, за съжаление, този етап е достигнат без нужната и естествена подкрепа на местно, държавно или европейско равнище.

Въпреки липсата на подкрепа, резултатът от развитието на туристическия бизнес вече не е положителен само за района на Дуранкулак и България, последиците се отразяват в цяла Европа. Устойчивото развитие е застъпено на всяко ниво и не само не ощетява бизнеса, а му носи допълнителни предимства.

**Заключение**

Туристическият бизнес на територии със запазена природа и опазването на природата по тези места са изключително зависими една от друга дейности, но, когато са обединени от общата концепция за устойчиво развитие и действително работят съгласувано с нея, те са най-успешни и имат най-комплексен позитивен ефект, чиито граници могат да бъдат неограничени. Фактът, че тази територия на бизнес инвестиции е все още нова за българския бизнесмен, носи както трудности за осъществяването на бизнеса, така и предимствата на пазарната ниша.

**Литература:**


1. Л е в к о в, К. Алтернативни видове туризъм. Артграф, София, 2013
2. Сдружение за дива природа – Балкани, Алертис – фонд за опазване на мечките и природата. План за действие за кафявата мечка в България, София 2012
3. http://www.bedandbirding.com
4. http://lebalkan.org/
5. http://branta-tours.com/
6. http://www.redbreastedgoose.org/
7. http://www.salix.od.ua/
8. http://www.ecotourism.org/site/c.orLQKXPCLmF/b.4835291/k.487E/Ecotourism_Explorer__360176_of_Ecotourism__The_International_Ecotourism_Society.htm?linkpoint=278040317
9. http://www.responsibletravel.com/member/300/salix
10. http://www.bedandbirding.com/en/franchise/place/overview/1/Branta-Birding-Lodge.html
11. http://www.bedandbirding.com/en/franchise/place/overview/4/Krasny-Bor-Forest-Lodge.html
12. http://www.bedandbirding.com/en/franchise/place/overview/2/The-Wild-Farm.html
13. http://www.bedandbirding.com/en/franchise/place/overview/5/St-George-Family-Hotel.html
14. http://www.bedandbirding.com/en/franchise/place/overview/3/Iris-cottage.html
15. http://www.bedandbirding.com/en/home/links
16. http://www.izpitite.com/referats/0f5484e1.doc
17. http://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BA%D0%BE%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B8%D0%B7%D1%8A%D0%BC
18. https://www.google.bg/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CC8QFjAB&url=http%3A%2F%2Fgreenpack.rec.org%2Fbg%2Ftourism%2Fsustainable_tourism%2Findex.shtml&ei=9WGHUpqtOe_W2wX69ICoAg&usg=AFQjCNGQBAWcB_rw1irEg7qwqS92ckHonQ
19. https://www.google.bg/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&ved=0CDcQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.mi.government.bg%2Flibrary%2Findex%2Fdownload%2Flang%2Fbg%2FfileId%2F294&ei=9WGHUpqtOe_W2wX69ICoAg&usg=AFQjCNH9nTFg_gVySKvvrxWF3n0sZH1E8w
20. http://globultour.com/tour_orni.php
21. http://romantika-bg.com/index.php/uslugi/nabludenie-na-givotni
22. http://www.journey.bg/bulgaria/bulgaria.php?guide=499
23. http://sahrazada.blogspot.com/2009/08/blog-post_06.html
24. http://www.referati.org/zelen-turizym-ekoturizym-/56882/ref
25. http://balkanretreats.com/tag/wildlife-in-bulgaria/
26. http://www.naturetravel.eu/video.php?l=bg&id=3
27. http://www.baatbg.org/alternativen-turizym/5/
28. http://www.hobyto.com/post/1381/10-ot-nay-dobrite-mesta-za-nablyudenie-na-divi-zhivotni#
29. http://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%8A%D0%BB%D0%B3%D0%B0%D1%80%D0%B8%D1%8F

30. http://en.wikipedia.org/wiki/Biodiversity
31. http://en.wikipedia.org/wiki/2010_Biodiversity_Indicators_Partnership
32. http://www.bulgarianroads.com/index.php?m=offer&id=61
33. http://www.belitsa.com/bg/ekoturizam-v-belitsa/hobiturizam-v-belitsa/nablyudenie-na-divi-zhivotni-v-belitsa
34. http://www.focus-radio.net/?action=news&id=559144
35. http://www.visitrila.net/belica/127-2010-06-14-12-51-32.html
36. http://www.ismena.bg/etiketi?tag=%D0%BA%D0%B0%D1%84%D1%8F%D0%B2%D0%B0+%D0%BC%D0%B5%D1%87%D0%BA%D0%B0
37. http://evroprogrami.com/predstoyashti-programi/myarka-311-raznoobrazyavane-kam-nezemedelski-deynosti-2
38. http://btourism.com/subdir.php?sub=x3n
39. http://www.baatbg.org/pisma/7/15/
40. http://www.baatbg.org/vryzki/8/
41. http://www.baatbg.org/zeleni-dni/39/66/
42. http://www.infotourism.net/index.php?t=30818&m=1
43. http://www.thefreedictionary.com/Environmental+tourism
44. http://en.wikipedia.org/wiki/Tourism
45. http://pudoos.bg/
46. http://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B9%D1%87%D0%B8%D0%B2%D0%BE_%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B5
47. http://www.mi.government.bg/bg
48. http://www.bapim.org/%D0%98%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8+%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82/1/MlW-gRWTI5WjM9KLU1OjctSvchKXQtejIBK7cFObk9OvUFabkla3QleTkxKTcFW7c1i7gt
49. http://www.bsbcp.biodiversity.bg/frame_bg.htm
50. http://society.actualno.com/Bylgarija-e-s-naj-opazeno-bioraznoobrazie-v-Evropa-news_387946.html
51. http://www.indexmundi.com/facts/indicators/ER.BDV.TOTL.XQ/rankings
52. http://www.indexmundi.com/facts/bulgaria/gef-benefits-index-for-biodiversity
53. http://www.thegef.org/gef/whatisgef
54. http://www.projectmedia.bg/news/index.pcgi?material_id=54229
55. http://en.wikipedia.org/wiki/Wildlife_tourism
56. http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Environment_Facility
57. http://www.thegef.org/gef/sites/thegef.org/files/documents/GBI_Biodiversity_0.pdf

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# АСТРОИНЖЕНЕРИНГ СРЕЩУ ПРОМЕНИТЕ НА КЛИМАТА

**Борис Ценков**

*Независим експерт - София*
*e-mail: tsenkow@abv.bg*

***Ключови думи*:** *промяна на климата, глобално затопляне, концентрация на CO2, астроинженеринг, точка на Лагранж L 1, защитен екран, планетарен термостат, охлаждане на планетата, увеличение на добивите*

***Резюме:*** *Обобщени са изследванията по темата. Предложен е оригинален метод за намаляване на количеството слънчева радиация , падащо на Земята. Изследвани са количеството и вида на веществото на защитния екран, начина за изграждане, цена и срокове, етапи и всички възможни последствия.*

# ASTROENGINEERING AGAINST THE CLIMATE CHANGES

**Boris Tsenkov**

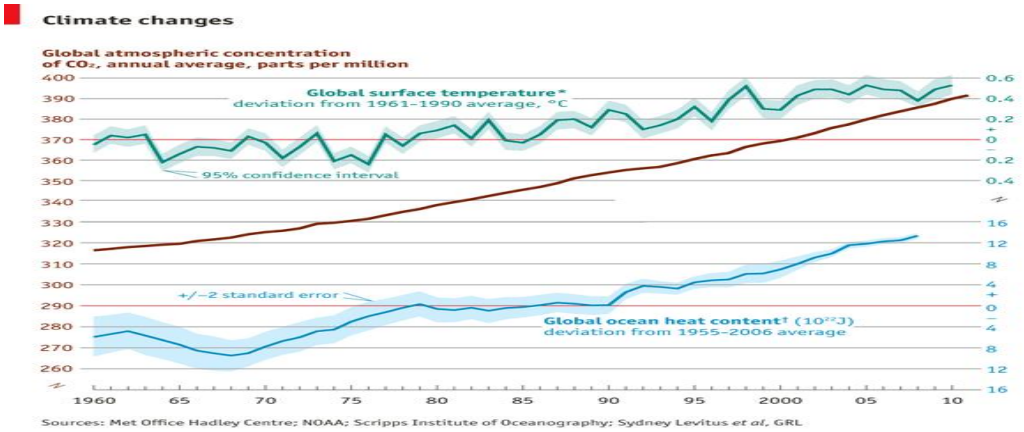
*Independent Expert – Sofia*
*e-mail: tsenkow@abv.bg*

***Keywords:*** *climate change, global warming, $CO_2$ concentration, astroengineering Lagrange point L1, shield, planetary thermostat, planet cooling, increase yields*

***Abstract:*** *Overview of the research topic. An original method to reduce the solar radiation reaching the Earth has been proposed. The report examines the amount and nature of the substance of the shield, how it is built, cost and time limits, and all possible consequences*.

## Въведение

Промените на климата, причинявани от последиците на човешката дейност- емисиите на парникови газове, се предизвикват от парников ефект. Земята не успява да се охлади през нощния цикъл независимо от спокойния период в състоянието на слънцето.Натрупва се топлинна енергия, която се изявява в повишаване температурата, опустошителни урагани, катастрофални дъждове и наводнения, топене на ледовете на Арктика и ледниците, повишаване нивото на световния океан .Прогнозите за ръст на населението и увеличението на консумацията на въглеродни горива ще доведат до необратими изменения на климата с непреодолими последствия.




Фиг. 1 Това изследване на Института по океанография Сидней убедително показва корелацията между концентрацията на $CO^2$ , температурата на повърхността на планетата и акумулираните количества топлина в океана. При това изследванията са показали, че натрупването в дълбините на океана е в пъти по-голямо на 700 м , отколкото на повърхността.

**Топене на ледниците**




Фиг. 2. Ледникът Мюир, Аляска, заснет 1941 г. и 2004 г. Останала е неразтопена само най-горната част.

Измерени ледове в Арктика: 20 000 км$^3$ – 1980г. и 9 000 км$^3$ октомври 2013. Данни от Criosat ESA- 11.2013

***ИЗЧИСЛЕНИЯ НА ТОПЛИННИТЕ ПОТОЦИ ОТ ИЗГАРЯНЕТО НА ИЗКОПАЕМИ ГОРИВА***

| ***ГОРИВО*** | ***МЯРКА*** | ***ГОДИШНО ПРОИЗВОДСТВО*** | ***КАЛОРИЧНОСТ*** | ***ЕНЕРГИЯ MW*** |
|---|---|---|---|---|
| Уран | MW | 440 000 MW ел.енергия | | 1 320 000 |
| Петрол | тон | 3 913 700 000 | 10 371 К кал/кг | 5 387 700 |
| Въглища | тон | 8 144 308 000 | 6 000 Ккал/кг | 6 480 000 |
| Газ | м3/год. | 3 373 000 000 000 | 9,3 Квтч/м3 | 3 580 000 |
| | | | ***СУМА*** | ***16 767 700*** |

**население 7 000 000 000 човека 100 вата 700 000

Енергията съответства на тотална слънчева радиация = 1000 W/м2 върху хоризонтална повърхност от 16 767 км2, или квадрат със страна 130 км.

Източник: Автора

Фиг. 3. Енергия от изгарянето на изкопаеми горива и уран. Не са включени биомаса и горски пожари.

Отделената енергия е 10 000 пъти по-малко от слънчевата радиация, падаща върху земята. Следователно не отделената топлина, а **отделените парникови газове причиняват затоплянето**.

Опитите чрез световни форуми да се намери изход от ситуацията показаха нежеланието на големите страни- замърсители да приемат съществени мерки за ограничаване на емисиите. Както се изрази участник във форума в DOXA , организаторите не са в състояние да регулират климата в конгресната зала, какво остава за въздействие върху климата на планетата.

Предлаганият метод за регулиране на климата разсича гордиевия възел от проблеми , осигурява прекратяване на затоплянето и осигурява време да се въздейства върху отделянето на парникови емисии.

**Същност на метода:**

- Базира се на уроците от полета на Аполо 13. След взрива на кислородния резервоар в космоса около кораба се образува „Хало” от кристалчетата замръзнал кислород. Това хало се задържаше от слабата гравитация на кораба около него, и дори при маневрите оставаше пак около него, правейки невъзможна ориентацията по навигационните звезди.

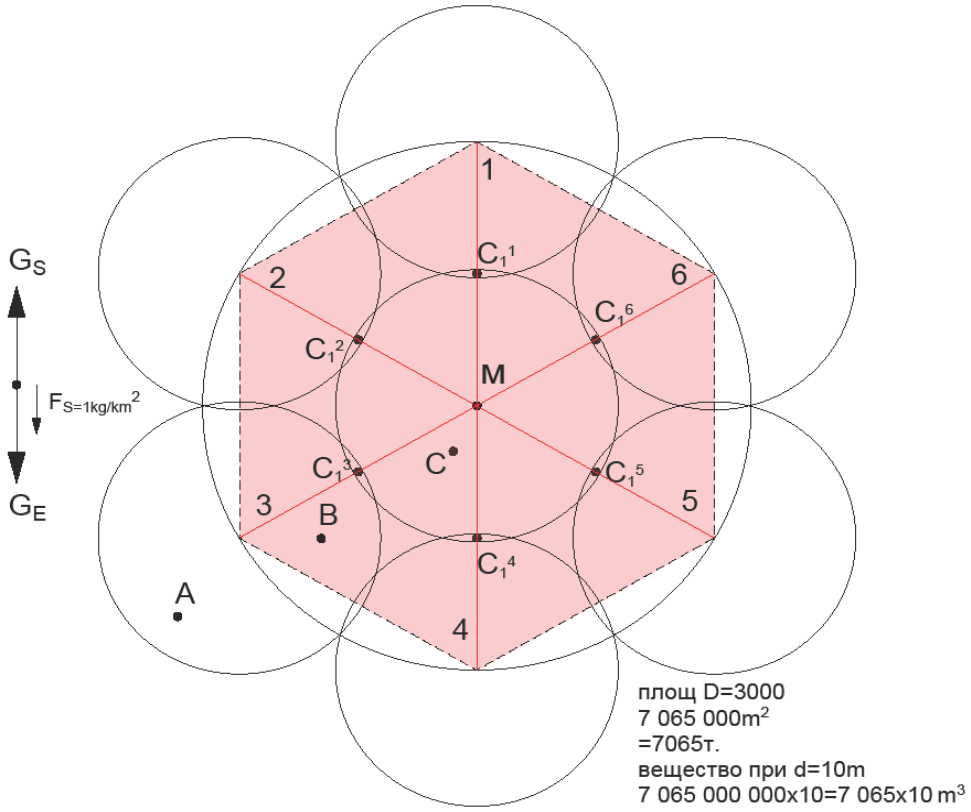
- Щом 150 килограма кислород образуват хало с диаметър 25-30 мили, ако доставим в точката на Лагранж „L 1 “ на двойката Земя-Слънце достатъчно количество “вещество,” което при изхвърляне в космоса образува ледени кристалчета, бихме образували облак, хало с диаметър 500-1 000 километра. Ефектът ще бъде подобен на облак върху Земята- част от радиацията ще се отрази, друга погълне, а преминалата частично ще се разсее. Разбира се, трябва да се действа разумно, с предварително определяне на всички параметри.

- Проблемът с налягането на слънчевата радиация ще се реши, като се формира халото между L1 и Слънцето и придаде предварително такова бавно движение на кораба и халото в посока Слънцето, че да се противодейства на отблъскването, както и с включване на йонния двигател на кораба.

- Възможно е все пак халото да се разсейва, затова трябва да се носи запас вещество за второ, дори трето инжектиране. Без съмнение, допълнителните количества могат да се доставят последователно с кораби танкери. Разходите за реализиране на проекта са пренебрежими в сравнение със щетите от опустошителните урагани, засушаването, катастрофалните дъждове, наводнения, разтопяване на ледовете на полюсите и пр, предизвикани от непрекъснато повишаващата се температура на планетата.

Радиационно налягане върху 7 065 000 км
**7 065 тона**

**Хало около Аполо 13- сфера с D=50 км**
**Обем 65 416 км3, в 1 км3- 0,0023кг/км3-**
**разпръснат е 150 кг кислород**




Фиг. 4. Формиране на екрана в L1. Автор: Борис Ценков

В точка M /съвпада с L1/ се доставя половината от масата на екрана плюс масата на корабите. В точки 1,2…6 в орбита около M с радиус 1 500 км и на равни разстояния се доставя другата половина от веществото на екрана плюс теглото на корабите. При това масата в орбита е равна на масата в центъра на своеобразната планетна система. Всички разстояния между гравитационните точки са еднакви. Това създава поле с еднакъв интензитет. Едновременно от центъра към периферията и от периферията към центъра се инжектира веществото на екрана, докато достигне необходимата плътност.

На всяка негова точка действат гравитационната сила на Слънцето-Gs , гравитационната сила на Земятя-Ge, и радиационното налягане Fs, както и центробежната сила от орбиталното движение. Приемаме радиационното налягане в L1 от порядъка на 1 кг/км$^2$. При това ние ще изградим само тънък облак, мъгла с малка плътност с цел да разсеем около 1,8% радиация - да намалим слънчевата константа с 1,8%.

(1) Ge + Fs = Gs

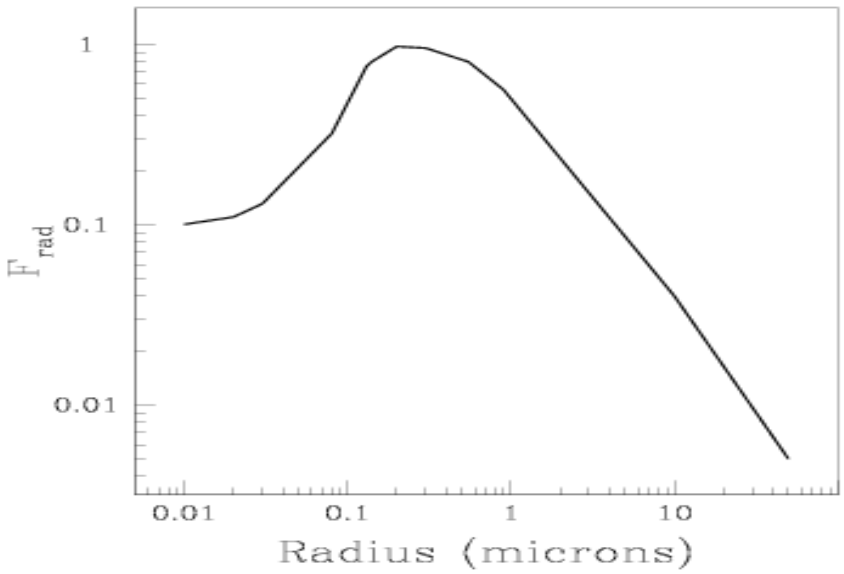
(2) Cs - Cs 0,018 = 1360 – (1360 x 0,018) = 1 315,88 W /м$^2$

Диаметър на екрана- 3000 км Площ на големия кръг- 7 065 000 км$^2$. Обем на екрана при дебелина 10 метра – 7 065 км$^3$. **Тегло на екрана при 4 грама/км$^3$ - 283 кг.**
Второ приближение: прието 6 грама/км$^3$. Дебелина на екрана- 1000 метра. **Тегло екран= 42 390 кг.** Очевидно има резерви от още един порядък.

Най-голямото поглъщане от Земята на слънчевата радиация е около „Подслънчевата точка"- оста Слънце-Земя пробожда екватора . Именно там ще насочим ефекта от екранирането, като само разсеем част от радиацията да премине извън земния диск.

**Параметри за определяне:**

1. Размер на частиците:




Фиг. 4. Радиационно налягане в зависимост от размера на частицата.

Очевидно частици с диаметър 0,1 – 1 микрон ще бъдат изхвърлени от Слънчевата система. Налага се да използуваме частици по-големи от 1 микрон. Доказателство: Има кометни опашки, насочени към Слънцето. Състоят се от тежки частици, които Слънцето привлича по-силно от радиационното налягане.
На земна орбита радиационното налягане спрямо слънчевата гравитация е 1,15.

2. Основен параметър е вида на веществото на екрана. При условия на мощно ултравиолетово лъчение и слънчев вятър то трябва да е прозрачно с коефициент на пречупване близък до водата, за да превръща директната слънчева радиация в дифузна. По този начин силно ще се намали радиационното налягане. Трябва да се имитират структури подобни на междузвездните облаци, на кометните опашки.

3. Определяне масата на екрана.Приетата плътност 4-6 грама/км$^3$ съответства на плътността на междузвездните облаци, на кометните опашки, както и средната плътност на галактиката- един атом в см$^3$.
Общото тегло е между няколко десетки тона и няколко стотици тона. Напълно по силите на съвременната космонавтика, и много по-малко от 20 милиона тона по проекта на проф.Angel.[3]

4. Определяне дебелината на екрана. Трябва да разсеем толкова радиация, че да намалим падащата върху земния диск с 1,8 %. Определя се експериментално.

5. Срок на съществуване. Минимум 50 години. Време за смяна на технологиите, отделящи емисии, геоинженеринг-залесяване, очистване океана и развъждане планктон, свързване на излишния CO2 със алуминиевите силикати.

6. Цена. За еталон- проекта Аполо. При 10 полета в орбита около Луната 1968-72 г бяха изстреляни 493 тона. При днешна цена 170 млрд .долара. Т.е. един тон струва 345 милиона долара. Вероятно цената на проекта Астроинженеринг ще бъде няколко пъти по-висока, сравнима с пилотиран полет до Марс. Ползата обаче ще бъде несравнима.

7. Екипаж не се предвижда. Всички операции ще се командват от Земята- при разстояние 1,5 млн.км. сигнала достига за 5 секунди.

Цена войната в Ирак - **784** млрд. долара **Войни на САЩ 2009-2011 г. 1 147 млрд.долара**
Войната Афганистан - **321** млрд. долара Източник:Congresianal Recearch Service
Щети от урагана Санди: **50** млрд.долара , Щети , изплатени от Мюних Ре 2004 г. **50** млрд.долара

**Етапи на проекта:**

- Създаване на инициативен комитет, осигуряване финансиране
- Орбитални експерименти, проектиране и тестване
- Конструиране на хардуера и изработването му
- Извеждане на НЗО товари с Байкал-Ангара /космодром Восточный/ и Фалкон Хейви /Кейп Канаверал/ до МКС
- Композиране на КК- част от МКС с VASIMR бустери с 200 Квт слънчев генератор. Слънцето осигурява енергията за полет до L1. Налични 12x200 = 2 400 Квт в L1.
- Излизане на траектория към L 1
- Използване на лунната гравитация
- Достигане L 1 и спиране, точно позициониране
- Изграждане на защитния екран
- Доработки и изследвания, поддържане

**На Земята – съпътстващи мерки:**

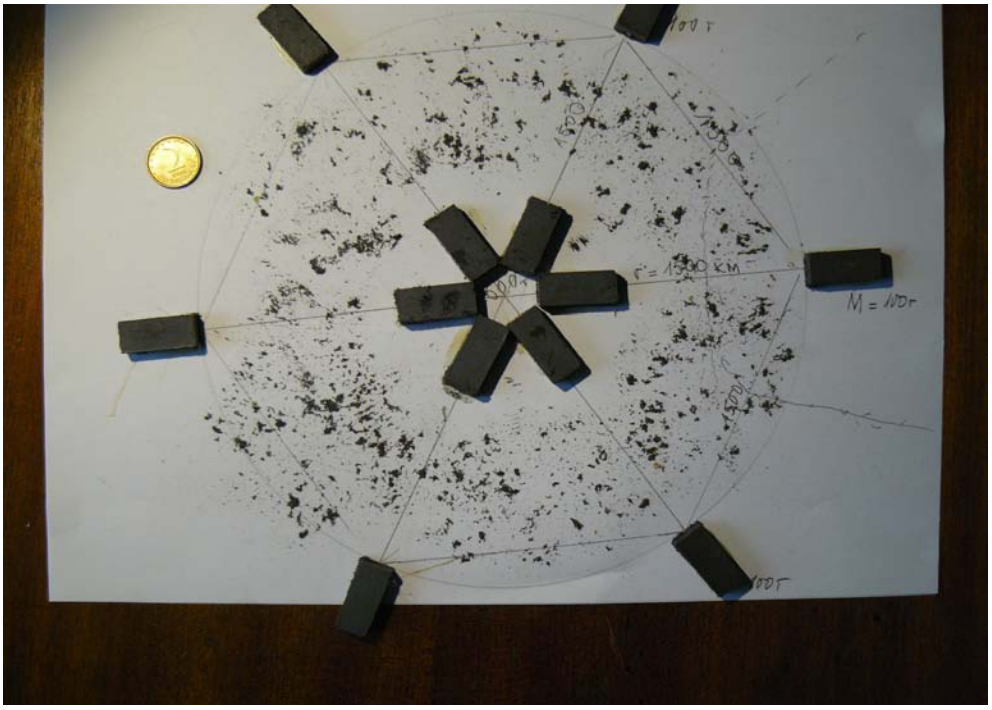
- Незабавна смяна на технологиите, отделящи парникови газове
- Геоинженеринг за усвояване излишния CO2

**Критерий на проекта:**

- Безвреден за живите организми
- Възможност за регулиране ефекта
- Възможност за незабавно прекратяване
- Устойчивост минимум 50 години
- Разсейване 1,8% от слънчевата радиация
- Невъзможност за саботажи
- Невъзможност за милитаризация
- Недопустимост за конфликт с религиите

**Предложение за Орбитален експеримент:**

Един от транспортните кораби, снабдяващи МКС да се оборудва с резервоар за “вода” и дюзи, въртящи се около оста на кораба. След доставката за МКС да се изведе на орбита 1 000 км над станцията, където да се образува плосък облак, хало с площ, перпендикулярна на Слънцето. Да се измерят параметрите на разсейване и поглъщане на целия спектър и ефекта върху засенчваната повърхност.“Вода” е работното наименование на материала, подлежи на изследване.



Фиг. 5. Симулация на защитния екран с постоянни магнити и железни частици. Създаване на поле с еднакъв интензитет. Модел на автора. 2013 г. София

**Компютърна симулация на последиците от проекта Астроинженеринг.**

Изследванията на Govindasamy[1] и колектив убедително показват: До две години от изграждане на екрана температурите спират да се покачват и климата ще се стабилизира. Намалението на ултравиолетовата радиация и продължаващото покачване на концентрациите на CO2 обаче **ще благоприятстват добива на селскостопанска продукция с 60-70 %.** В парично изражение това е **един трилион долара годишно, което изкупува проекта**. При това увеличението на добивите е именно в областите, където се очаква увеличение на населението.

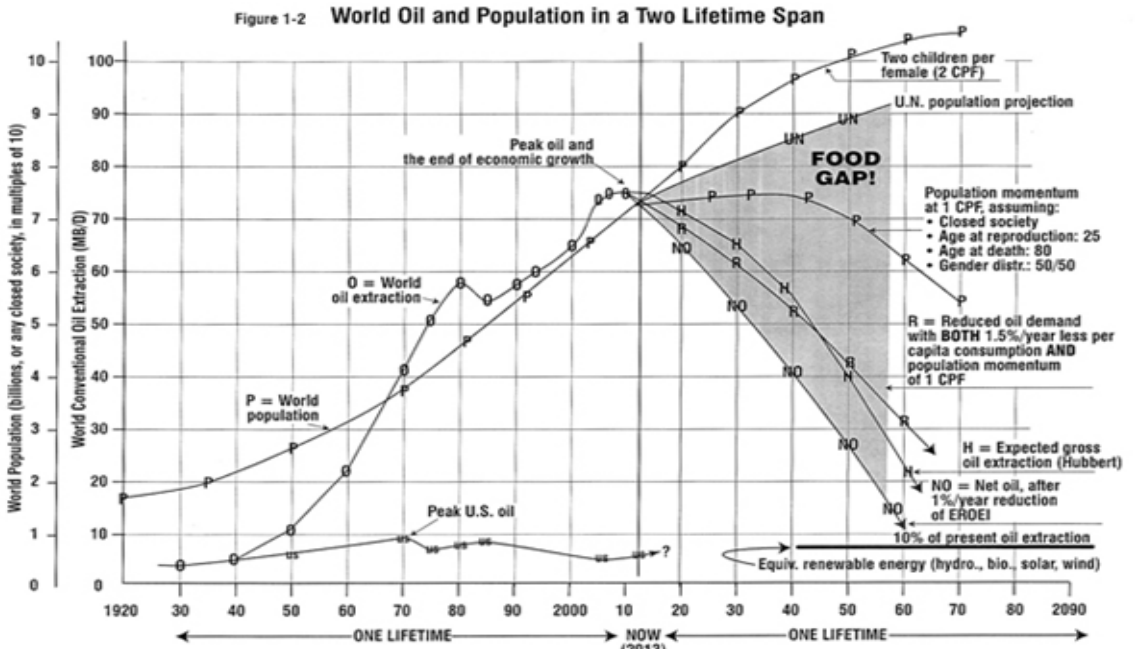
Друго важно предимство на метода. Намалението на ултравиолетовото лъчение **ще намали рязко заболяванията от рак на кожата**.

Очевидно са необходими мерки за прекратяване повишението на киселинноста на океана и почвите чрез използване метода на Seifritz[4]- 1989.- свързване на излишния CO2 със алуминиевите силикати в почвата.

**Неизвестни процеси:**

1. Неизвестно е взаимодействието на вероятно електрически заредените частиците на екрана със слънчевото магнитно поле. Ситуацията се усложнява и от 12 годишната смяна на полюсите на магнитното поле на Слънцето.

2. Неизвестно е и взаимодействието на екрана със слънчевия вятър.




Фиг. 6. Население, производство на петрол и бъдещето. Източник: Smart planet daily

**Заключение:**

Проблемът със промените на климата е обсъждан от Американския конгрес, от NASA, Caltech, Американските университети , но освен повърхностно изброяване на възможностите нищо не е направено- няма никакви практически изследвания, опити за въздействие.
Дано неотдавнашното решение на Китайската комунистическа партия да разреши второ дете да стресне мислещите и световната общност. Защрихованата област от фиг.6 е достатъчно основание.

**Литература:**


1. G o v i n d a s a m y, B and C a l d e i r a K, “Geoengineering Earth’s radiation balance to mitigate CO2-induced climate change,” *Geophys. Res. Lett*. **27**, #14, 2141
2. W o r k s h o p R e p o r t on Managing Solar Radiation - NASA/CP–2007-214558
3. R o g e r A n g e l . Feasibility of cooling Earth with a cloud of small spacecraft near the inner Lagrange point L1.
4. S e i f r i t z, W. CO2 disposal by means of silicates. Nature 345, 486.
5. S e I f r I t z, W. Chadowing the Earth from L 1. 2007.
6. S e I f r I t z, W. Mirrors to Halt Global Warming- Nature 340, 603
7. *E d w a r d Te l l e r, Roderick Hyde and Lowell Wood* - Active Climate Stabilization: Practical Physics-Based Approaches to Prevention of Climate Change-National Academy of Engineering Symposium 18.04.2002

# ПРОЕКТ ФЕНИКС ЕНЕРЖИ

**Борис Ценков**

*Независим експерт - София*
*e-mail: tsenkow@abv.bg*

***Ключови думи*****:** *енергийна ефективност, противодействие на измененията на климата, глобално затопляне , повишена концентрация на CO2, цена на електроенергията, месечни сметки за ток, топла вода, рекуперация на енергия.*

***Резюме:*** *Проекта се базира на патентованата от автора "Инсталация за загряване на вода чрез топлообмен" ПМ 1334 и съдържа подробно описание и етапите за масово внедряване на изобретението.*

*Направен е анализ на срока на откупуване, цена, предимства и печалби в сравнение със другите методи за загряване на вода за битови и промишлени нужди.Приложени са изпитания на прототип и план за действие.*

# PROJECT FENIX ENERGY

**Boris Tsenkov**

*Independent expert - Sofia*
*e-mail: tsenkow@abv.bg*

***Keywords:*** *Energy efficiency, opposition to climat change, global warming, concentration raicing of CO2, electricity price, electricity bills, warm water, recuperation of energy.*

***Abstract :*** *The project is based on the "Installation for water-warming by heat exchange" patented by the author PM 1334 and contains detailed description and stages for mass implementation of the invention.*
*It also contains analysis for pay-back period, price, advantages and income compared to other methods for water-warming for domestic and industrial purposes. Tests of the prototype and business-plan are also attached to the project.*

1. Проблемът, който ще решим е формиран от съществуващото състояние: 80% от населението ползва електрически бойлери за затопляне на вода.Според изследване на Нелбо инженеринг и Теси в България работят около 3 млн. електрически бойлери в семейства, хотели , ресторанти, производствени цехове. Това е причина за високите месечни сметки, довели до уличните бунтове през март т. г. През 2013 българите ще заплатят 1 млрд 300 млн. лв. за топла вода, която щедро ще излеят в канала.
2. *Доказателства:* Единствения водоприемник на канални води в София е река Искър. Измерена беше температурата на реката преди влизане и след излизане от София. Измерванията се проведоха януари 2003 г. На входа – с.Горубляне бяха измерени **+3 °**, въздух -1$^{o}$ . На изхода – с.Кубратово- при сливането на трите реки- в канала преди пречиствателната станция **+12°** при дебит 5 м$^{3}$ / сек.
3. От статистиката се вижда -консумацията на бойлера е на първо място, той консумира половината от семейния бюджет. За сравнение в САЩ той консумира 65%, Франция -60%.

**Консумация на битови електроуреди в България към 2008 г.**

| | |
|---|---|
| ***Електрически бойлер*** | ***40%*** |
| Електрическа готварска печка | 20 % |
| Климатик | 15% |
| Хладилник | 7% |
| Компютър | 5% |
| Телевизор | 5% |
| Осветление с енергоспестяващи лампи | 4% |

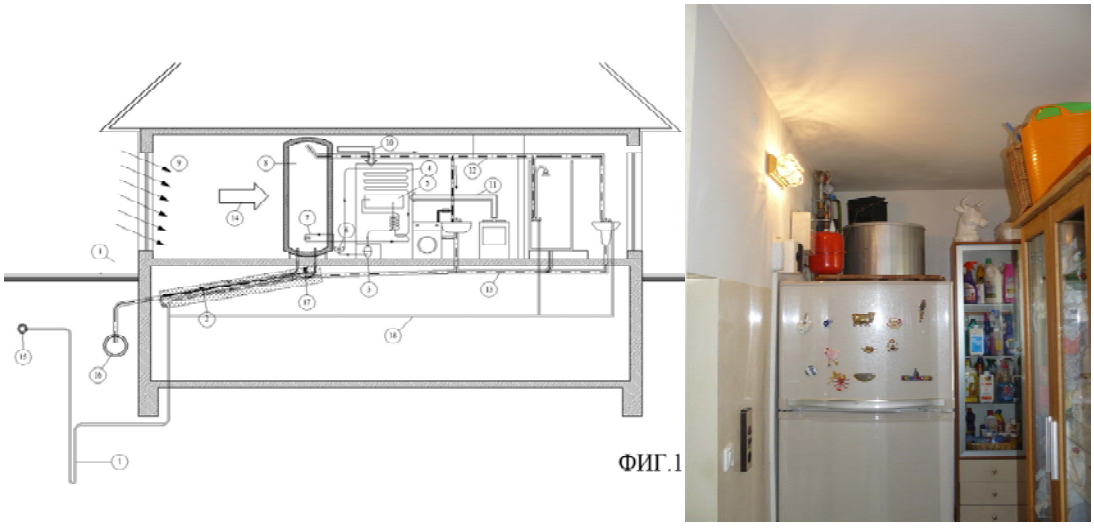
Източник: Пасивхауз БГ

Изобретателската стъпка за решаване на този проблем е отстраняването на електрическия нагревател и заместването му с топлинната енергия , разсейвана от електроуредите. Ще я акумулираме във бойлер, а след употреба ще направим топлообмен между изпусканата в канала употребена топла вода и постъпващата в бойлера студена вода.

4. Начина на улавяне на разсейваната топлина е подробно описан в патентните претенции. Накратко: чрез монтиране кондензатора на хладилника в бойлера постигаме директно загряване на водата от фреоновите пари. Чрез топлообменник разсейваната от печката топлина загрява водата. Употребената топла вода се събира и чрез топлообменника „Употребена топла вода-студена вода" отдава половината от топлинната си енергия, която подгрятата студена вода връща в бойлера.

Фиг.1 - Вдясно - първия модел на устройството, монтиран 2003 г. в Пловдив. Устройството работи без разход на допълнителна енергия, и вероятно вече се е изплатило три пъти.

## СХЕМА НА УСТРОЙСТВОТО И ПЪРВИ МОДЕЛ




Реализация 2003 Пловдив

Фиг. 1

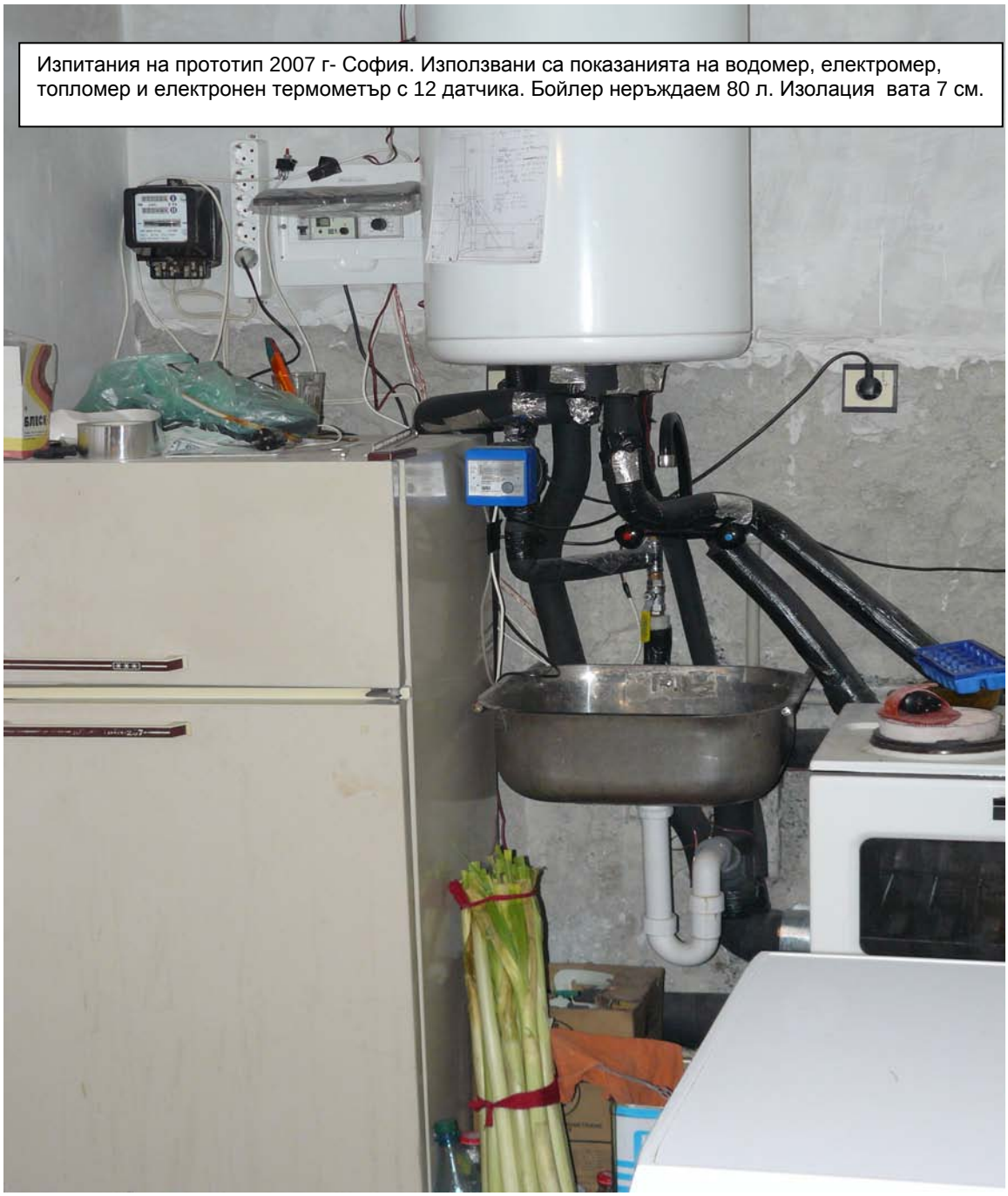
Изпитанията на прототипа в София 2007 показаха отлични резултати. Удовлетворение от устройството беше изказано с едно изречение." Значи мога да изпека баницата, и със същата енергия и да взема душ! „

5. Друг неочакван ефект също бе регистриран. Отсъствието на мощно електромагнитно поле около ел.нагревателя и заместването му с нискотемпературен топлообмен прави водата подобна на слънчева – мека и много приятна за къпане. Ефект, постигнат без разход на енергия.Процеса подлежи на допълнителни изследвания.

6. Нашите бъдещи клиентски групи са : хотели и ресторанти, цехове на леката промишленост, общински обекти- млечни кухни , детски градини, старчески домове, нови сгради и реконструкция на стари, млади семейства. Колкото по-голяма е консумацията на топла вода, толкова ефекта нараства. Средния срок на откупуване е три години. Ценно качество на устройството е, че може да се монтира във всяка сграда, както и да се изгражда модулно- напр. бойлер и хладилник, бойлер и топлообменник, Ъпгрейдвания хладилник може да работи и самостоятелно. Цена за бита 3 000 лв с монтаж.

7. Вече формирахме клъстър от предприятия, които дадоха съгласие да работят по проекта.
Това са завода за хладилници на Либхер Радиново- произвежда.битови хладилници и е съгласен да ъпгрейдва по заявка част от тях.
Кооперация Бенковски с 60 годишен опит-произвежда дестилационни апарати за ароматични масла и алкохол, както и специални бойлери по наши чертежи.

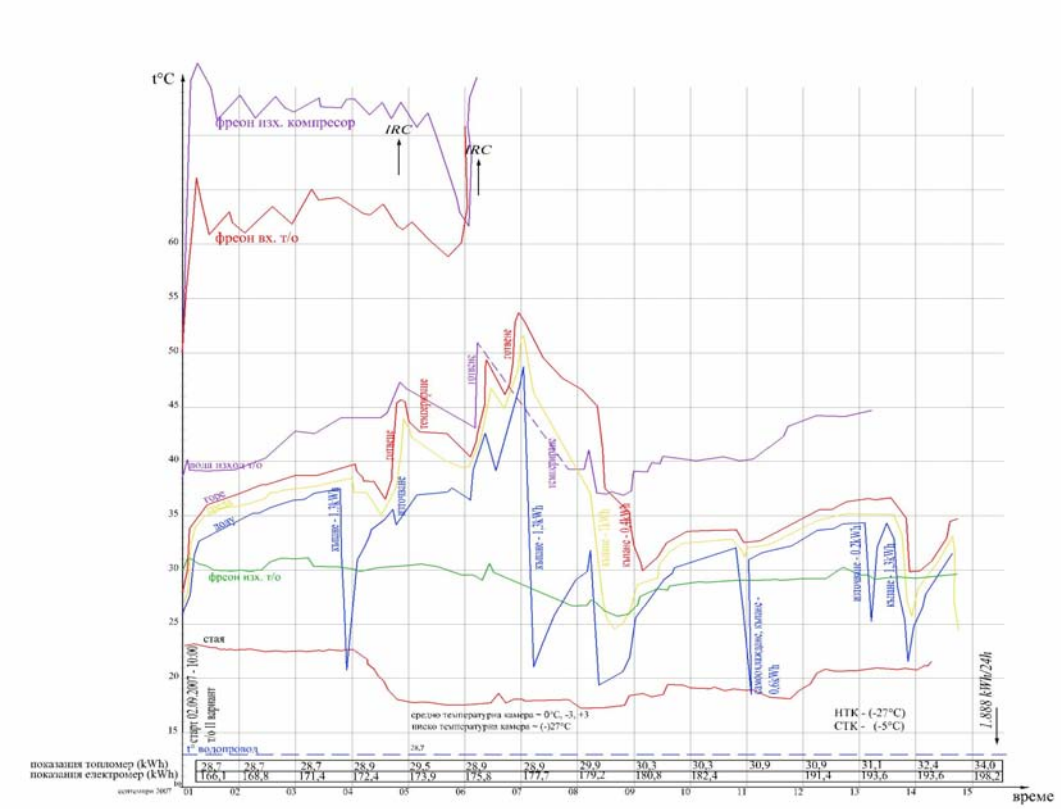
Пасивхауз БГ –е специализирана в проектиране и монтаж на слънчеви и термопомпени системи и ще произвежда специалните топлообменници, ще проектира и изгражда инсталациите.
Ще започнем с малка серия с набиране на клиенти от Сайт, но основно разчитаме на общински обекти, изграждани по европейски проекти, както и да се намесим още при проектирането на нови сгради и обекти за селски туризъм чрез проектантите.
Планираме да започнем с малка серия през 2014 и да нарастваме всяка година, като в края на четвъртата да навлезем в стръмната част на ръста на продажби. Въпроса с експорта за сега не е разглеждан, и зависи от финансите и производствените възможности.



Изпитания на прототип 2007 г- София. Използвани са показанията на водомер, електромер, топломер и електронен термометър с 12 датчика. Бойлер неръждаем 80 л. Изолация вата 7 см.

Фиг. 2

## Резултати от изпитания на прототипа 2007, София




Фиг. 3

*Коментар на графиките:* По вертикала е температура на водата в бойлера, измервана в три точки- горе, среда и долу. Хоризонтала- времето в дни. Параметри: Температура на въздуха в стаята, температура на водопроводната вода, температура на фреона преди и след топлообменника, температура на вода на изход топлообменник, показания на водомера, показания на електромера, показания на топломера. След напълване на бойлера с водопроводна вода 10$^{o}$ и включване на хладилника температурата на водата започна да се повишава, и след два дни достигна 40$^{o}$ . Първия душ/ с топла вода, произведена само от хладилника/ източи напълно бойлера, но вместо да има 10$^{o}$, ефекта от работата на топлообменника" Употребена топла вода-студена вода" е ясно видим от показанията за 04 октомври. Неговия ефект достига до 50% при стационарен режим. Включена беше и готварската печка на 05 октомври- ясно личи скок в температурите. Имитирано беше семейния цикъл- къпане, готвене, зареждане и изпразване на хладилника. Средната температура на водата в бойлера се запазваше около 45$^{o}$ . Поставянето на кондензатора на хладилника във вода го превръща в термопомпа „въздух-вода" и COP нараства – в нискотемпературната камера температурата достигна -30$^{o}$ , и то при минимум на терморегулатора. Измерената при това електическа консумация не се отличаваше от паспортните данни на хладилника. Всички къпещи се забелязаха неочакван ефект- водата беше „мека", подобна на слънчева, и много приятна за къпане.

По искане на „ТЕСИ" беше направен икономически анализ на срока на откупуване на отделните компоненти. Топлообменника УТВ-СВ се изплаща за три години и 6 месеца, а двойката „ Хладилник-бойлер" за една година и 6 месеца. Прието беше усреднен срок за откупуване на цялото съоръжение три години. Цената – три хиляди лева заедно с електроуредите и монтажа.

**За сравнение:**

Слънчева система за БТВ се изплаща за 6 години и 6 месеца, струва два-пъти по-скъпо, и работи 60% от времето.

**Предимства на инсталацията:**

- Инсталацията работи целогодишно.
- В бойлера няма електрически нагревател, няма опасност от експлозия и токов удар.
- Топлообмена е бавен с ниски температурни разлики- няма термичен стрес

- Вместо със студена водопроводна вода бойлера се пълни със частично подгрята вода.
- Поради липсата на електромагнитно поле водата запазва структурата си.
- Ако водосъдържателя е неръждаем, на практика бойлера е вечен- няма електрокорозия.
- Устройството се сглобява от готови модули, на практика във всяко жилище или цех.
- Може да се изгражда на етапи според финансовите възможности.
- Намаляват се сметките за ток с 50%.
- Увеличава се енергийната независимост на собственика.
- При живот 20 години **капиталовложенията се връщат седем пъти!**
- В национален мащаб се спестява енергията на единия атомен реактор в АЕЦ – т.е. не само че няма нужда от нов, но единия от съществуващите реактори става излишен.
- Устройството противодейства на измененията на климата.
- Устройството допринася за увеличаване благосъстоянието на нацията.
- Устройството спестява емисии на парникови газове.

**Заключение:**

Растящите цени на енергията и ниския стандарт на българина правят устройството актуално и необходимо. Очаква се след преодоляване неинформираността и недоверието търсенето да нарасне бързо.
- Влияние върху електросистемата- снижение на консумацията със 7,5 милиарда квтч.
- Газоснабдяването: Отпада нуждата от газови бойлери.Няма нужда от работа на газови отоплителни котли в режим БТВ. Няма опасност от експлозии. Снижение вноса на газ.
-Топлофикацията- Отпада нуждата от летен режим за БТВ. Снижение на товара за БТВ през отоплителния сезон, снижение на загубите за топлопренасяне.Снижение вноса на газ.
- Отражение върху емисиите- постигане целите на Директивата Европа 20/20.

**Литература:**

1. Бюлетин Патентно ведомство на РБ - №12/2005, стр. 26. Метод и устройство за акумулиране на топлинна енергия.
2. Бюлетин Патентно ведомство на РБ - № 6 /30.06.2010 Инсталация за загряване на студена вода чрез топлообмен.
3. Патентно ведомство на РБ – Свидетелство за регистрация на полезен модел № 1334.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# КОСМОСЪТ – НАСТОЯЩЕ И БЪДЕЩЕ НА ЧОВЕЧЕСТВОТО

**Веска Василева**

*СОУ "Д-р Петър Берон", с. Хитрино, обл. Шумен*
*e-mail: svetli4ok@abv.bg*

*„Безкрайното и неизмеримото е също така необходимо за човека, както и малката планета, която той обитава" Фьодор Достоевски*

Това е една от любимите теми за рисуване на учениците от СОУ "Д-р Петър Берон", с.Хитрино. Темата е много благодатна за развитие на знанията, вниманието, концентрацията и фантазията на учениците, за възпитаване на естетическо отношение към изкуството. Конкурсът е специфична форма за насочване и насърчаване на ученическото творчество към проблеми и дейности, свързани с изследване и използване на космическото пространство за мирни цели, за търсене на нови области на приложение на космическите изследвания, за разширяване на възможностите за технологичен и космически трансфер.

„Що се отнася до нас, ние смятаме за одушевен целия свят и всички небесни тела, всички звезди, а също и тази славна земя. Ние поддържаме, че от самото начало сме ръководени от предначертанията на техния дух, и че от тях ни е даден и импулсът за самосъхранение." Уилям Джилбърт.

Учениците търсят материали по темата в интернет или енциклопедии, занимават се с това, което са научили. В последствие те осмислят чутото и обмислят как да композират рисунката в определения формат, определят движението и пропорциите на замислените обекти, като постепенното уточняване на тяхната конструкция и перспективните изменения.

„Звездите – далечни слънца". Всяка галактика съдържа милиони звезди. Звездата представлява кълбо от нагорещен газ, което излъчва топлина и светлина в следствие на термоядрените реакции, протичащи в нейното ядро. Звездите имат различна големина и яркост. Слънчевата система се състои от Слънцето и от всичко, което обикаля около него: ш;анетите и спътниците, както и скални късове и големи количества прах. Виждаме, че самотните звезди се движат в пространството праволинейно, а в проекция техния път на небето изглежда като дъга от голям кръг. Прогресивните умове на човечеството винаги са изказвали мисълта, че не е възможно само нашето земно кълбо в цялата Вселена да бъде единствено пристанище на живот. В безкрайната вселена има безкрайно множество от обитаеми светове, и животът неизбежно трябва да възникне навсякъде, където за него се създават необходимите благоприятни условия. Големите и ярки комети, наблюдавани с невъоръжено око са били с опашки. Малките и неярки комети често имат едва забележими къси опашки, които се виждат само на фотографии. Много комети се виждат само през телескоп като слаби, мъгливи петънца, размити по краищата. Всяка ярка комета е телескопична, малка и слаба, когато е далеч от слънцето. Кометите като гущерите са способни да изгубват опашките си и да ги възстановяват отново. Видимият размер и бласъкът на кометата зависят, разбира се от нейното разтояние до Земята. До този извод стигат учениците от девети клас.

Възможен ли е контакт... и дали е желателен? – по този въпрос размишляват и учениците от пети до осми клас. За овладяването на космоса, човек запазва вярата си, че в края на краищата невъзможни неща няма. Може би не бива да пренебрегваме с лека ръка многобройните предупреждения, отправени от загадъчните същества към очевидците и засягащи опитите ни с ядрено оръжие, които са „нарушили равновесието" на нашата планета, Слънчевата система или дори Галактиката. Термоядрените реакции може би предизвикват нежелани последствия в паралелните вселени, за които ние все още нямаме никаква престава, и по всяка вероятност предупреждават загрижените „извънземни" да идват тук от измерения, отстоящи на по-малки разтояния дори от Марс, или Луната. Налице са постоянни намеци и натяквания, че те не са от нашето вибрационно ниво и имат по-високи „вибрации" – неосезаеми

за нас, но напълно материални и осезаеми за самите тях. За „извънземните", живеещи извън нашите представи за време и пространство, разтоянията между планетите от слънчевата система може би са незначителни, а защо не и несъществуващи. Защо извънземните ни посещават системно в продължение на няколко десетилетия, а тяхното поведение изглежда непоследователно и безцелно? Защо се налага толкова много същества идващи очевидно от голям брой различни планети да посещават Земята? Защо в основната си част съществата имат човешки външен вид, след като всяка основна планета със специфичните за нея условия би изразила своята жизнена сила под формата на организми, които са устроени по уникален за дадените условия начин? Това са темите, по които ще продължим да проучваме и претворяваме в рисунки.

За да оцелеем ние разчитаме на слънчевата топлина и на чистотата на въздъха. И въпреки това, голяма част от дейността на човека върху планетата застрашава да промени тези жизнено важни елементи в неблагоприятна за нас насока. На някои места в определени моменти, когато се появят лондонските мъгли и смогът в Лос Анджелис, тази заплаха се превръща в реалност. В глобален мащаб атмосферата е така необятна и в нея са вградени такива спирачки и противодействащи механизми, че неосредственият ефект от цялата ни дейност изглежда съвсем незначителен. Независимо от това при наличието на очевидната опастност от болшинството странични продукти на нашите технологии, при непрекъснато ускоряващите се темпове на световното промишлено производство и при съществуващата възможност за натрупване на замърсители в продължение на дълъг период от време, жизнено необходимо е разбирането на този проблем, да проникне дълбоко в съзнанието на човешкия род. Съществуват четири типа замърсяване: замърсяване с твърди частици, химично замърсяване, радиационно и топлинно.

С единадесети и дванадесети клас разглеждаме елементите, които напускат екосистемата, а това са топлината, кислородът, въглеродния двуокис, биогенните елементи и др. Биогеоценозата е сложен природен комплекс на живите същества, намиращи се във взаимозависимост с неорганичната среда и взаимодействуващите с тях материал но-енергетични връзки. По своята същност това е динамическа уравновесена, взаимосвързана и устойчива във времето система, която е резултат от продължител на дълбока адаптация на съставните компоненти. Съществуват различни становища относно понятията екосистема и биогеоценоза. Едното е че те са синоними, а другото че са сходни, но не тъждествени. Привържениците на второто мнение твърдят, че екосистемата е с по-широк обем, а биогеоценозата е ограничена от фитоценоза. Всяка единица (биосистема), включваща всички съвместно функциониращи организми (биотично съобщество) на даден участък и взаимодействуваща с физическата среда по такъв начин, че потокът на енергията създава строго определени биотични структури и кръговрат на веществата между живите и неживите части. Между отделните компоненти на екотопа съществуват многостранни връзки и взаимоотношения, които са много сложни, а когато ги свържем с биоценозата, т.е. с живите организми, стават още по-сложни. Известно е,че основната скала е материята, от която се създават почвите. Почвите са свързани с водата, въздуха, климата, с космическите фактори, със слънчевата енергия и хидросферата. От тук произтича и голямата трудност да се установят законите на основните и главните взаимовръзки и взаимоотношения като освен многофакторното действие на компонентите се вземе предвид и действието на закона за непредсказуемостта. Понятието биоценоза произхожда от гръцката дума bios-живот и koinos-общо. Биоценозата представлява съвкупност (съобщество) от популациите на автотрофните (растения) и хетеротрофните (животни и микроорганизми) видове, които обитават относително еднороден екотоп. Биоценозата се състои от фитоценоза (продуценти), зооценоза (консументи), микробиоценоза (редуценти). Фитоценозата е съвкупността от растителни видове или техните популации, които населяват определена територия с относително еднакви екологични параметри. Фитоценозата се характеризира с едни от най-важните параметри в екосистемите, а именно зелените растения. Можем да ги наречем още зелената лаборатория, в която по пътя на фотосинтезата абиотичните химични елементи и веществата, които съществуват в абиотичната среда, се превръщат в жива органична материя, като включват в себе си слънчевата енергия. От еколого-биологична гледна точка човекът не се различава от останалите животни, но като социално-биологично същество той има развит мозък. За съжаление развитото индустриално общество идеите се развиват и реализират драстично като се засилва антропогенният натиск, в резултат на което деградират екосистемите като се съсипват зелените лаборатории. Зооценозата т.е. животинските видове, се срещат навсякъде в биотичната среда, те се наричат консументи.

Правото на околната среда днес се разглежда в целия свят като нов отрасъл на съвременното международно право. В съвременната екологоправна доктрина, в предмета на екологичното право наред с отношенията, свързани с природоползването и опазването на

околната среда са включени и отношенията по осигуряване на екологична безопасност. Под термина “екологична безопасност” се разбира състоянието на защитеност на жизнено важни интереси за човека, обществото и природната среда от опасности, възникнали в резултат на антропогенното въздействие върху околната среда.

Международното екологично право представлява съвкупност от правни норми и принципи които регулират отношенията между субектите на международното право в областта на опазването на околната среда и рационалното им природоползване. Следователно предмет на регулиране от международното екологично право са исторически обусловените отношения между суверенните и независими субекти на международното право, възникващи по повод опазването, подобряването, възстановяването и използването на природните обекти с цел съхраняване на околната среда в интерес на настоящите и бъдещи поколения. В рамките на международното екологично право непосредствен обект се явява природата на Земята и околоземното космическо пространство. Околната среда е цялостна система от общи и единни връзки, отношения, функции и зависимости, която ни дава възможност да отделим основните компоненти на тази система: Глобалният характер на проблематиката изключва възможността от решения на много екологични проблеми приети на основаната на суверенитета на държавите, защото околната среда може да бъде “комплексен правов обект” (атмосферен въздух, вода и др.), който не се намира под изключителната юрисдикция на държавата. Пред субектите на международното екологично право (основно държавите и международните организации) стоят две главни задачи – опазване на околната среда и рационално използване на природните ресурси. Във връзка с решаването на глобалните проблеми и достигане на единство в общозадължителното поведение на държавите възниква необходимост от засилване на ролята на международните универсални организации. Те имат възможност да обединят действията на всички или почти всички държави, да осигурят постоянното сътрудничество между тях като се явяват една от формите на сътрудничество на глобално ниво. Тяхната дейност е едно от средствата за решаване на проблемите в областта на опазването на околната среда. В процеса на своето формиране международното право на околната среда се сблъсква с проблеми, които имат концептуален характер.

Един от главните проблеми е разработването на различни аспекти на отговорността на държавите за причинени вреди на околната среда, извън пределите на държавната юрисдикция и установяването не просто на формална хармония, а създаване на разумни взаимовръзки между суверените държави и задачите на международната защита на околната среда. Това, което природата е дала на всички, не може да бъде присвоено само от една държава. Става въпрос за международните природни ресурси, които принадлежат на всички или по-точно не принадлежат на никого, въпреки, че в международното право съществува концепция, обосноваваща “колективната собственост” на държавите, първи разработили тези природни ресурси. Съществува и друг аспект от дейността на държавите, в резултат на който се причиняват вреди на околната среда на друга държава. Особеността се заключава в това, че нанесената вреда с еднаква сила засяга както виновната държава, така и непосредствено пострадалата. В началото на XXI век са налице условия, които могат да бъдат считани за достатъчни за признаването на съществуването на нов отрасъл на международното право - а именно международното екологично право.

Имайки предвид гореизложеното можем да отбележим, че международното право на околната среда е нов отрасъл на международното право и затова отдавна възникналите обичаи и международния опит при решаването на проблемите в областта на опазването на околната среда - например в морското право, все още са недостатъчни. От една страна, създаването на международното екологично право предизвика необходимост от корелация с нормите на традиционните отрасли на международното право. От друга страна, нормите, които имат статут на специални принципи на другите отрасли на международното право, започнаха да се разглеждат като необходими и за международното право на околната среда. По такъв начин, постепенно се постигна качествено изменение на състоянието на международното екологично право. Развитието на международното екологично право в по-късен етап в сравнение с другите отрасли на международното право има определено предимство, защото това позволява едно по-критично възприемане не толкова във формирането му, колкото на неговите особености. Например определена аналогия може да се направи с международното икономическо право. Регулирайки жизнено важни отношения между държавите, то фактически не е кодифицирано и поради тази причина се сблъсква със сериозни трудности при създаване на юридически задължителните правила за държавите.

Рисувайки, учениците проявяват активно и емоционално отношение към предметите и явленията, които изобразяват. Подбират изразните средства, възбуждат се интересите и така се развиват творческите им способности. Осъществява се връзка между наука, живот и природа. Много е важна и естетическата оценка. Самооценки и разисквания се правят по време

на работа, но особено активни са при преценките си по време на изложбите. Не е достатъчно ученикът да нарисува една рисунка, той трябва да изпита удовлетворение от труда си. Това става като произведенията им се популяризират чрез участия в изложби, както и чрез сайта на училището. Изложбите на рисунки в училище предизвикват интерес не само у учениците, но и у техните родители. Идвайки в училище, те търсят по таблата рисунките на своите деца. Най-голямо удовлетворение учениците изпитват, когато на областни изложби видят своите рисунки, а наградите радват всички. Децата като фокус събират настоящето и бъдещето на човечеството и го изобразяват в най-причудливи и фантастични рисунки.

**Литература:**


1. Наука – кн.5/2003 том XII
2. K o d z h e y k o v, R., S. S t o y a n o v, A. M a n e v, D. C h e r v e n k o v, M. P h i l i p o v a. Athmosphere pollution from the industry. Sixth scientific conference with international participation. Space, ecology, safety. Sofia 2010
3. Harris International Law: Cases and Materials. St. Paul: 1987.386 p.
4. K i s s, A. S h e l t o n D. International Environmental Law. London: Translation Publishers Inc, Graham& Ltd.1994. 458p.

**Session 5**

# *Space Material Science and Nanotechnology*

Chairman: Assoc. Prof. Dimitar Teodossiev
Secretary: Chief Assistant Zdravka Karagyozova

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# POLYMER MATERIALS FOR NIR AND LASER APPLICATIONS

**Ivan Nikolov[1], Nina Sultanova[2], Stefka Kasarova[2]**

*[1]Sofia University, Faculty of Physics, Dept. of Optics and Spectroscopy*
*[2]University "Assen Zlatarov"- Bourgas, Dept. of Mathematics and Physics*
*e-mail: ivandn2@phys.uni-sofia.bg*

***Keywords:*** *Optical polymers, refractive indices, optical design*

***Abstract:*** *Polymer materials are nowadays used not only in the design of consumer but also of precise optical systems and devices. Because of molding technological process great economies are possible in the production of optical elements with complex geometric surfaces. Polymer materials exhibit also valuable optical as well as physical and mechanical properties.*

# ПОЛИМЕРНИ МАТЕРИАЛИ ЗА ИЧ И ЛАЗЕРНИ ПРИЛОЖЕНИЯ

**Иван Николов[1], Нина Султанова[2], Стефка Касърова[2]**

*[1]СУ "Св. Кл. Охридски", Физически факултет, Катедра"Оптика и спектроскопия"*
*[2]Университет „Проф. д-р Асен Златаров", Катедра „Математика и физика"*
*e-mail: ivandn2@phys.uni-sofia.bg*

***Ключови думи:*** *Оптични полимери, показатели на пречупване, проектиране на оптични системи*

***Резюме:*** *В съвременните оптични конструкции полимерните материали заемат важно място. Те се ползват не само в масовата оптика, но и за прецизни елементи със сложна геометрична форма с високо качество на образа. Причина за това са както ниската себестойност на полимерните изделия в резултат на високата производителност на технологиите, така и ценните оптични и физикомеханични свойства на полимерните материали.*

## Introduction

In this report characterization of optical and some important material parameters of polymers in the design of imaging devices is accomplished. Principal polymer materials (PMs) as well as many trade-marks of optical plastics and some development materials are investigated. Different measuring techniques are applied to obtain precise refractometric data of bulk samples and thin polymer films (TPFs) in the visible and near-infrared spectrum up to 1320 nm [1-4]. Dispersive curves in the region of normal dispersion of PMs are presented in visible (VIS) and near-infrared (NIR) regions. Influence of temperature on refraction is considered. Refractive indices (RIs) of studied PMs have been calculated at twenty laser emission wavelengths from 405 nm to 1064 nm [3]. Examples of optical design of dispersive optimized all-plastic systems intended for laser (CD/DVD) and night vision instruments are presented. Some new applications of PMs in nano-photonic moduli, laser and NIR communication networks, medical technologies, etc. are indicated.

Optical memories on CDs are the mass polymer products made from polycarbonate (PC). Plastic read/write micro-lens heads can focus laser beams into spots from 400 nm up to 100 nm. Optical PMs are used from consumer products to optoelectronic stations intended for remote imaging diagnostics of Earth's surface reflectivity. Components made of PMs operate in the optical systems of video spectrometers and helmet displays. During last decades PMs are implanted into the organic optoelectronics and nano-technological structures [4, 5].

Refractometry of optical PMs secures the measuring accuracy for estimation of their dispersive characteristics [1-8]. Optical plastics are applied in the UV (280-380 nm), VIS (380-760 nm), IR-A (760-1400 nm), and IR-B (1400-2500 nm) spectral regions. The optimal sphero-chromatic

correction of the HD digital camera objectives is limited by measured dispersive data of PMs. The production accuracy of the existing optical technology is from 1/10 to 1/20 of the wavelength, that is about 54-27 nm, during the precise lens surface micro- and nano-metrology [5-8].

**Refractometry of optical polymers**

Refractometry covers the analysis and measurements of the refractive and dispersive characteristics of different materials such as glasses, polymers, crystals, composites, solutions, transparent film structures, nano-layers, etc. [1-6]. Nano-photonics (NP) is defined as nanoscale optical science and technology [5]. NP field offers challenging opportunities for the research and development of novel nano-structural optical materials such as polymers and plastic composites [6]. Nano-metrology secures nanoscale measurements and nano-topographic inspection of the optical surfaces, integrated arrays and photonic devices [5, 8]. Polymer layers with metallic nano-clasters ranging from 1 nm up to 100 nm exhibit size-tunable electrical and optical properties that may be applied in the tomorrow's computer architectures. Some new applications of optical polymers in NIR and laser photonics devices are indicated.

We have studied optical properties of various types of plastics, including principal and some new development polymers. The principal OPs are polymethyl methacrylate (PMMA), polystyrene (PS), polycarbonate (PC), methyl methacrylate styrene copolymer (NAS), and styrene acrylonitrile (SAN). Different trade-marks of OPs as NAS-21 Novacor, CTE-Richardson, Zeonex, Optorez, Bayer, etc. and polymers produced by the American Eastman Chemical Company (ECC) are also examined.

Depending on the specifics of the application, PMs are used as bulk bodies or thin layers deposited over different substrates. Our refractometric measurements show different values of RIs in both cases for one and the same material [4]. We have used refractometric and goniometric methods to obtain extensive refractometric data of bulk samples in VIS and NIR spectral regions. In both cases the deviation angle method is used [8]. The classical Zeiss Pulfrich refractometer (PR2) with its V-type SF3 glass prism (VoF3) is used to measure RIs of bulk OPs at five emission wavelengths $\lambda$ of the spectral lamps of the device in the VIS region, namely, at green e-line 546.07 nm and blue g-line 435.83 nm (mercury lamp), yellow d-line 587.56 nm (helium source), and blue F-line 486.13 nm and red C-line 656.27 nm (hydrogen lamp).

Additional goniometric set-up with the VoF3 prism, a white lighting module (a 250 W halogen lamp and a condenser system) with interference filters with spectral bandwidths of about 7-9 nm was assembled for measuring in the entire VIS and NIR regions up to 1060 nm (Fig. 1). A G5-LOMO goniometer with an accuracy of one arc second was used with the VoF3 unit, positioned on the G5 test table. The collimated beam falls perpendicularly to the entrance surface of the prism. The angle of deviation $\gamma$ is formed by the sample located into the V-shaped block. The right-hand collimator with the attached photo detector determines the measuring angle $\alpha$. The photo detector device is assembled with the aid of a plane silicon diode, operating amplifier and indicator. Polymer specimens were produced as injection moulded plates or cubes having two fairly well polished, mutually perpendicular surfaces. An immersion emulsion with a proper RI is required to ensure the optical contact during the measurements [2]. The thermostatic housing of the VoF3 prism allowed us to maintain temperature of 20 ºC with stability of 0.2 °C.

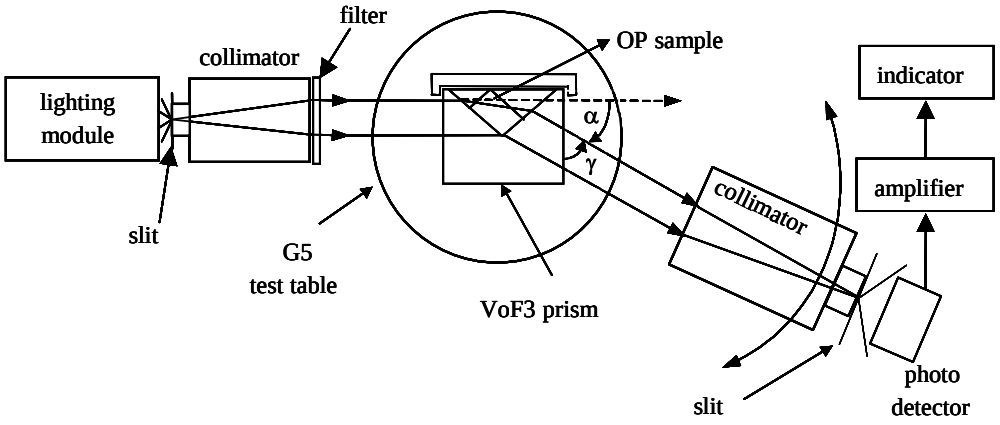



Fig. 1. Our goniometric setup for the VIS and NIR refractive measurements

In case of refractometric and goniometric measurements, the refractive index $n_\lambda$ of the examined polymer is calculated as follows:

(1) $$n_\lambda^2 = N_\lambda^2 - \cos\gamma\left(N_\lambda^2 - \cos^2\gamma\right)^{1/2}, \quad \gamma = 90^o - \alpha,$$

where $N_\lambda$ is the RI of the VoF3 prism at the illumination wavelength. This is determined by means of a modified Caushy's dispersion formula (3) and catalogue data for the SF3 glass. Refractometric and goniometric results coincide within the limits of ± $1\times10^{-3}$ for all studied PMs in the VIS region [2]. Measurements of RIs with a conventional 1 mW He-Ne laser and the goniometric set-up have been carried out [9].

Two modifications of a laser microrefractometer (LMR) were assembled to obtain RIs of TPFs. In both cases the measuring principle is based on the critical angle determination by means of the diffraction pattern disappearance [10]. Measured sample is placed between a prism made of a heavy flint glass and a chromium diffraction grating.The optical schemes of the two LMRs differ only in the illumination block [4]. Diode lasers emitting at 406, 532, 656, 790, 910 and 1320 nm, as well as a He-Ne laser (632.8 nm) have been used. It should be underlined that obtained results in case of TPFs yield surface values of RIs while refractometric and goniometric measurements present average index values of bulk polymer samples.

Analysis of RI metrology of all applied measuring techniques is accomplished in [11]. The instrumental error of the PR2 instrument is $\pm2\times10^{-5}$ but the maximal combined standard uncertainty is $\pm5.4\times10^{-5}$ because of the slight birefringence in the polymers. Laser measurements of bulk samples, carried out by means of the goniometric set-up, reveal maximal combined uncertainty of $3.65\times10^{-4}$. In case of microrefractometric measurements of TPFs, the accuracy is less, mainly because of the extra noise introduced by the multiple surface reflections in the film and the substrate. Some light scattering in the polymer medium also occurs. The standard deviation was estimated to be $\pm2\times10^{-3}$.

Results for bulk specimens are presented in Table 1 and for TPFs in Table 2. Wavelengths of the PR2 instrument are indicated as (r) while (g) represent the maxima of the interference filters of the goniometric set-up and (l) denotes laser goniometric measurements (Table 1). Obtained RIs decrease monotonically in the entire VIS and considered NIR region and indicate normal dispersion of PMs. Transmittances of the TPFs were measured in the spectral range from 400 to 2500 nm using a UV-VIS-NIR spectrophotometer Varian Carry 5E. Studied materials transmit well in the VIS and NIR regions of the spectrum [4]. Transmission spectra confirm also normal dispersion up to 1600 nm. There are some weak absorption bands between 1660 and 1700 nm which are due to the first overtone of the –CH group. Considerable transmission decrease is observed at wavelengths greater than 2200 nm where absorption of other C–H groups occurs.

Table 1. Measured RIs of bulk PMs and their Abbe numbers in VIS and NIR spectra

| PM | Refractive index | | | | | | | Abbe numbers | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 435.8 nm, (r) | 486.1 nm, (r) | 587.6 nm, (r) | 632.8 nm, (l) | 703 nm, (g) | 833 nm, (g) | 1052 nm, (g) | $\nu_d$ | $\nu_{879}$ |
| PMMA | 1.502 | 1.497 | 1.491 | 1.489 | 1.486 | 1.484 | 1.481 | 59.2 | 96.7 |
| PS | 1.617 | 1.606 | 1.592 | 1.587 | 1.582 | 1.577 | 1.572 | 29.1 | 56.4 |
| PC | 1.612 | 1.599 | 1.585 | 1.580 | 1.575 | 1.570 | 1.565 | 30.5 | 54.6 |
| SAN | 1.588 | 1.578 | 1.567 | 1.562 | 1.558 | 1.554 | 1.550 | 35.4 | 66.6 |
| CTE Richardson® | 1.602 | 1.593 | 1.580 | 1.576 | 1.571 | 1.566 | 1.562 | 32.8 | 62.8 |
| NAS-21® | 1.593 | 1.584 | 1.571 | 1.568 | 1.564 | 1.558 | 1.554 | 35.5 | 55.7 |
| S (low styrene) ® | 1.532 | 1.526 | 1.518 | 1.514 | 1.512 | 1.509 | 1.506 | 44.9 | 79.3 |
| Optorez 1330® | 1.522 | 1.516 | 1.509 | 1.507 | 1.505 | 1.503 | 1.498 | 52.0 | 71.7 |
| Zeonex E48R® | 1.543 | 1.538 | 1.531 | 1.528 | 1.526 | 1.523 | 1.520 | 56.5 | 100.5 |
| Bayer® | 1.612 | 1.600 | 1.586 | 1.581 | 1.577 | 1.571 | 1.566 | 30.0 | 54.3 |
| Cellulose[a] | 1.480 | 1.477 | 1.471 | 1.469 | 1.466 | 1.463 | 1.461 | 54.1 | 92.6 |
| Polyacrylate[a] | 1.507 | 1.500 | 1.494 | 1.492 | 1.491 | 1.489 | 1.486 | 63.3 | 97.6 |
| Styrene[a] | 1.534 | 1.527 | 1.519 | 1.516 | 1.513 | 1.510 | 1.507 | 42.9 | 84.8 |
| Polycarbonate[a] | 1.597 | 1.587 | 1.572 | 1.568 | 1.565 | 1.560 | 1.555 | 28.9 | 55.9 |
| Polystyrene[a] | 1.615 | 1.604 | 1.592 | 1.587 | 1.582 | 1.576 | 1.572 | 32.0 | 57.4 |
| Acrylic[a] | 1.502 | 1.498 | 1.492 | 1.490 | 1.488 | 1.485 | 1.483 | 57.8 | 97.0 |

[a]control samples of ECC polymers

On the base of the obtained results Abbe numbers are calculated and included in Tables 1 and 2. In VIS region $\nu_d$ is determined by measured RIs at the Fraunhofer spectral lines. Additional parameters $\nu_{879}$ and $\nu_{1010}$, fitted to the respective NIR measuring spectral range for bulk PMs and TPFs, are provided. Abbe numbers are calculated as follows:

$$(2) \qquad \nu_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C}; \quad \nu_{879} = \frac{n_{879} - 1}{n_{703} - n_{1052}}; \quad \nu_{1010} = \frac{n_{1010} - 1}{n_{700} - n_{1320}} \ .$$

Comparison among Abbe numbers of studied bulk PMs up to $\nu_d$ of about 35 (Table 1) indicate the most dispersive polymers in VIS spectrum. In NIR region all materials show lower dispersion. Acrylic polymers, Cellulose and Zeonex with their high $\nu_{879}$ are the most suitable plastics for night vision applications. They are even lower dispersive materials in NIR area than most optical glasses with similar refraction [8]. Results for TPFs show some differences compared to bulk samples for one and the same material and therefore polymer emulsions should be studied separately.

Table 2. Measured RIs of TPFs and their Abbe numbers in VIS and NIR spectra

| PM | *d* [μm] | Refractive index | | | | | | Abbe numbers | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 406 nm | 532 nm | 632.8 nm | 656 nm | 910 nm | 1320 nm | $\nu_d$ | $\nu_{1010}$ |
| Polyester | 40 | 1.513 | 1.502 | 1.496 | 1.495 | 1.489 | 1.486 | 53.8 | 62.6 |
| Polyacrylate | 6 | 1.501 | 1.490 | 1.485 | 1.484 | 1.478 | 1.476 | 55.2 | 72.4 |
| Cellulose | 9 | 1.493 | 1.473 | 1.467 | 1.466 | 1.460 | 1.457 | 40.9 | 61.2 |

We have applied a modified Caushy's formula involving six dispersion coefficients which assures calculation accuracy better than ± 0.0001 [3]:

$$(3) \qquad n_\lambda^2 = A_1 + A_2\lambda^2 + A_3/\lambda^2 + A_4/\lambda^4 + A_5/\lambda^6 + A_6/\lambda^8 \ .$$

The coefficients $A_1,\ldots, A_6$ are determined with the aid of a system consisting of six linear equations [2] on the base of measured RIs. Dispersion coefficients, curves, random RIs and Abbe numbers are calculated by our program OptiColor based on approximation (3). Dispersion charts of some of the studied PMs are presented in Fig. 2. Flatness of curves in NIR spectrum illustrates the appropriate usage of polymers in night vision applications.

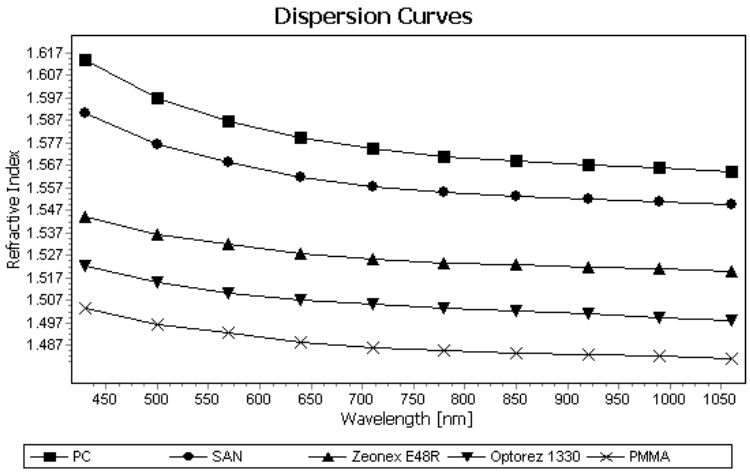



Fig. 2. Dispersion of some of studied PMs in the measuring spectral range

RIs of ten PMs at twenty laser emission wavelengths from 405 nm (GaN) to 1064 nm (Nd:YAG) are calculated by means of OptiColor program and results are presented in Table 3. The refractometric data could be useful in the design and production technology of laser optical systems. Using some new optical materials, it is possible to improve the performance and balance the production expenses.

Table 3. Refractive indices of PMs at laser emission wavelengths in the entire VIS and NIR spectra

| Lasing medium | WLs (nm) | PMMA | PS | PC | CTE | SAN | NAS-21 | S low styrene | Optorez 1330 | Zeonex E48R | Bayer |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ga N | 405 | 1.516 | 1.633 | 1.630 | 1.616 | 1.607 | 1.593 | 1.540 | 1.526 | 1.554 | 1.627 |
| Krypton | 416 | 1.509 | 1.626 | 1.621 | 1.609 | 1.598 | 1.595 | 1.536 | 1.525 | 1.549 | 1.621 |
| N2+ | 428 | 1.504 | 1.620 | 1.615 | 1.605 | 1.591 | 1.594 | 1.533 | 1.523 | 1.545 | 1.615 |
| HeCd | 442 | 1.501 | 1.615 | 1.609 | 1.601 | 1.586 | 1.592 | 1.531 | 1.521 | 1.542 | 1.610 |
| Argon | 488 | 1.497 | 1.605 | 1.599 | 1.592 | 1.578 | 1.583 | 1.526 | 1.516 | 1.538 | 1.599 |
| Argon | 514.5 | 1.496 | 1.601 | 1.595 | 1.589 | 1.575 | 1.579 | 1.524 | 1.514 | 1.536 | 1.595 |
| Nd: YAG | 532 | 1.495 | 1.599 | 1.592 | 1.587 | 1.573 | 1.577 | 1.522 | 1.513 | 1.534 | 1.592 |
| He-Ne | 543.3 | 1.494 | 1.597 | 1.590 | 1.585 | 1.572 | 1.575 | 1.521 | 1.512 | 1.534 | 1.591 |
| Krypton | 568.2 | 1.492 | 1.594 | 1.587 | 1.582 | 1.569 | 1.573 | 1.519 | 1.511 | 1.532 | 1.588 |
| Cu | 578.2 | 1.492 | 1.593 | 1.586 | 1.581 | 1.568 | 1.572 | 1.518 | 1.510 | 1.531 | 1.587 |
| He-Ne | 593.9 | 1.491 | 1.591 | 1.584 | 1.580 | 1.566 | 1.571 | 1.517 | 1.509 | 1.531 | 1.585 |
| He-Ne | 632.8 | 1.489 | 1.587 | 1.580 | 1.576 | 1.562 | 1.568 | 1.515 | 1.508 | 1.528 | 1.581 |
| Krypton | 647.1 | 1.488 | 1.586 | 1.579 | 1.575 | 1.561 | 1.567 | 1.514 | 1.507 | 1.528 | 1.580 |
| Krypton | 676.4 | 1.487 | 1.584 | 1.577 | 1.573 | 1.559 | 1.566 | 1.513 | 1.506 | 1.527 | 1.578 |
| Ruby | 694.3 | 1.487 | 1.583 | 1.575 | 1.572 | 1.558 | 1.565 | 1.512 | 1.506 | 1.526 | 1.577 |
| Krypton | 752.5 | 1.485 | 1.580 | 1.572 | 1.569 | 1.556 | 1.562 | 1.511 | 1.504 | 1.524 | 1.574 |
| GaAs | 840 | 1.484 | 1.576 | 1.569 | 1.566 | 1.554 | 1.558 | 1.509 | 1.502 | 1.523 | 1.571 |
| Nd: YAG | 940 | 1.483 | 1.574 | 1.567 | 1.564 | 1.552 | 1.555 | 1.508 | 1.501 | 1.522 | 1.568 |
| InGaAs | 980 | 1.482 | 1.573 | 1.566 | 1.563 | 1.551 | 1.555 | 1.507 | 1.500 | 1.521 | 1.568 |
| Nd: YAG | 1064 | 1.481 | 1.572 | 1.564 | 1.561 | 1.549 | 1.554 | 1.506 | 1.498 | 1.520 | 1.566 |

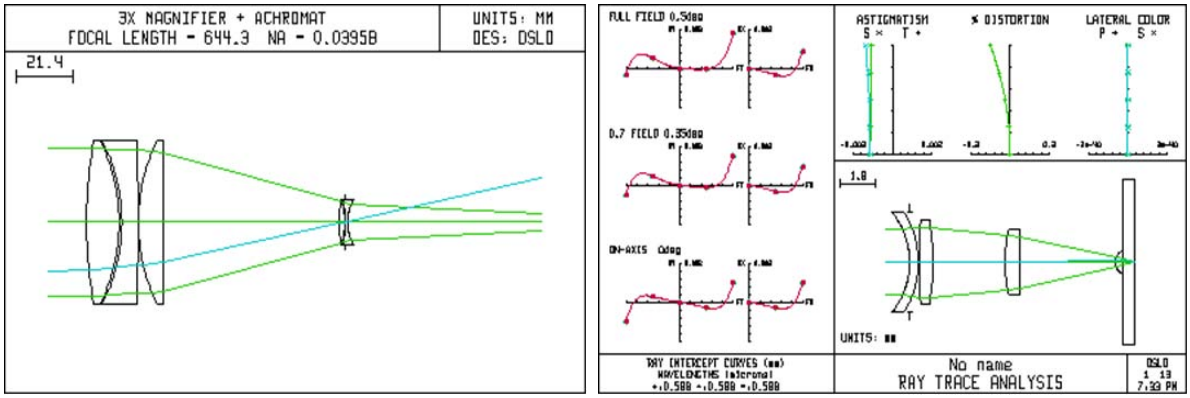
**Design of all-plastics optical systems**

Today's plastics allow for higher transmittance from the ultraviolet to the infrared region. Mechanical and thermal properties of PMs are very important for their applications too. Spectral range *SR* for several PMs, densities $\rho$, Young's elastic moduli, maximal service temperature $T_{max}$ as well as some thermal characteristics as linear thermal expansion coefficients $\alpha_T$ and temperature RI gradient $\Delta n_d/\Delta T$ are presented in Table 4. Young's tensile moduli $E_{us}$, obtained by means of our ultrasound investigations, $\rho$ and $\Delta n_d/\Delta T$ are measured results while rest of the values are based on literature data [8]. It is worth mentioning that $E_{us}$ is a dynamic modulus, given in optical catalogues, and $E$ presents the elastic modulus during static testing of the specimen. The negative thermo-optic coefficients of PMs contrast to the positive values of glasses and are with order or two higher. The thermo induced aberrations of plastic optics should be carefully considered by designers [8]. Examples for all-plastic optical design are illustrated in Fig. 3.

Table 4. Some general material characteristics of studied PMs

| PMs | *SR* nm | $\rho\times10^3$ kg/m$^3$ | $E_{us}$ GPa | $E$ GPa | $T_{max}$ °C | $\alpha_T$ $\times10^{-5}$/°C | $\Delta n_d/\Delta T$ $\times10^{-4}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PMMA | 360÷1600 | 1.187 | 4.17÷5.57 | 2.24÷3.8 | 86 | 5÷9 | –1.30 |
| PS | 380÷1600 | 1.040 | 3.69 | 2.28÷4.1 | 80 | 6÷8 | –1.31 |
| PC | 380÷1600 | 1.195 | 2.78÷3.37 | 2÷2.44 | 130 | 6.6÷7 | –1.00 |
| SAN | 360÷1600 | 1.160 | 4.30 | 3.3 | 79÷88 | 6.5÷6.7 | –1.10 |
| Optorez 1330 | 410÷? | 1.202 | 6.10 | – | 100 | 7 | –1.20 |
| Zeonex E48R | 360÷1200 | 1.007 | 3.66 | 2.50 | 123 | 6 | –1.26 |
| Bayer | 380÷1600 | 1.204 | 2.98÷3.53 | 2.40 | 130 | 6.5 | –1.20 |

Different optical systems designed from PMs are widely used in optoelectronics [8]. A magnifier applied to the channels of NIR goggles is presented in Fig. 3(a): the system is assembled from a three-lens objective (PMMA, PS, PMMA) and a two-lens eyepiece (PMMA, PS). The triplet is with back focal length 644.3 mm, numerical aperture 0.0396 and 3x magnification. The optical system is compact with low weight and therefore suitable to enhance magnification of night-vision devices. A monochromatic micro-lens having a 4.00 mm focal length and a numerical aperture of 0.40 is shown in Fig. 3(b): the four-component system, made from PMMA, has a focused spot under 0.00045 mm over the PC disk track. Geometric aberrations are calculated by means of OSLO design software and ray intercept curves are presented at wavelength of 588 nm at different field heights within the image. The all-plastic CD and DVD lenses are computed for a fixed laser emission wavelength selected from the VIS (405-752 nm) and NIR (840-980 nm) spectral ranges.




a) b)

Fig. 3. Design of all-plastic optical systems: (a) a 3x magnifier for NIR goggles; (b) a CD micro-lens

## Conclusions

Polymer materials are widely used in science and technology for night vision and laser systems, auto building, and military industry, optoelectronics, optical communications, etc. [1-4]. Some new applications of PMs are the hybrid and nano-composite structures assembled in aerospace stations, defensive systems, information networks et al. [5-8]. PMs exhibit a number of valuable optical, physical and mechanical properties [8]. We have obtained precise refractometric data of bulk samples and thin films in the VIS and NIR spectral areas up to 1320 nm. RIs of ten PMs at twenty laser wavelengths from 405 nm to 1064 nm have been computed [8, 9].

## References:


1. N i k o l o v, I. D., C. I v a n o v, Optical plastic refractive measurements in visible and near-infrared regions. *Appl. Opt.*, Vol. 39, pp. 2067-2070, 2000
2. S u l t a n o v a, N., C. I v a n o v, I. N i k o l o v, Measuring the refractometric characteristics of optical plastics. *Opt. Quant. Electron.*, Vol. 35, pp. 21-34, 2003
3. K a s a r o v a, S., N. S u l t a n o v a, C. I v a n o v, I. N i k o l o v, Analysis of the dispersion of optical plastic materials. *Opt. Mat.*, Vol. 29, Iss. 11, pp. 1481-1490, 2007
4. S u l t a n o v a, N., S. K a s a r o v a, I. N i k o l o v, Investigation of optical properties of thin polymer films. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 356, 012049, IOP Publishing, doi:10.1088/1742-6596/356/1/012049, 2012
5. N i k o l o v, I. D., Nanofocusing devices development and nano-medicine. *Current Nanoscience*, Vol. 1, pp. 211-224, 2005
6. N i k o l o v, I. D., Nanophotonics and Nanomedicine, in *Leading Edge Nanotechnology Research Developments*. Ed. Sabatini D.M., Nova Science Publishers Inc., New York, pp. 39-67, 2007.
7. K a l i m a n o v a, I., I. N i k o l o v, Light measurements, chapter 12 in Metrology and measuring techniques. Ed. Radev H, Softtreid, Sofia,Vol. 3, pp. 351-482, ISBN 978-954-334-094-1, 2012 (in Bulgarian)
8. S u l t a n o v a, N., S. K a s a r o v a, I. N i k o l o v, Refractometry of optical polymers. Assen Zlatarov University of Burgas, ISBN 978-954-8040-74-7, 2013 (in Bulgarian)
9. N i k o l o v, I., N. S u l t a n o v a, S. K a s a r o v a, Laser measurements of optical plastics. *Proc. SPIE*, Vol. 5830**,** pp. 511-515, 2005
10. S a i n o v, S, Laser microrefractometer. Review of Scientific Instruments, Vol.62, Iss. 12, pp. 3106-3107, 1991
11. S u l t a n o v a, N., S. K a s a r o v a, Refractive index metrology of optical polymers. 15th International Symposium Materials, Methods & Technologies, Journal of Int. Scientific Publications “Materials, Methods & Technologies”, ISSN 1313-2539, Vol. 7, Part 1, pp. 432-443, 2013

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ОПТИЧНИ СИСТЕМИ ЗА МИКРО- И НАНО-ФОКУСИРАНЕ НА БАЗАТА НА ОПТИЧНИ МАТЕРИАЛИ РАБОТЕЩИ В ИНФРАЧЕРВЕНИЯ ДИАПАЗОН

**Васил Кавърджиков[1], Десислава Пашкулева[1], Иван Николов[2], Михаил Чурбанов[3]**

*[1]Институт по механика – Българска академия на науките*
*[2]Физически факултет – Софийски университет „Св. Кл. Охридски"*
*[3]Институт по химия на високочистите вещества, Руска Академия на науките*
*e-mail: kavarj@imbm.bas.bg; dessip@imbm.bas.bg;*

***Ключови думи:*** Микро-оптични системи, халкогенидно стъкло, метрология на микро-лещи

***Резюме:*** *Производството на микро-оптични елементи е сложна и многопланова задача. Тя започва със синтеза на оптичния материал. Следва определянето на неговите оптико-механични характеристики. Един от основните етапи е създаването на технология за производство на микро-оптични елементи. Друг важен етап е контролът и изпитанията на готовия продукт.*

*В работата са представени резултатите от експериментите по определяне на механичните и оптични характеристики на образци от халкогенидно стъкло. Представена е също и методика за контрол на отклонението на кривината на микро-лещи произведени по съвременни технологии.*

# OPTICAL SYSTEMS FOR MICRO- AND NANO-FOCUSING ON THE BASIS OF OPTICAL MATERIALS APPLIED IN INFRARED AREA

**Vasil Kavardzhikov[1], Dessislava Pashkouleva[1], Ivan Nikolov[2], Mikhail Churbanov[3]**

*[1]Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Mechanics*
*[2]Sofia University, Faculty of Physics, Dept. of Optics and Spectroscopy*
*[3]Russian Academy of Sciences, Institute of Chemistry of High Purity Substances*
*e-mail: kavarj@imbm.bas.bg; dessip@imbm.bas.bg;*

***Keywords:*** *Micro-optical systems, chalcogenide glass, micro-lenses metrology*

***Abstract:*** *The production of micro-optical elements is complex and multilayer task. It begins with the synthesis of the optical material. Optical and mechanical properties are determined after that. One important stage is the establishment of technology for the production of micro - optical elements. Another important stage is the control and testing of the finished product.*

*The experimental results for determination of the mechanical and optical characteristics of the samples of chalcogenide glass are presented in this report. A method for control of the micro–lens curvature produced by modern technology is also included.*

## Въведение

Микрооптиката [1] е голям раздел от съвременната оптиката. Тя работи в целия оптичен спектър и обхваща, както отражателната, така и дифракционната оптика. Размерите на дискретният микро-оптичен елемент са в границите – от няколко mm до десетки nm. Микрооптиката притежава значителни предимства, като високоефективно използване на светлината, изключителна гъвкавост на оптичния дизайн, създаване на прибори с по-ниско тегло и габарити, лесно производство на елементи с голяма апертура или обхващащи голяма площ.

Методите за изготвянето на микрооптика излизат от рамките на класическите оптични технологии и включват в себе си микролитографски технологии, включително електронна литография и йонноплазмени процеси, горещо пресоване при формиране на оптичните

елементи. Лазерните технологии (аблация, модификация) също така заемат все по-широк дял в производството на микрооптични елементи. Що се отнася до влакнестата оптика, тя се основава изключително на процеси на изтегляне от стопилка или чрез екструзия. Развитието на технологиите за масово производство на микро- и нано-структури е свързано, преди всичко, със съвременното развитието на фотониката и информационните технологии. Микро-лещите са основен елемент в системите за микро-фокусиране в оптичните микро-електро-механични системи (МЕМС), в цифровите камери, лазерните принтери, фотокопирни и факс-апаратите [2-4]. Матриците от микро-лещи се използват в литографията, оптичните комуникационни системи, оптичните сензори и дисплеи, в съвременните оптични дискови устройства за запис на информация и др. [5-8].

Спектралния диапазон обхващащ дължините на вълната от 750 nm до 15 μm (инфрачервено лъчение) е от особен интересен тъй като е в основата на важни технически приложения. Оптичните елементи и системи, работещи в него са част от такива отрасли, като комуникационните и информационни технологии, системи за сигурност на базата на инфрачервеното детектиране, авангардни сензорни технологии, МЕМС, микро-флуидните системи, спектроскопия, медицинска техника и т.н. С това не се изчерпват настоящите и бъдеще области на приложения, при постоянно нарастващите изисквания към миниатюризация, бързина на действие, ниска стойност на изделието, масово и бързо настройващо се ново производство.

От многото материали за инфрачервена микрооптика за нас интерес представляват т.н. халкогенидни стъкла [9] – дву, три или четири компонентни съединения от As-S, As-Te-I, As-Te-Ge, As-Se-Te-Sb, As-Te. Този клас материали са добре изучени. Съществуват широки възможности за синтезиране и на нови 3 и 4 компонентни стъкла (GASIR™, AMTIR™). Синтезът им позволява получаването на нови материали с желани оптични и механични свойства. Основно предимство на халкогенидните стъкла в сравнение с други материали при производството на оптични микроелементи е сравнително ниската им себестойност и ниската им температура на размекване, което ги прави много подходящи при прилагането на високо ефективната технология за горещо пресоване [10].

Производството на микрооптични системи е сложна и многопланова задача. Тя започва със синтеза на оптичния материал. Следва определянето на неговите оптико-механични характеристики. Един от основните етапи е технологията за производство на микрооптични елементи. Друг важен етап е контрола и изпитанията на готовия продукт.

В института по химия на високочистите вещества към Руската Академия на Науките е разработен метод за получаване на високочисти халкогенидни стъкла и се произвеждат влакнести светодиоди от тях, с малки оптични загуби в инфрачервения диапазон. Областите на приложение на тези светодиоди са в медицинската и техническа диагностика, както и в прибори за газов контрол за екологични цели. Развитието на халкогенидните стъклени вълноводи дава възможност за интеграцията на вълноводите с оптико-електронни компоненти. Те са добра база за изграждането фотонни интегрални схеми и оптични компоненти за ИЧ-област, които ще намерят широко приложение в космическите комуникационни системи, химични и биологични оптични сензори за мониторинг на околната среда и др.

В работата са представени резултатите от експериментите по определянето на механичните и оптични характеристики на образци от халкогенидни стъкла, подготвени в Институт по химия на високочистите вещества, РАН. Механичните изпитания са направени в Института по механика, БАН, а оптичните измервания – в Института по оптични материали и технологии, БАН.

Представена е също и методика за контрола на отклонението на кривината на повърхността на сферични микро-лещи произведени по съвременни технологии като например реактивно йонно ецване [11] или горещо пресоване [10], чрез използването на атомно силов микроскоп (АСМ).

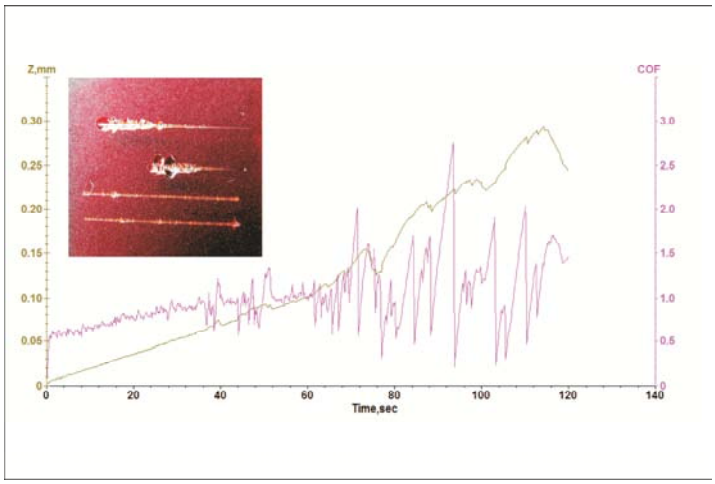
**Изследване на физико-механични и спектрални характеристики на халкогенидните стъкла за инфрачервената оптика**

Изследваните образци от халкогенидно стъкло ($As_4S_6$) са с размери: дължина и ширина съответно 12 mm и 15 mm и дебелина 3 mm.

Плътността на стъклото, от което са изрязани образците е 3,25 g/cm$^3$ при 20°C. Те бяха тествани с универсален уред за механични и трибологични изпитвания UMT-2M и уред за наноидентация UNMT в Института по механика.

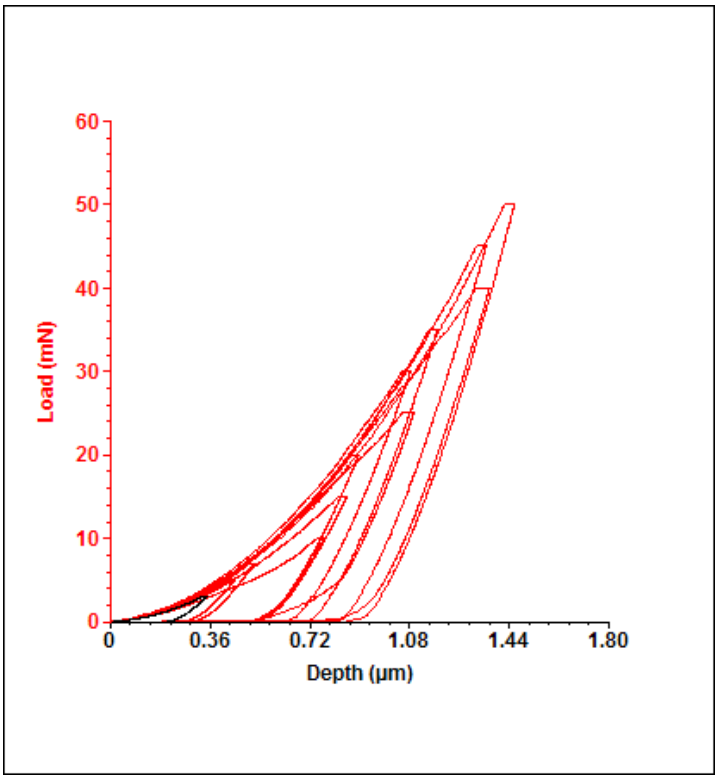
Бяха направени два теста на микро-надраскване: с постоянно (2 N) и с линейно нарастване на натоварването (0 – 4 N). Измерени бяха силата на триене $F_x$, нормалното

натоварване $F_z$ и дълбочината z. На фиг. 1 са показани изследваните образци и изчисленият коефициент на триене чрез:




Фиг. 1. Тест на микро-надраскване с линейно нарастване на натоварване до 4 N

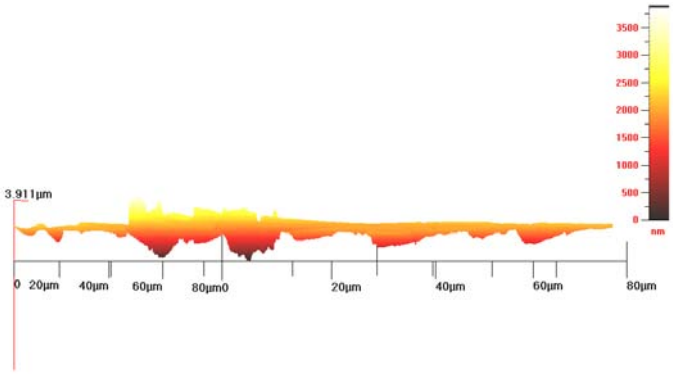
За определяне на механичните характеристики и модул на Юнг бе изпълнен тест на наноидентация чрез използване на Беркович тип индентор. Записаните по време на идентацията криви натоварване-дълбочина на проникване са представени на фиг. 2.




Фиг. 2. Наноидентация с натоварване до 50 mN

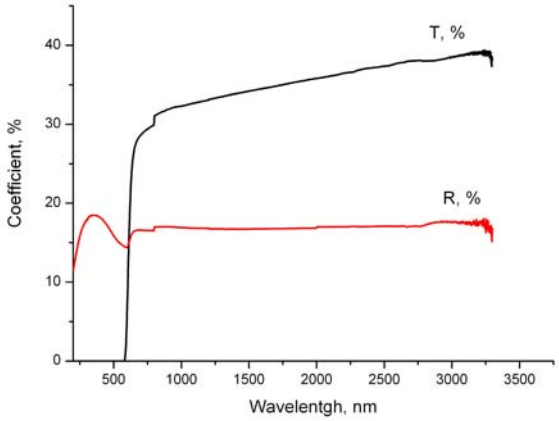
След това чрез метода на Оливър-Фар [12] са изчислени модула на еластичност и твърдостта от кривата на разтоварване, чрез определяне на контактната област. Изследваното халкогенидно стъкло има модул на Юнг 17,55 GPa и твърдост 1,48 GPa.

Веднага след идентациите отпечатъка се визуализира и охарактеризира чрез АСМ. С този уред бе измерена и грапавостта на материала преди идентацията (фиг. 3). Вижда се, че от гледна точка на изпитването за качеството на микрооптичните елементи, тези образци нямат необходимата гладка повърхност.




Фиг. 3. Блокова схема на контрол

На фиг. 4 са представени резултатите, получени при изследваните образци от халкогенидно стъкло. Коефициентите на пропускане T и отражение R стъкло са измерени в спектралния диапазон от 400 до 3500 nm със спектрофотометър Cary 5E. Графиките, представени на фиг. 4, илюстрират добрата прозрачност на халкогенидното стъкло за инфрачервената част от спектъра. Наблюдаваната трансмисия е над 30% до 3250 nm.



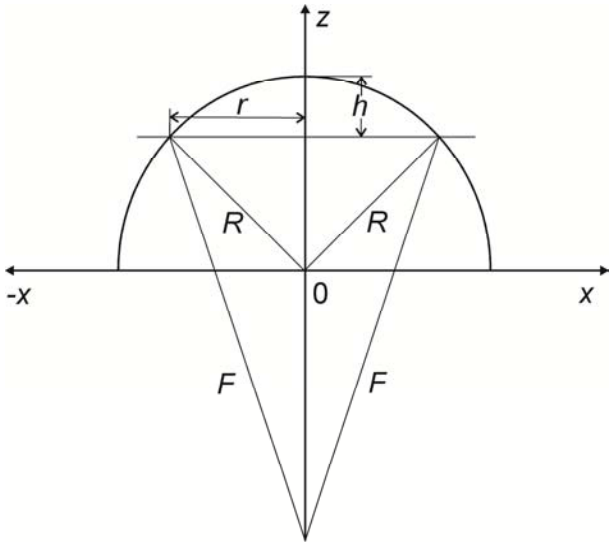

Фиг. 4. Криви на отражение и пропускане на халкогенидното стъкло

**Технология за метрологичен контрол на радиуса на повърхността на микролещи**

Лазерният микроинтерферометър, работещ на принципа на Twyman-Green, е подходящ за измерване и контрол на топологията и качеството на оптични повърхности на сферични микро-лещи, които имат диаметър по-малък от 800 μm [13]. В много съвременни прибори се използват микро-лещи с диаметри под 10 μm. Поради това се разработват и прилагат нано-оптични технологии за контрол на профила на радиуса на кривината на такива микро-лещи. Една от тези техники използва АСМ. като средство за измерване [14]. При нея, чрез сканиране на повърхността на лещата с АСМ, се измерва нейната кривина. Профилът в няколко нейни сечения се сравнява с най-близкия профил на теоретична крива, генерирана в среда на „Матлаб”. В случая на сферична леща (фиг. 5), зависимостта на кривината на едно централно сечение на лещата, описана с параметъра *z*, от радиуса *R* на полусфера, сегмент от която е лещата, височината на лещата *h*, радиуса на лещата *r* и текущата координата *x* са представени с уравнението

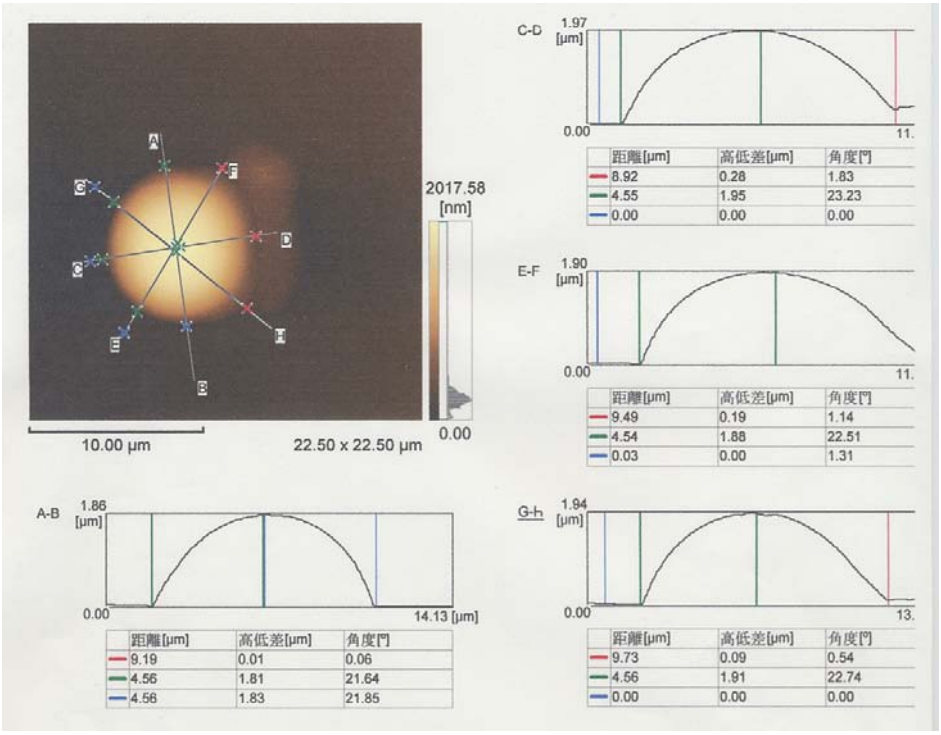
(1) $$z = \sqrt{R^2 - x^2} - \left(R - h\right), \qquad \text{при } x \in \left[-r, r\right]$$

Векторът $\vec{h}$ е насочен по оста *z* и $h = \left|\vec{h}\right|$.



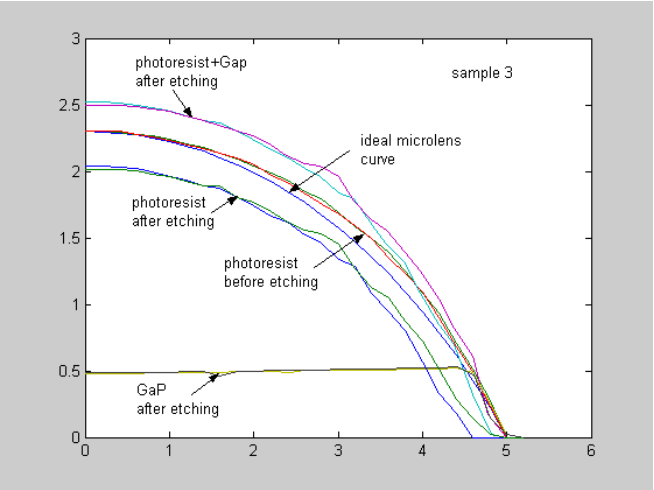

Фиг. 5. 2D представяне на кривината на сферична микролеща

На фиг. 6 са представени изображения на сферична микролеща с радиус $r$ = 6 μm и максимална височина $h$ = 2 μm, получено с АСМ и профила на четири нейни централни сечения. Тази леща е една от матрицата с микролещи, създадена чрез фото-резистна технология описана в [15], върху повърхността на субстрат от GaP, преди „пренасянето" им върху оптичния материал чрез реактивно йонно ецване.




Фиг. 6. Графично представяне на изображението на сферична микролеща

По формула (1) чрез „Матлаб" е генерирана кривата показана на фиг. 5 със зададените параметри $r$ и $h$. Резултатът от сравнението е показан на фиг. 7. Вижда се, че за тази микролеща има отклонения на получения от зададения сферичен профил.




Фиг. 7. Метрологичен контрол на микро-леща чрез АСМ

**Заключение**

Изпълнените експерименти за определяне на оптико-механичните характеристики на приготвените в РАН образци от халкогенидни стъкла, дават информация нужна за учените и технолозите, които ги създават, при оптимизирането на техните свойства и качества в зависимост от технологиите за производство на оптични елементи и системи и от изискванията за техните приложения.

Представената методика за контрол на кривината на микро-лещи чрез АСМ е създадена и тествана при лещи с диаметри от 10 μm до 250 μm, произведени по технологията на реактивно йонно ецване от GaP в процеса на разработка на терабитова оптична памет, с участието на авторите, която приключи неотдавна. Тази методика може да се приложи и за контрола на микро-лещи с различни профили и с по-големи диаметри, произведени от халкогенидни стъкла чрез горещо пресоване, за нуждите на съвременната фотоника. Освен АСМ, като измерителен уред при микро-лещите с по-големи размери, може да се използва и друг уред, работещ на принципа на сканиране като напр. лазерния конфокален микроскоп.

**Литература:**

1. H e r z i g, H. P. Micro-Optics: Elements, Systems and Applications. CRC Press. 1997
2. G a d – e l – H a k, M. MEMS:Design and Fabrication. CRC Press. 2010
3. J a v I d I, B., F. O k a n o. Three-Dimensional television, video and display technologies. Springer. 2002
4. K a w a I, S. Handbook of optical interconnects. Taylor&Francis Group. 2005
5. V o l k e l, R., H. P. H e r z i g, P. N u s s b a u m, R. D a n d l i k e r, W. B. H u g l e. Microlens array imaging system for photolithography. *Opt. Eng.,* Vol. 38, pp. 870-878, 1999
6. P r a t h e r, D. Design and application of subwavelength diffractive lenses for integration with infrared photodetectors. *Opt. Eng.,* Vol. 35, pp. 3323-3330, 1996
7. D e q i n g, R., G. D a l t o n, R. S h a r p l e s, J. R. A l l i n g t o n – S m i t h, G. N. D o d s w o r t h , D. J. R o b e r t s o n. Design and construction of a fiber bundle connector using microlenses. *Opt. Eng.,* Vol. 40, pp. 2709-2717, 2001
8. US patent 6084848 Two-dimensional near-field optical memory head, Goto K. Tokyo, Japan 2000
9. Б о р и с о в а, З. У. Халькогенидные полупроводниковые стекла. Ленингр. ун-та изд. 1983
10. W o r g u l l, M. Hot Embossing: Theory and Technology of Microreplication. William Andrew Publ. 2009
11. C o b u r n, J. W. Plasma etching and reactive ion etching. American Institute of Physics Publ. 1982
12. F I s c h e r – C r I p p s, A. Nanoindentation. Springer. 2011
13. S e v e r i, M., P. M o t t i e r. Etching selectivity control during resist pattern transfer into silica for the fabrication of microlenses with reduced spherical aberration. *Opt. Eng.,* Vol. 38, pp. 146-150, 1
14. K a v a r d j I k o v, V., K. G o t o, I. N I k o l o v, D. P a s h k o u l e v a. Optimization of a micro-lens fabrication technology, Nanoscience&Nanotechnology: Nanostructured materials and innovation transfer, Issue 6, Heron Press, Sofia, pp. 253-255, 2006
15. K u r I h a r a, K., I. D. N i k o l o v, S. M i t s u g i, K. N a n r i, K. G o t o. Design and Fabrication of Microlens Array for Near-Field Vertical Cavity Surface Emitting Laser Parallel Optical Head. *Optical Review*, Vol. 10**,** pp. 89-95, 2003

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ФИЗИКО-МЕХАНИЧНИ СВОЙСТВА НА ОБРАЗЦИ ОТ ТИТАНОВА КЕРАМИКА ПОКРИТИ СЪС СТЪКЛОВЪГЛЕРОД ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ В МЕДИЦИНАТА

**Анна Петрова, Силвия Симеонова, Тинка Грозданова**

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

***Ключови думи:*** *Биокерамика, ендопротези, стъкловъглерод.*

***Резюме:*** *При имплантирането на различни стави в човешкото тяло, като най-целесъобразен е установен модулния принцип за изграждане на ставните протези, позволяващ вариации във вида на използвания материал за отделните компоненти на феморално-ацетабуларната става. Това позволява избор на оптимална комбинация от материали за артикулиращите повърхнини на импланта съобразно специфичните данни на пациента. За изработване на различни видове протези се използват както метални (стоманени и титанови) сплави, така и различни видове керамики. Биоинертните керамики са нетоксични и не предизвикват алергии. Това обеснява голямото им приложение като материали за ортодонни и ставни импланти.*

*В настоящата работа са изследвани образци от титанова керамика (титанов диоксид и добавки), направени по проект 02-234/17.12.2008 с НФНИ при МОМН.*

*Анализирани са микро и макроструктурата - повърхност, среден размер на частиците, еластичност, микротвърдост по Викерс, Кнууп и NanoScan за образци, на основата на която са изработени ставни импланти за бъдещо медицинско приложение. Получените резултати са сравнени с характеристиките на други, известни в литературата материали, използвани за различни видове импланти в човешкия организъм.*

# PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF GLASS CARBON COATINGS ON THE TITANIUM CERAMICS FOR MEDICAL APPLICATION

**Anna Petrova, Silvia Simeonova, Tinka Grozdanova**

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

***Keywords:*** *Bio-ceramics, orthopedic implants, glass carbon coating.*

***Abstract****: Upon implantation of different joints in the human body, the modular construction principle of the joint prosthesis is most appropriate. This allows optimum combination of materials for the articulating surfaces of the implant according to the patient's specifics. The metal (steel or titanium) alloys are materials used in manufacture of orthopedic and dental implants for humans. The bio-ceramic materials were used initially as alternative of the metal implants. Bio-inert ceramics are non-toxic, non-allergenic and non-carcinogenic materials which explains why these are frequently used as orthopedic and dental implants.*

*The research carries studies on micro/nanostructural properties of samples, examined in Ministry of Education Project 02-234/17.12.2008.*

*Optical microscopy and digital camera were used for the purposes of researching the microhardness, microstructures and for identification of flaws and defects. The nanostructure was studied with NanoScan microscope. The results correspond well to those known in the literature.*

## Въведение

През последните години ендопротезирането е рутинна интервенция при артрозни промени особенно в долните крайници, което преди време предизвикваше трайна инвалидизация. Нарасналият брой успешни ортопедични операции за поставяне на феморално-ацетабуларни импланти поставя на първо място въпроса за дълготрайната им употреба. Изследванията на износването на контактните повърхнини на тазобедрените протези

показват, че наред с механичните и трибологични свойства на материалите, един от основните фактори, влияещи върху износването на имплантите, е геометричната точност на импланта - отклонението от сферичност и микротопографията на артикулиращата повърхнина.

Изкуствената става се причислява към групата на медицинските импланти и се нарича още ендопротеза. "Ендо" означава "вътрешен", т.е. ендопротезата е изкуствена част, която замества увреден и неспособен да изпълнява нормалната си функция орган или част на тялото, в случая ставата. Ендопротезата се имплантира дълбоко между мускулите, на мястото на естествената тазобедрена става.

Паралелно на металните сплави (титанова, кобалто-хромова сплав и др.) от 1970 г. започва използването и на керамични материали за изработване на сферичните глави за пълни или частични феморално-ацетабуларни импланти. Като алтернатива на металните сплави се създават различни керамични материали като $Al_2O_3$ (aluma), $ZrO_2$ (zirconia), хибридни алумино-циркониеви керамики и др. Една от възможностите за подобряване на качеството и дълготрайността на керамичните, ставните протези е нанасянето на покрития върху артикулиращата повърхност на феморалната глава с цел, подобряване на трибологичните свойства на главата.

Основна цел на настоящите изследвания са подобряване качеството на феморалните глави за ставни протези, чрез разработването на нови материали и покрития на артикулиращите им повърхнини.

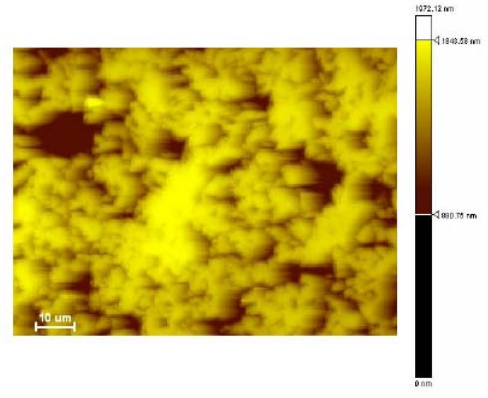
Представените резултати са следствие от съвместната работа на научни групи от Техническия Университет в София и институтите на БАН – ИКИТ, ИМСТЦХ и ИОХЦФ.

Един от керамичните материали, разработван за целите на ендопротезирането е създадената от колектива оригинална, нова, композиционна керамика, на основата на $Al_2O_3$–$CaTiO_3$. За подобряване на характеристиките на феморално-ацетабуларни, ставни импланти върху артикулиращите повърхнини на сферичните феморални глави се нанася стъкло-въглеродно покритие.

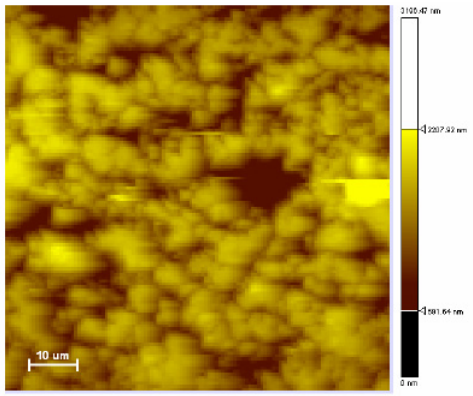
**Експерименти и резултати**

Първаначално са изработени плоски образци – еталонни и пробни (титанов диоксит и добавки), а по-късно на основата от техните характеристики са изготвини прототипи на сферични глави за ендопротези. Изследвани са физико-механичните свойства на пробните в сравнение с еталонните образци.

На Фигура 1 и Фигура 2 са показани микроструктурата на образците със сканиращ микроскоп NanoScan, работещ на въздух. Главната особеност на NanoScan е използването на биморфна, пиезорезонансна сонда, която сканира повърхността на образеца в контактен режим.




Фигура 1. Микроструктура на еталонен образец




Фигура 2. Микроструктура на пробен образец

В Таблица 1 и Таблица 2 са представени измерената еластичност E и твърдост H на същите образци. Получените стойности и точността на измерванията се смята автоматично от програмата на микроскопа.

Rms = 200 ± 15 nm

| Дълбочина, nm | Натоварване, mN | E, GPa | H, GPa |
|---|---|---|---|
| 385 (6 %) | 50 | 238 (9 %) | 16,5 (11 %) |
| 608 (3 %) | 100 | 156 (9 %) | 16,3 (5 %) |

Таблица 1. Параметри на еталонен образец

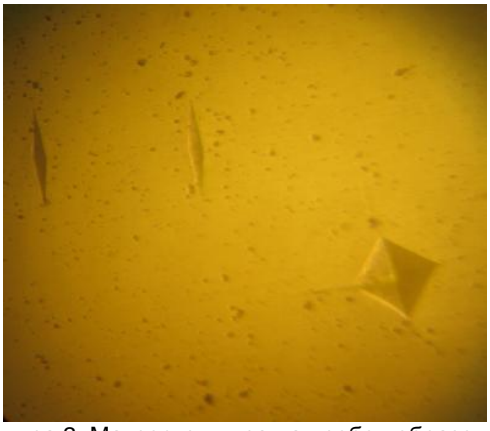
Rms = 260 ±20 nm

| Дълбочина, nm | Натоварване, mN | E, GPa | H, GPa |
|---|---|---|---|
| 750 (9 %) | 50 | 185 (17 %) | 4,1 (18 %) |
| 865 (10 %) | 100 | 230 (19 %) | 6,7 (19 %) |

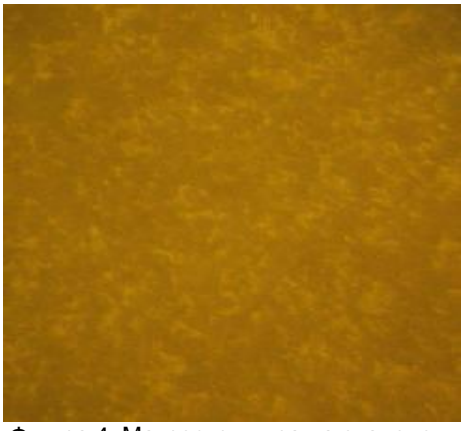
Таблица 2. Параметри на пробен образец

На Фигура 3 и Фигура 4 е показана макроструктурата, наблюдавана с металографски микроскоп Neophot 32, доокомплектован с дигитална камера ProgRes C14 JENOPTIK.

За определяне на микротвърдостта е използвана пирамидата на Викерс (четиристенна пирамида с квадратна основа) и пирамидата на Кнууп (удължена пирамида), които се виждат на Фигура 3. По Кнууп измерената твърдост е 1000kg/mm$^2$ и 1050kg/mm$^2$.



Фигура 3. Макроструктура на пробен образец. Кнууп и Викерс отпечатъци



Фигура 4. Макроструктура на еталонен образец

Пробните образци са с голяма степен на пористост, поради което не може да се измери микротвърдостта. Предполагаме непълна хомогенизация на изходните смеси, дължаща се на различната големина на частиците им.

Направата на нови пробни образци с други състави и режими доведе до същите резултати – голяма пористост, крехкост и чупливост. Това наложи създаването на нова, композиционна биокерамика с използването на наноразмерни, въглеводородни добавки и разработване на технология за покриване и уплътняване със слой от стъкловъглерод на детайли от тази керамика.

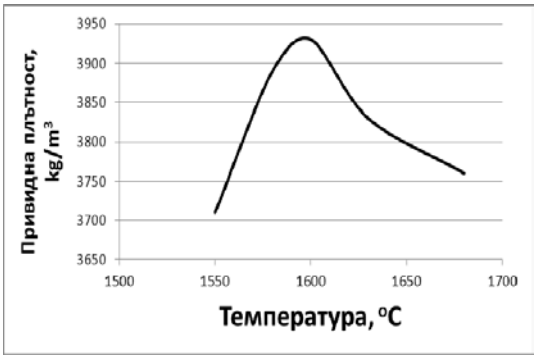
Основните проблеми при материалите, използвани в ендопротезирането, са свързани с тяхната биосъвместимост, съчетана с висока износоустойчивост и нисък коефициент на триене. Изследванията на физико-механичните свойства на имплантите се правят с цел, подобряването им за постигане на голяма дълготрайност на използването им в човешкото тяло – повече от 10-15 години.

На основата на резултатите от първия етап на проекта, е разработена технология за получаване и приложение на композиционен, керамичен материал на базата на $Al_2O_3$–$CaTiO_3$, импрегниран и покрит с наноразмерен слой стъкловъглерод.

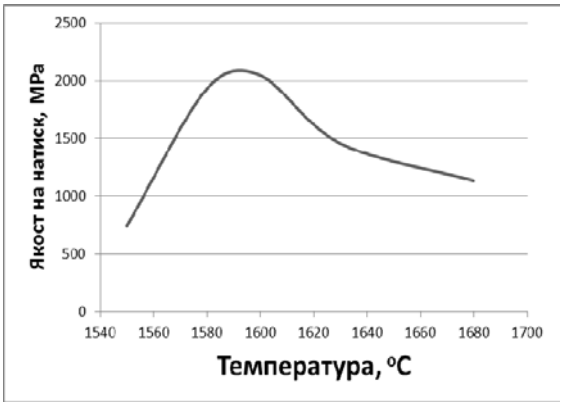
Основната идея при провеждане на изследванията през втория етап на проекта е свързана с използването на керамичен композит, който съчетава добрите, механични качества с възможността да изгражда междинни, карбидни слоеве, служещи за връзка между основата и отлагания, върху повърхността слой от стъкловъглерод.

$CaTiO_3$ се добавя към микронния $Al_2O_3$ прах в количество 3, 6 and 9 тегловни %. Образците се изготвят чрез пресоване и спичане при различни температури. Определят се фазовия състав, привидната плътност, якостта на натиск и огъване в зависимост от температурата на спичане. Анализът на резултатите показва, че 3 % е максималното количество от калциев титанат, което трябва да се добавя като спичаща добавка. Прецизирана

е и температурата на спичане (Фигура 5). Максималната плътност 3930 кг/м$^3$ се постигна при 1600$^o$C.




Фигура 5. Привидна плътност на проби, съдържащи 3 тегл. % $CaTiO_3$, спечени при различни температури

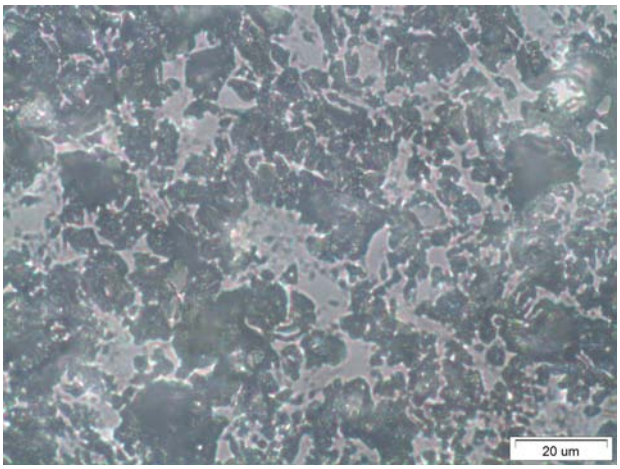



Фигура 6. Якост на натиск на проби, съдържащи 3 тегл. % $CaTiO_3$, спечени при различни температури

Подобна зависимост е получена и при определяне якостта на натиск в зависимост от температурата на спичане (Фигура 6).

За подобряване на механичните и трибологични качества, а също така и на биологичната съвместимост на керамичните глави за ендопротези, върху серия от прототипи, изготвени от разработения, нов, керамичен материал на основата на $Al_2O_3$–$CaTiO_3$ [1], се прилага процедура, състояща се от последователно редуващи се цикли на обработка с въглеводородни разтвори (CnHn)n, с цел уплътняване и покриване със стъклообразен въглерод. Отлагането на стъкловъглерод се повтаря неколкократно, до получаване на необходимата дебелина на нанослоя и респективно достигане на желания клас на грапавост на работните повърхности. Тази технологична схема е проверена и приложена върху няколко вида керамични, композиционни състави. [2].

С цел подобряване адхезията на стъкловъглеродния слой към керамичния субстрат, керамичните глави се подлагат на термообработка в инертна среда до температури 1350–1400°C, при което се постига увеличаване стойността на модулана Юнг на главите. За целта се прилага следния темпаратурен режим: покачване на температурата със скорост 10°C/min до достигане на 1350–1400°C, задържане при тази температура за 60 min, последващо контролирано охлаждане до 1000°C със скорост 10°C/min в инертна среда и изстиване на главите заедно с пещта до стайна температура. При тази термообработка се образува титанов карбид. На Фигура 7 е представена металографска снимка, направена с оптичен микроскоп OLIMPUS на синтерован, керамичен материал с компоненти $Al_2O_3$ и $CaTiO_3$. Керамичният образец е покрит с въглероден слой за по-добра плътност и биосъвместимост. Ясно се вижда разпределението на бялата фаза ($Al_2O_3$) на фона на черната матрица, която увеличава площта си при навъглеродяване - постига се ефект на уплътняване.




Фигура 7. Керамичен материал с компоненти $Al_2O_3$ и $CaTiO_3$, покрит със стъкловъглерод

Обработените глави се подлагат на ръчно механично полиране на работната повърхност с диамантена паста с едрина до 1 μm. Химическите остатъци от главите се почистват в утразвукова вана с трихлоретилен, а след това с чист спирт и се изсушават на въздух.



Фигура 8. Непокрита глава



Фигура 9. Покрита глава

Изработена е серия от прототипи на глави (Фигура 8) за ендопротези от новия композиционен керамичен материал, покрити със стъкловъглерод (Фигура 9), които са подложени на серия от измервания на техните геометрични параметри и гладкостта на работните им повърхности. За всяка глава се изготвя паспорт, съдържащ основни, механични характеристики. Контролът върху класа на грапавост на обработваните керамични глави за ендопротези на различни етапи от прилагане на процедурата по уплътняване и покриване със стъкловъглерод, е извършен в стандартизирана лаборатория в ТУ-София, с уред за измерване на грапавост TESA RUGOSURF 10G [3]. Микротвърдостта и модула на Юнг са измерени в лаборатория ОЛЕМ на Института по механика при БАН, с прибор UNMT: Nano Indentation & Integrated Imaging, AFM, 3D profilometer, optical microscope (*CETR-USA*) [4]. За изследване промяната в модула на Юнг, в процеса на избраната от нас и описана по-горе технологична схема, са изследвани плоски образци, изготвени от $Al_2O_3$-$CaTiO_3$ субстрат, преди и след подлагане на уплътняване и покриване със стъкловъглерод. Резултатите от измерванията на два образеца – без покритие и със покритие, са показани в Таблица 3.

Таблица 3. Резултати за твърдост и модул на Юнг

| Проба | H, GPa | E, GPa |
|---|---|---|
| Непокрит образец | 10,936±0,235 | 147,249±8,019 |
| Покрит образец | 9,444±0,307 | 266,631±7,641 |

Изработването на прототипните глави за ендопротези се реализира технически в производствената база на фирма “Етропал ЕАД” гр. Етрополе.

**Заключение**

Разработена и проверена практически е технологична схема за изработването на глави за ендопротези от оригинална нова композиционна керамика. Разработена е технология за покриване на керамичните глави за ендопротези със стъкловъглерод, в резултат на което съществено се подобрява гладкостта на работните повърхности и се удовлетворяват изискванията на стандартите ISO 4287, ISO 21534:2007 и ISO 7206-2:1996. Повишават се механичните свойства на артикулиращити повърхности и здравината на връзката на стъкловъглеродния слой към керамичната основа. Керамичните съединения притежават по-добри показатели в сравниние с металните сплави, използвани за изработване на ендопротези поради сходство си с костните минерали.

**Литература:**


1. T e o d o s i e v, D., V. P e t k o v, R. V a l o v, J. G e o r g i e v, M. S e l e c k a, S. S t e f a n o v and P. T z v e t k o v,. Composite Material on $Al_2O_3$ Basis Coated With Vitreous Carbon for Medical Needs, Powder Metallurgy Progress, vol. 11 (2011), No3–4, 326-329.
2. J o r d a n o v a, M., D. T e o d o s i e v and J. G e o r g i e v, Composite ceramic materials based on vitreous carbon as transplantation materials in the human organism – Obtaining and structure, Acta morphologica et antropologica, vol. 6, 2001, pp. 64-69.
3. TESA RUGOSURF 10G Surface roughness gage metrology_surface_rough.pdf (05.06.2012), http://www.swissinstruments.com/ downloads /
4. http://www.imbm.bas.bg/index.php/bg_BG/olem

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ИЗСЛЕДВАНИЯ НА МЕХАНИЧНИТЕ СВОЙСТВА НА ДИСПЕРСНОУЯКЧЕНА АЛУМИНИЕВА СПЛАВ, ПРЕДНАЗНАЧЕНА ЗА ОТКРИТИЯ КОСМОС

**Анна Бузекова – Пенкова**

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

***Ключови думи:*** *алуминиеви сплави, ултрадисперсен диамантен прах*

**Резюме:** *Композиционните материали са материалите на бъдещето.Изискванията към тях за космически приложения стават все по-големи и са предмет на разработки от различни международни научно-изследователски екипи. Това доведе до създаването на нов материал в нашето направление. Това е материал на алуминиева основа, количествена прибавка на ултрадисперсен диамантен прах /УДДП/ и волфрам /W/. Изследването на този материал в условията на открития космос се предхожда от предварителни изследвания, като част от механичните изследвания представяме тук.*

# RESEARCH ON MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINIUM DISPERSION STRENGTHENED ALLOY FOR OUTER SPACE

**Anna Bouzekova – Penkova**

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

***Keywords:*** *Aluminum alloys, ultradispersed diamond powder*

***Abstract:*** *Composite materials are materials the future . Requirements them for space applications are becoming larger and are subject to the development of various international research teams. This led to the creation of new material in our direction. This is the material of the aluminum base, the amount added ultradisperse diamond dust / UDDP / and tungsten / W /. The study of this material in terms of open space is preceded by preliminary studies as part of the mechanical tests presented here.*

## Въведение

Бързото развитие на човечеството, в частност технологийте, изискванията към сплавите стават все по-големи. Едно от условията е те да са леки, твърди и устойчиви. Поради тази причина стремежът ни е получаването на нов композиционен материал на базата на AL (алуминий), който е лек, но същевременно да бъде и с висока твърдост, висока плътност и топлинна устойчивост, особено перспективен за нуждите на космическата техника.

За космически приложения от съвременните композити се изисква да работят в екстремални условия и да притежават редица специфични физико-механични показатели. Ето защо изследването на този материал в условията на открития космос се предхожда от предварителни изследвания, а по следващите резултати ще са от значение за влиянието на открития космос върху композита. Идейният проект се реализира в сътрудничество с водеща космическа държава - Руския модул на Международната Космическа Станция (МКС), в което разделение, колективът участва активно с блок ДП-ПМ, като част от експеримента ОБСТАНОВКА.

Изходната сплав е В95, количествена прибавка на ултрадисперсен диамантен прах /УДДП/ и волфрам /W/.

Начина за получаване на ултрадисперсния прах е разработен и получен по взревен път в нашето направление.[2,3,4]

С появата на взривно получени диаманти, в т.ч. ултрадисперсни, който са твърде евтина суровина, възниква възможност за използването им като уякчаващи частици. Процентната добавка е уточнена в резултат на собствени изследвания в нашето направление за УДДП- в рамките на договор 412/87 от МОНТ и за W от експеримент "ВОАЛ" от програма на втория космонавт.(1,2,3)

Оценката на ефекта на уякчаване с помощта на съотношенията на Аксел и Ленел показват, че легирането с частици на УДДП дава резултат още при малки концентрации, като с увеличаване на съдържанието на диамант твърдостта се увеличава.

Твърдостта за изходната сплав В95 без УДДП е около 50-60 HRB.

Бяха проведени изпитания по Vickers и Brinell на Твърдомер ТР 5006 показан на фигура 1 за изходната сплав. Като преди закалка на сплавта, твърдостта по Brinell HRB е от порядака на HRB=60÷71.5, а след високочестотна закалка се достигат следните резултати:

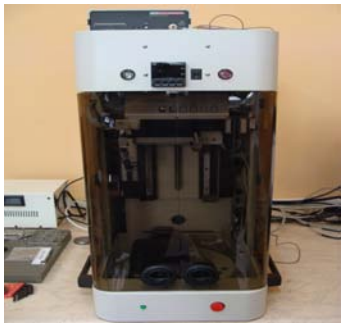
HRB ≈ 87 по Rockwell /при натоварване 98.07 N/

HV ≈ 238 по Vickers /при натоварване 98.07 N/



Фигура 1

По нататашните изследвания са свързани с микроиндентация. Теста с микроиндентация предоставя данни за микротвърдостта на материала по Vickers и еластичен модул на Юнг.



Фигура 2

На фигура 2 е показан Nanoindentor UMT-2 на Bruker които е универсален апарат за механични и трибологични изпитания (CETR-USA) . Апарата работи в съответствие с международните стандарти ISO, ASTM и DIN.

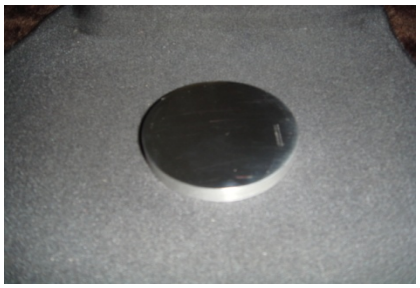
Данните за изчислените по Oliver-Pharr метод характеристики за твърдост и модул на Юнг са получени от кривите „натоварване-дълбочина на индентацията" (Load-Depth Curves). Кривите описват точното протичане на теста – индентиране посредством Vickers индентор до достигане на зададеното предварително натоварване, задържане на това натоварване върху пробата до 15 секунди, разтоварване до 10% от зададеното натоварване, задържане на 10% от зададеното натоварване до 15 секунди и накрая отпускане със същата скорост както същинското индентиране до излизане от повърхността на пробата. Следва преместване на

индентора на 1 мм отстояние и повтаряне на процедурата. Точните условия на извършения експеримент са:

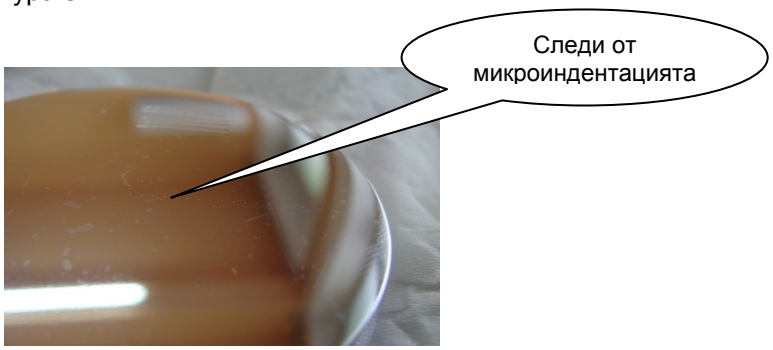
| | |
|---|---|
| Индентор | – Vickers ; |
| Време за проникване | – 40 сек; |
| Време за задържане при максимално натоварване | – 15 сек; |
| Време за разтоварване до 10% от максималното натоварване | – 40 сек; |
| Време за задържане при 10% от максималното натоварване | – 15 сек; |
| Време за отдръпване | – 20 сек. |

Спрямо изискванията за провеждане на този вид изпитания, оразеца беше предварително изрязан на струг с размер d=50.6 mm. След това беше шлифован на шлифовачни машини Metasinex – ROW RATHENOW с шкурки от 600 до 2000 и последващо полиране на MULTIPOL 2-precision polishing machine с полираща паста, до получаване на напълно гладка, огледална повърхност.

Образеца е показан на фигура 3.

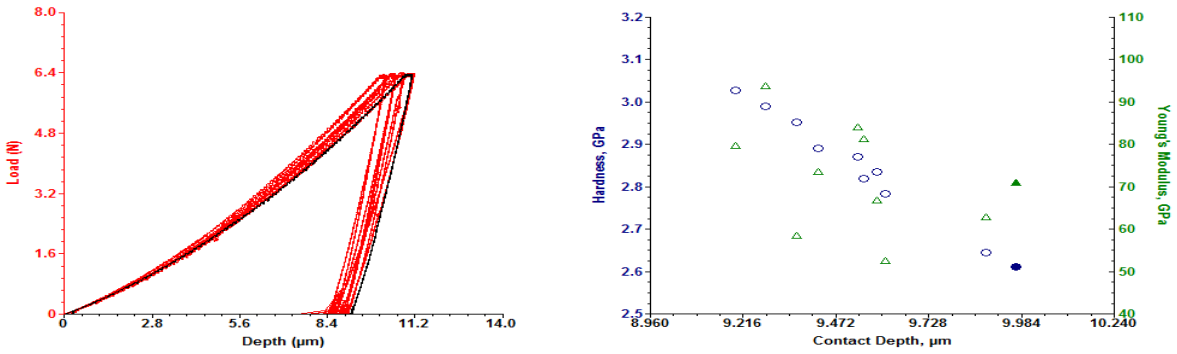


Фигура 3




Фигура 4

Резултати от изследването




Графика 1. Експериментални графики. Отляво – кривите „натоварване-дълбочина на индентацията" (Load-Depth Curves). Отдясно – резултатна графика с изчислени за всяка индентация твърдост и модул на Юнг

На образеца са направени 10 броя индентации като крайните резултати за твърдост и модул на Юнг са определени чрез статистическа обработка на данните. Изчисленията са направени при коефициент на Поасон – 0.33. Резултатите са представени в Таблица 1.

Таблица 1. Резултати за твърдост и модул на Юнг

| Max loading – 7N | Hardness (GPa) | Standard Deviation(GPa) | Young's modulus (GPa) | Standard Deviation(GPa) |
|---|---|---|---|---|
| AlB95+W+Diamond Nanoparticles | 2.842 | 0.137 | 72.328 | 12.612 |

От получените резултатти се вижда, че микротвърдосттта е приблизително 6 пъти по-голяма.

На споменатия по-горе апарат беше направен и тест за устойчивост при надраскване, които ни предоставя данни за коефициента на триене по Rockwell и степента на проникване в обема на материала.

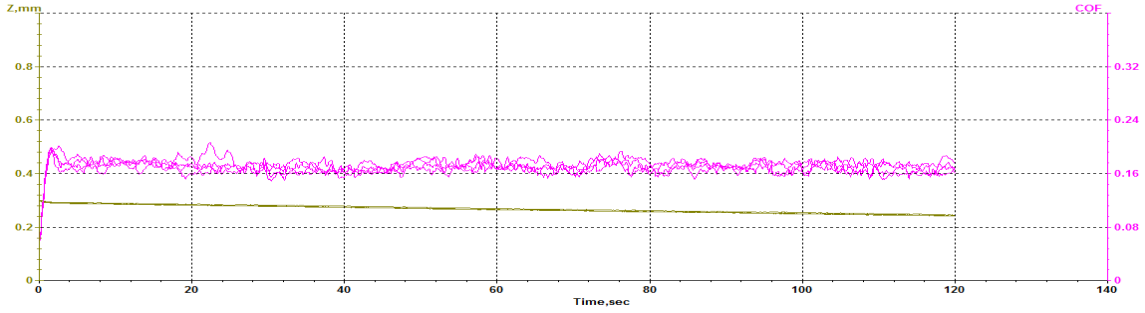
Теста за устойчивост при надраскване предоставя данни за коефициента на триене по Rockwell и степента на проникване в обема на материала.

Образецът е статично захванат, по него се придвижва индентор тип Rockwell с предварително зададено постоянно натоварване 7N, прониква до някаква степен в образеца и продължава със скорост 0.083 mm/s за осъществяване на надраскването с дължина на следата 10 mm. Процедурата се повтаря няколко пъти на отстояние от 1 мм за натрупване на статистически данни и проверка за повторяемост на резултатите.

Образеца е показан на фиг. 5.




На фиг. 6 е показан изследвания образец, който е предварително полиран спрямо изискванията на апаратурата.




Графика 2

Графика 2 Експериментални графики. Със зелен цвят е обозначена промяната с времето на степента на проникване на индентора в обема на образеца. С розов цвят е обозначен коефициента на триене при надраскване.

Максималното проникване в образеца е със стойност Z = 297 микрона, а минималното – Z = 244 микрона. Разликата най-вероятно се дължи на денивелация на повърхността на образеца.

Резултатите от микроанализа ни показаха, че сплавта се намира в равновесно състояние поради добрата хомогенизация на материала и това ни наведе на мисалта да проведем измервания на микротвърдост, която да определи твърдостта на отделните зърна (компоненти).

Изпитването се извършва на твърдомер "Вертивал" с четиристенна пирамида от диамант с ъгъл при върха $136^0 \pm 20^0$. Пирамидата се натиска върху предварително добре изравнена повурхност на изпитвания образец с определено натоварване и се измерват диагоналите на пирамидата, като се взема средната стоиност.

Микротвърдостта на зърната в матрицата е Hμ = 78.6 kg/mm 2

Микротвърдостта в зърната на интерметалида е Hμ = 78.2 kg/mm 2

Тези изследвания са направени при натоварване 10g

При натоварвване 100g , Hμ = 99 kg/mm 2

Тези резултати още веднъж ни доказват, че с процентната прибавка на УДДП микротвърдостта и твърдостта в матрицата са изключително високи, което е гонения от нас резултат.

Бяха проведени изпитания на ударна жилавост – якост на удар

Следват въздействия в произволно направление с механични удари максималните стойности на които са указани в следната таблица (ТАБЛ. 3):

Таблица 3

| Ударно ускорение, g | Продължителност на действието на ударното ускорение, мсек | Количество на ударите |
|---|---|---|
| 40 g | 1-3 | По 3 във всяко направление и по всяка ос |

Изследваният образец се закрепва посредством “ВЕЛКРО” към платформата на ударния стенд. Изпитанието се провежда в съответствие с инструкцията за експлоатация на стенда, при натоварване равно на 40 g, продължителност на импулса 1-3 мс, по три удара по всяка от трите взаимно перпендикулярни оси на блока (всичко 18 удара). Изключва се стенда, снема се блока, извършва се външен оглед с цел проявление на механически повреди и работоспособност.

Не се наблюдават визуално механични повреди и пробитости. Резултатите позволяват да се оцени надеждността за използване на композитни материали на метална основа за изработване на корпуси и детайли, на уреди и апарати, както за изследване на космическото пространство, така и може би по-важно приложение в наземни условия за практически цели.

**Изводи:**

- Получени са и са изследвани материали на основата на Алуминий, уякчен с ултрадисперсни частици диамантен прах.
- Целесъобразно е използването на този вид композит, поради постигането на висока твърдост и добри физико-механични показатели.
- Иновацията на такъв вид сплав, динамиката на разработване, изследване и свързаните с тях дейности са един основен стимул за развитието на науката и технологията.

**Литература:**


1.Експеримент «ВОАЛ» от програмата на втория космонавт, София
2.BG патент 9318561990 г.
3.USPAtent № 5,353,708/11.1994
4. М а р к о в, Л., *Детонационен синтез на ултрадисперсен диамант и деагрегацията му*, Военна академия Г. С. Раковски, Годишна научна конференция , 6-7 април 2010 год., София
5. Ф р и д в я н д е р, И. Н., *Алюминиевые деформируемые конструкционные сплави*, Проблемы цветной металлургии *1979*
6. Ф р и д л я н д е р, И. Н., К. В. Ч у и с т о в, А. Л. Б е р е з и н а, Н. Н. К о л о б н е в, *Алюминий-литиевые сплавы. Структура и свойства*, – Киев, «Наукова думка», *1992.*

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# QUANTUM SENSOR FOR MAGNETIC FIELD

**Mila Ilieva-Obretenova**

*University of Mining and Geology "Sv. Ivan Rilski"*
*e-mail: milailieva@abv.bg*

***Key words:*** *nanotechnologies, space investigations, physical sciences, applied physics, materials science.*

***Abstract****: Recently, the nanotechnologies are largely implemented in space technologies. The concept of magnetometer with magnetic resonance/MMR/ is considered in this paper. The device combines the advantages of the electronic devices with thin organic film and the traditional MMR. Especially, investigations are carried out on the splitting in polaron pairs in organic diodes, based on π- conjugated organic semiconductor MEH-PPV. As this spin-dependent transition of electrons controls the conductivity of the material, magnetic resonance with electrons or holes could be detected through measurement of the electric current. In fact, the diode consists of thin layer of MEH-PPV, located between two levels, injecting electrons and holes. This structure is identical with these used in the conventional organic light-emitting diodes. The properties of this organic MMR, regarding its flexibility, sensibility and limits of the magnetic field, and its response to temperature fluctuations and aging are investigated. Experiments are carried out at room temperature.*

## Introduction

The measurement of absolute magnetic fields is critical for much of the research and technological applications (1),(8). While superconducting quantum interfering elements could solve this problem for extremely weak magnetic fields, the sensors, based on magnetic resonance allow quick and precise determination of weak and strong magnetic fields. The latter is based on the input of electromagnetic emissions with magnetic resonance in paramagnetic centers, which Landé factors are well known (5). At these sensors, which aim is to determine the magnetic field, the Planck's fundamental relation between the frequency of the emission v and the Zeeman energy of the paramagnetic centers is used:

$$hv=h\gamma Bo,$$

where γ is the gyromagnetic ratio, Bo is the applied magnetic field and h is the Planck's constant. The disadvantages of these elements are their price and size: the conventional magnetic resonance determining a field requires large volumes/up to hundreds of cubic meters/(5),(12). When the signals of the magnetic resonance disappear in the case of weak magnetic fields (due to the disappearance of the spin polarization), these magnetometers are weak detectors even for close fields. Until now there were several propositions for solving this problem through the use of spin-depending transport of charges, or through recombination processes in semiconductors in view of the electrical or optical detection of magnetic resonance(3),(10). Usually signals of the electrical or optical detection don't depend on the spin polarization, which make these sensors remarkably sensitive, even at very low magnetic fields. Besides, they are not volume sensitive and they can be self-generated in the nanoscale (9). The existing sensors for electrical or optical detection use silicone and nitrogen-vacancy centers in diamonds (11),(14). In the silicone case the spin-dependent signals are totally missing at room temperature or they are extremely weak. In diamond the optical detection requires the use of fluorescent microscopy (11),(13),(14).

The concept of sensor with magnetic resonance, which combines the advantages of the electronic elements with thin organic film and those of the traditional sensor with magnetic resonance, is reported in this paper. The spin-dependent splitting in polaron pairs in a π- conjugated organic semiconductor is especially investigated. As this spin-dependent transition of electrons controls the conductivity of the material, magnetic resonance with electrons or holes could be detected through measurement of the electric current. The element consists of thin layer semiconductor poly(2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-p-phenylene vynilene; MEH-PPV (7),(9), located between contacts, injecting only one electron and one hole. The properties of this sensor are studied, regarding its

sensitivity, the limits of the magnetic field, the response to fluctuations in temperature and the aging of the material. The sensitivity of the element is discussed and the expected error is calculated.

## Methodology

### Mechanism: Change in the resonance current

The hypothesis, that signals of the electrical detection are independent of the spin polarization over a large range of the magnetic field, is applied to the measurement of the magnetic field. This is a critical prerequisite for the realization of sensor with magnetic resonance. For the recombination of polaron pairs, the spin dependent relations are based on symmetry of the spin permutation of the pairs- charge carriers, not on the spin polarization. Therefore, slight dependence of Bo, regarding the signal of the current is expected. This model is studied in details, during the recent years, with the help of spectroscopy of the electrical and optical signals. Research is under way in the X-band (Bo=340mT) or frequencies in the same order of magnitude.

In the presence of radio-frequency emissions, a change in the current is observed, as a function of the magnetic field. This change in the current is due to a change in the spin dynamics of the charges carriers' ensembles, moving from a steady state to a spin-resonance exited state (15). When spins of the charges carriers are manipulated, the ratio between the single and the triple pairs changes (2),(7). As a result the ratio of recombination and dissociation changes too, consequently, the current changes.

When the frequency in radio-frequency emission decreases, the measurement limit of the magnetic field becomes lower. This lower limit of Bo measurement is attributed to the reduced changes in the spin-mixing: as longer the external magnetic field exceeds the local hyperfine field of the π- conjugated polymer (Bo>BHyp), the more the spin-mixing is suppressed and the more longitudinal spin relaxations relations are enlarged. The applied magnetic resonance can enlarge artificially the spin-mixing and therefore the current should change constantly. Contrary, when Bo<BHyp, the spin-mixing is almost independent of the magnetic resonance. In this case the magnetic resonance changes slightly the spin-mixing and the spin-dependent current, as a result the signal of the electrical detection disappears (10),(11).

The disappearance of the signal of magnetic resonance at Bo=BHyp confirms, that the mechanism of the polaron pair (electron-hole) is responsible for the signal of the electrical detection, as well as, for the magnetic resistance of the permanent current. This assumption will be a subject to debate. It is important to note that for the magnetometery, based on the magnetic resonance, this effect does not establish a lower limit of the magnetic field measurement: at Bo<BHyp a magnetic field could be detected though the application of a precise constant magnetic field Boff in a modulated pad(6).

$$Bdet=Bo+Boff>BHyp$$

Then $Bo= Bdet – Boff$

### Accuracy and stability of the measurement

Something very important for the absolute measurement of the magnetic field, produced through this element, is the standard, which in this case is the gyromagnetic ratio γ (or the g-factor of Landé) of a polaron's spin. Multiple measurements of the electric detection with thin film samples over a wide range of magnetic fields are made in view the precise determination of γ and in order to confirm the independence of γ from the magnetic field itself. It has to be noted that for this purpose the optic detection could be used in the same way, but this is very difficult to be technologically achieved (4). For this reason the measurements are focused only on the electric detection. Measurements of transitory processes, induced by a single impulse are made. In this case the spectrum of the polaron pair shows two Gaussian peaks, corresponding to two types of current carriers. In order to maximize the accuracy of the measurement of Bo, one Gaussian peak has to be chosen, corresponding to one type of the current carriers (electron or hole).

For the determination of the sensor's operational range the stability of the gyromagnetic relation is used as a function of temperature and the purposeful aging of the element. This study is carried out through reproduction of γ at a range of temperature varying from 5K to room temperature and repeating the experiments after induced aging of the material.

Construction of the element:

The element for electric detection of magnetic resonance has the following construction:

1. Layer-indium-stannic oxide : 200 nm
2. Layer- injection of holes: 50 nm, applied in a centrifuge at 3000 RPM
3. Layer-MEH-PPV:200 nm, applied in a centrifuge at 1600 RPM in a chamber with nitrogen
4. Layer-injection of electrons:25 nm Calcium
5. Layer-aluminum: 50 nm.

The coatings of calcium and aluminum are applied by evaporation in a chamber with nitrogen at a pressure of $10^{-6}$ mbar.
The element is located closely to two separated electric plates, as shown on fig.1, respectively for implementing a management and modulation fields.

Experimental settings

For the studies with different radio-frequencies, direct current power supply is applied to the element and it is put in a small coil. The coil is linked to an adjustable source of frequency, with the purpose to apply a fixed frequency. The output of the element is connected to an amplifier, working as low-frequency filter (frequency of cutting fc=10Hz). The filter is connected to a computer for visualization. The experimental setting is illustrated in figure 2.

For the experiments with one single impulse, the design of resonator, which is used, is those with one plate. One single impulse with frequency 350MHz is applied to the element. The output is connected to an amplifier in high-frequency regime with current adjustment close to Io. The output is linked to a device, recording the transition process. The experimental setting is illustrated in figure 3.

For the studies of the integral sensor, direct current voltage is applied to the element. Standard frequency of 6kHz is supplied to the modulation plate through generator at 5Vpp. This represents amplitude of 0,02mT of the modulation field. The output is connected to a computer for visualization. The plates consist of copper strips on each side of the epoxy pad. Simple mechanical contact between the element and the plate is sufficient to induce resonance. The experimental setting is illustrated in figure 4

Results

On fig. 1 it is shown the construction of magnetometer with magnetic resonance and organic semiconductor. The element is located over two plates, perpendicular to each other, which is necessary to excite resonance and modulation of the field. The electrons and holes are injected in the opposite sides and they recombine in dependence of the spin in the organic semiconductor.

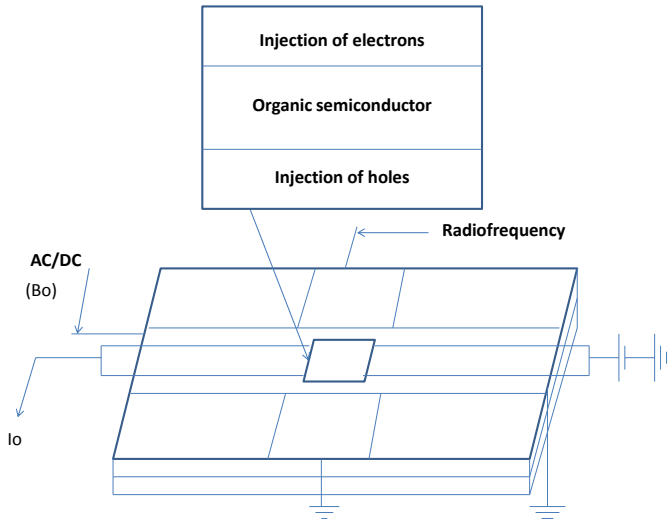



Fig.1. Construction of magnetometer with magnetic resonance and organic semiconductor

On Fig. 2 is shown the experimental setting for measurement of a constant magnetic field, when radio-frequencies of 200MHz and 50MHz are applied.

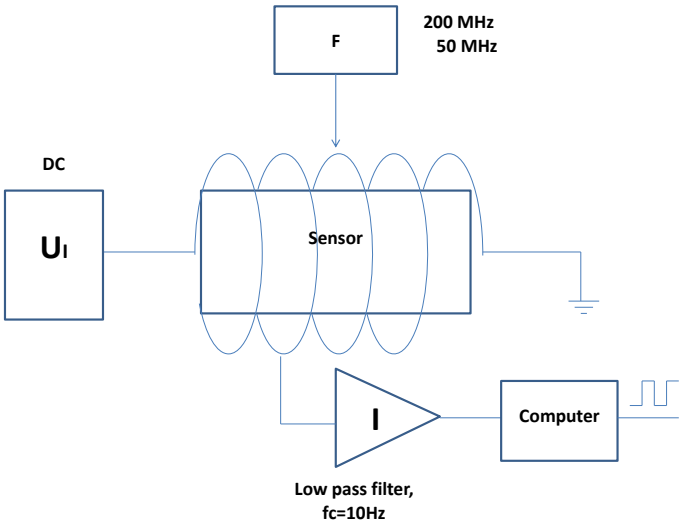



Fig. 2. An experimental setting for measurement of a constant magnetic field, when radio-frequencies of 200MHz and 50MHz are applied

On Fig. 3 is shown the experimental setting for impulse excitement of resonance.

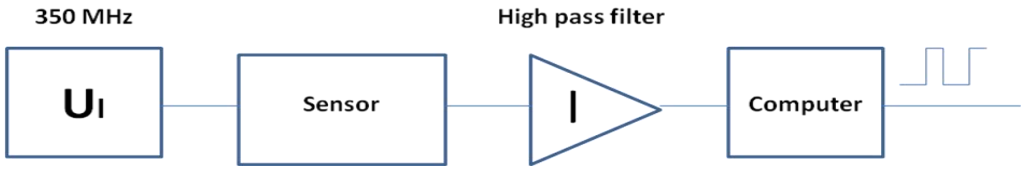



Fig. 3. An experimental setting for measurements in the case of an impulse excitement of resonance

On Fig. 4 is shown the experimental setting for a study of the integral sensor.

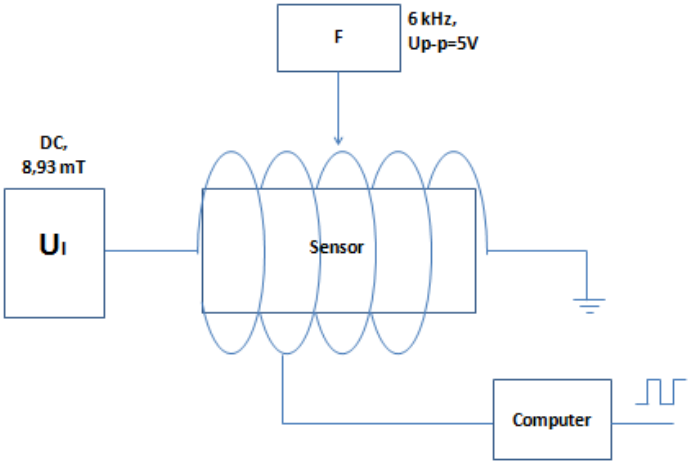



Fig. 4. An experimental setting for measurement with integral sensor

On the Fig. 5 is shown the change in the current at constant magnetic field (1,3mT<Bo<10mT) and a radio-frequency of 200MHz. Through the range of measurements, the graph shows a monotone increase of the current. This behavior is due to the strong magnetic resistance. Besides the monotone magnetic dependence of the current, the graph shows decrease of the current approximately to Bo=7,14mT. This corresponds to the condition for magnetic resonance at g=2, 0026(4). The relatively decrease of the current is $10^{-3}$; $\Delta I/I=10^{-3}$

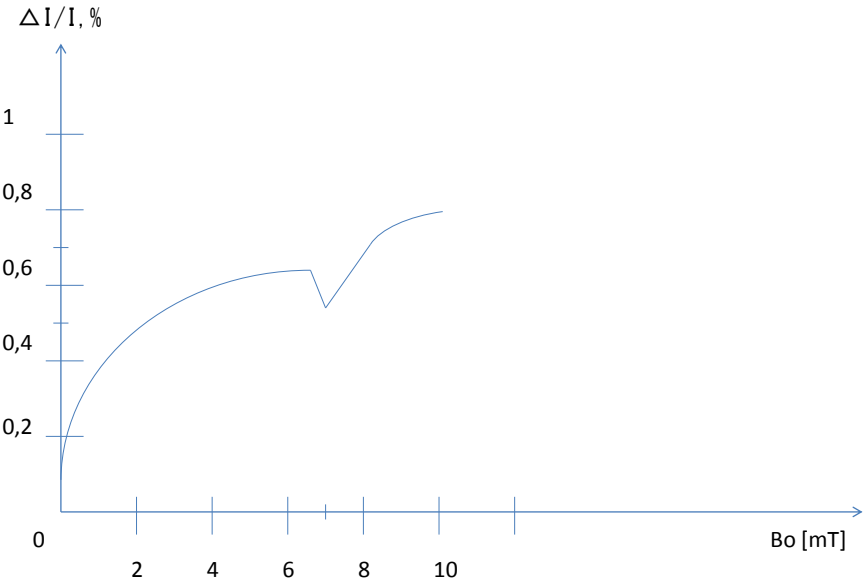



Fig. 5. Current change at constant magnetic field and frequency of 200MHz

On the Fig. 6 is shown the current change at constant magnetic field and frequency of 50MHz. The current decrease can be seen at Bo=1,79mT, but with a reduced amplitude.

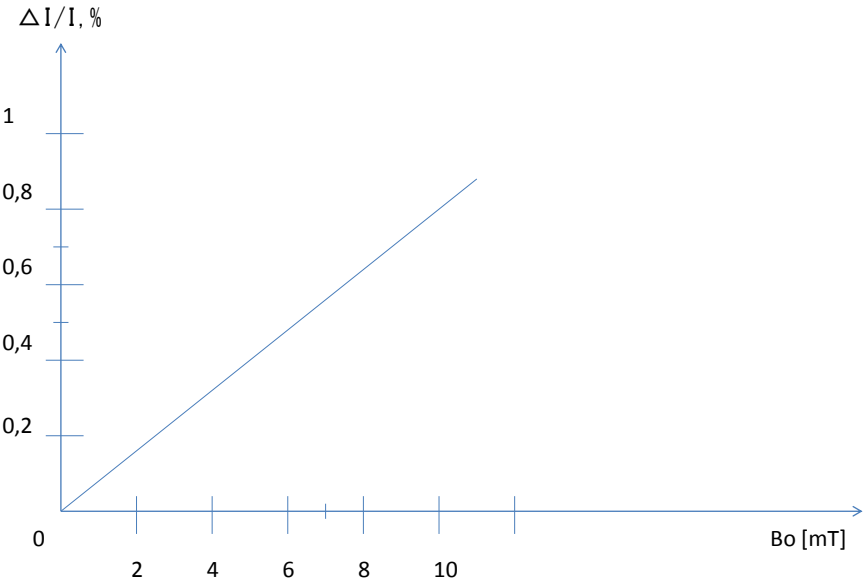



Fig. 6. Current change at constant magnetic field and frequency of 50MHz

Fig. 7 shows the current, induced by magnetic resonance, measured as a function of the applied excitation frequency. Linear approximation of data gives the gyromagnetic ratio γ=28,03 GHz.$T^{-1}$ and corresponding g-factor g=2,0026. Therefore, the detected electric gyromagnetic ratio of an electron can be used as a standard for magnetic field.

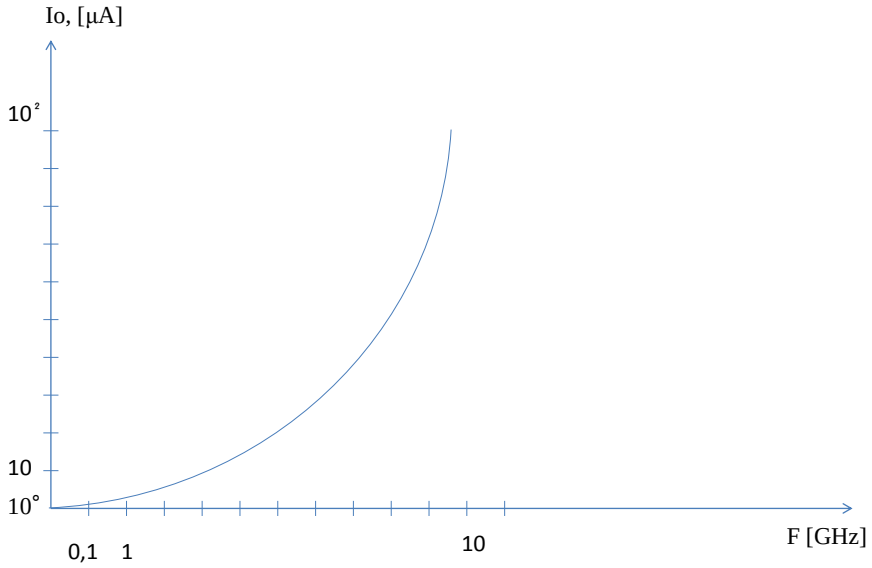



Fig. 7. The current, measured as a function of the applied exciting frequency

Fig. 8 represents the volt-ampere characteristic of the element at 5K marked with a solid line on the diagram, and after the purposeful aging, over 5K, marked with a dashed line.

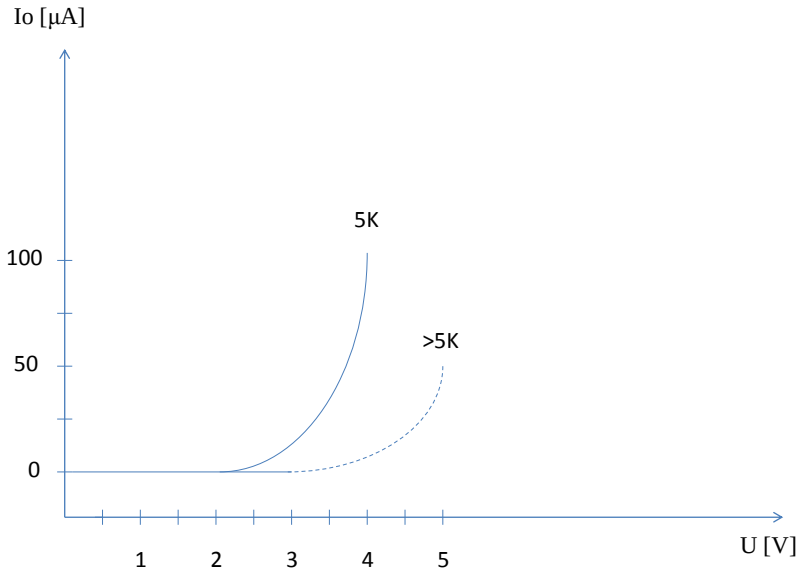



Fig. 8. Volt-ampere characteristic of the sensor

Discussion

An important parameter for each measuring device is its sensitivity (named resolution, too) δBmin of an individual measurement of a magnetic field corresponds to the error of a single measurement. Its unit is equal to the unit of the investigated magnitude –magnetic field. When a measurement is conducted during τ time with sensitivity δBmin, then the sensitivity may be improved to δBmin/√ n, through conducting of n number of measurements during nτ time and subsequent averaging of the n measured values. The sensitivity of a magnetometer depends on the time taken for conducting the measurement and it is more important to describe the element from the point of view of the spectral density of its resolution (unfortunately, often it is mentioned as "sensitivity" in the literature). The spectral density of the resolution is the magnetic field multiplied by the square root of time. Therefore its unit is [T√s] = [T/√Hz]. The sensitivity δBmin of magnetometer with magnetic resonance (2), discussed here, can be affected by noise, amplitude of the modulating field and the width of the resonance line ΔB, through the following relation:

$$\delta Bmin.Bm \frac{\partial^2 I}{\partial B^2} = Inoise,$$

$$\delta Bmin = \frac{Inoise,}{Bm \frac{\partial^2 I}{\partial B^2}}$$

Where Inoise is the noise, Bm is the amplitude of the modulating field, and $\frac{\partial^2 I}{\partial B^2}$ represents the resonance line ΔB.

The noise is equal to Inoise=√(2.e.Δf.Io).

$\frac{\partial^2 I}{\partial B^2}$ is the second derivative of the function between the current and the magnetic field I(Bo)

In the case of MEH-PPV, the Gaussian function is applied:

$$I(Bo)=\frac{Ia.Bm}{\Delta B\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(Bo-Bres)^2}{2\Delta B^2}},$$

Where $Ia$ is the adjustment current.

In the center of the Gaussian distribution curve Bo=Bres. Then I(Bo) has the following expression:

$$I(Bo)=\frac{Ia.Bm}{\Delta B\sqrt{2\pi}}$$

Then the second derivative has the following expression:

$$\frac{\partial^2 I}{\partial B^2}(Bo) = \frac{Ia.Bm}{2} .\sqrt{(2/\pi)}. \frac{1}{\Delta B^3}$$

Thus, the spectral density of the resolution is δBmin/√Δf, where Δf is the width of the frequency band of the measured signal and it is defined by a low-frequency filter, placed after the range detector. Then, the spectral density of the resolution is:

$$\delta Bmin/\sqrt{\Delta f} = 2(\sqrt{(\pi e Io)}/ Ia)\Delta B,$$

where we assume that the modulating amplitude Bm is equal to the linear width ΔB. The following experimental data are used for assessing the resolution in the elements: I$a$=100nA, Io=100μA, ΔB=0,35mT.

## Conclusions

A magnetometer with thin organic film, based on the magnetic resonance, independent of calibration, temperature and aging, is demonstrated in this paper. The realization of such magnetic fields' sensor (Bo is in the range of 1,3mT<Bo<10mT) is illustrated. There are not fundamental restrictions, but rather technological. The upper limit is established by the high-frequency equipment and the lower limit could be overcome through a constant field, added to the modulation of Bo. The sensor is integrated in a monolithic device. It is foreseen, a large number of sensors to be placed on a separate (flexible) pad, for presenting the spatial variation of the magnetic field, with resolution lower than 100 nm.

Different experimental settings are presented to perform measurements at different excitation frequencies and at excitation with a single impulse.

When the concept of this organic magnetometer is compared to the existing devices, it can be seen that its realization could fill the gap in the precise magnetometry with small dimensions. The organic magnetometer is less sensitive than the superconducting quantum interference elements, but much more sensitive than the sensors of Hall. Unlike the superconducting quantum interference elements, which work only at cryogenic temperatures, and the sensors of Hall, which calibration is highly dependent of temperature, the organic magnetometers operate without calibration in a wide range of temperature. If compared to the conventional magnetometers with nuclear magnetic resonance, which have large dimensions and reduced sensitivity in the case of weak magnetic fields, it is seen that the organic magnetometers can be with very small dimensions and their sensitivity does not depend on the magnetic field at a large range. As the resonances in the case of nuclear magnetic resonance are narrower than the resonances of a polaron, the magnetometers with nuclear magnetic resonance provide higher sensibility at strong magnetic fields. Similarly, for the very weak magnetic fields, the superconducting quantum interference elements will continue to be the most sensitive detectors. It has to be noted, that the magnetometers with nitrogen-vacancy centers in diamond have some advantages as temperature stability and high space resolution, but opposite to the organic magnetometers there is not electrical access to them.

The error is calculated, i.e. the spectral density of sensitivity of the element is found.

Peroration

The most important challenge to magnetometers with thin organic layer is the time, needed to find the reference frequency. As in the case of conventional devices with nuclear magnetic resonance, these ones require long adjustment of the frequency. For the design, proposed here, this disadvantage could be surmounted through combination of the working regime of magnetic resonance with the magnetoresistive behavior of the polymer layer. The magnetoresistive effect allows magnetic field to be measured at a large frequency bandwidth, and the regime with magnetic resonance is used regularly for recalibration. As the recalibration of a magnetoresistive sensor is necessary only in the case of aging and major changes in temperature, this organic hybrid magnetometer may combine the advantages of two approaches: the rate of the magnetoresistive measurement with accuracy, not dependent of temperature and aging.

## References:


1. A d a m o, M., C. B o n a v o l o n t, M. V a l e n t i n o, & S a r n e l l i, E. Investigation of artificial cracks by scanning SQUID magnetic microscope. Sensor Lett., 2009, 7, 397–399.
2. B a k e r, W. J., D. R. M c C a m e y, v a n K. J. S c h o o t e n, J. M. L u p t o n & C. B o e h m e, Differentiation between polaron-pair and triplet-exciton polaron spin-dependent mechanisms in organic light-emitting diodes by coherent spin beating. Phys. Rev. B, 2011, 84, 165205.
3. J a n d e r, A. & D h a g a t, P. Sensitivity analysis of magnetic field sensors utilizing spin-dependent recombination in silicon diodes. Solid State Electron, 2010, 54,1479–1484.
4. K e r s t e n, S. P., A. J. S c h e l l e k e n s, B. K o o p m a n s, & P. A. B o b b e r t, Magnetic-field dependence of the electroluminescence of organic light-emitting diodes: a competition between exciton formation and spin mixing. Phys. Rev. Lett., 2011, 106,197402.
5. K o m i n i s, I. K., T. W. K o r n a c k, J. C. A l l r e d, & M. V. R o m a l i s, A subfemtotesla multichannel atomic magnetometer. Nature, 2003, 422,596–599.
6. L e e, S.-Y. *et al*. Tuning hyperfine fields in conjugated polymers for coherent organic spintronics. J. Am. Chem. Soc., 2011, 133,2019–2021.
7. L u p t o n, J. M., D. R. M c C a m e y, & C. B o e h m e, Coherent spin manipulation in molecular semiconductors: getting a handle on organic spintronics. Chem. Phys. Chem., 2010, 11, 3040–3058.

8. J.- B M a t h i e u, S. M a r t e l, L. Y a h i a, G. S o u l e z, & G. B e a u d o i n, MRI systems as a mean of propulsion for a microdevice in blood vessels. Eng. Med. Biol./Mag., 2003, 4, 3419–3422.
9. M c C a m e y, D. R. *et al*. Hyperfine-field-mediated spin beating in electrostatically bound charge carrier pairs. Phys. Rev. Lett., January 2010, 104, 017601.
10. N g u y e n, T. D., B. R. G a u t a m, E. E h r e n f r e u n d, & Z. V. V a r d e n y, Magnetoconductance response in unipolar and bipolar organic diodes at ultrasmall fields. Phys. Rev. Lett., 2010, 105, 166804.
11. N u s r a n, N. M., M. U. M o m e e n, & M. V. G. D u t t, High-dynamic-range magnetometry with a single electronic spin in diamond, Nat. Nano., 2012, 7, 109–113.
12. S a v u k o v, I. M., S. J. S e l t z e r, M. V. R o m a l i s, & K. L. S a u e r, Tunable atomic magnetometer for detection of radio-frequency magnetic fields., Phys. Rev. Lett., 2005, 95, 063004.
13.T a y l o r, J. M. et al. High-sensitivity diamond magnetometer with nanoscale resolution. Nat. Phys., 2008, 4, 810–816.
14. W a l d h e r r, G. et al. High-dynamic-range magnetometry with a single nuclear spin in diamond. Nat. Nano., 2012, 7, 105–108.
15. Y u, Z. G. Spin-orbit coupling and its effects in organic solids. Phys. Rev. B, 2012, 85, 115201.

# INFORMATION MODEL FOR MANAGEMENT OF NANOTECHNOLOGIES

**Mila Ilieva-Obretenova**

*University of Mining and Geology "Sv. Ivan Rilski"*
*e-mail: milailieva@abv.bg*

## 1. Introduction

The realization aspect of an information model for management of nanotechnologies in electronics is studied in a University. A relational data base is designed, containing information for management of nanotechnologies. The main goal of the relational database design is optimization by elimination of the data dependency. This dependency will be overcome by transformation of relational schemas, representing classes of managed objects, in normal form. The transformation is performed by methods, depending on the number of the managed objects and the number of the actors.

## 2. Functional dependencies

The data dependency is a restriction over the possible relations, which could represent the current set of copies of a relational schema. For example, if one attribute of the schema defines entirely another attribute, then "the second attribute is functionally dependent on the first attribute", or "the first attribute defines functionally the second".

The data dependency can generate several problems.

- Excess of data-one attribute is written always as functionally determining attribute
- Potential contradiction (anomalies in the updates) Due to the excess of data, one attribute may be updated in one record, while it could remain the same in another one. In this case there will be not a single unique value for the functionally determining attribute.
- Insertion anomaly: It will be impossible an attribute to be recorded, if it is not functionally defined by another one. The value zero can be put on the place of the determining attribute, but with the input of such attribute, the row with zero value should always be deleted. Furthermore since, the defining attribute represents the relation key, if the field for the key contains zero, the reviewing of the rows, according to the primary index may become impossible.
- Deletion anomaly: The opposite problem to this in the above item is that: if all attributes, determining one other attribute should be deleted, the determining attribute would be lost.

To avoid all these problems, the relations should meet the following restrictions conditions:

- Depending on the equality or inequality of values
- Independent of values: Functional dependency and other

The second type of restrictions exerts greater influence on the database schema, as compared to the first type.

To show, that the projected relational schemas for the management of nanotechnologies do not contain functional dependencies, which leads to the mentioned above problems, there are used consequences of the functional dependencies.

For the set of consequences F+, or to say that at defined candidate keys, the functional dependency is in F+, deduction rules are needed, which have to state how one or more dependencies entail other dependencies. These are rules, which give the opportunity to extract all correct dependencies, i.e. these in F+ from a given set of dependencies F. This body of inference rules is named Armstrong' axiom (4)

A1: Reflexivity: If $Y \subseteq X \subseteq U$, then F logically implies $X \rightarrow Y$

A2: Augmentation: If $X \rightarrow Y$ and Z is subset of U, then $XZ \rightarrow YZ$

A3: Transitivity: If $X \rightarrow Y$ and $Y \rightarrow Z$, then $X \rightarrow YZ$

A4: Union: $\{X \rightarrow Y, X \rightarrow Z\}$ I= $X \rightarrow YZ$

A5: Pseudo transitivity: $\{X \rightarrow Y, WY \rightarrow Z\}$, I=W $X \rightarrow Z$

A6: Decomposition: $X \rightarrow Y$ and $Z \subseteq Y$, then $X \rightarrow Z$

### 3. Normal forms

Aiming to avoid the problems with duplicates and anomalies, considered above, the relational schemas for management of nanotechnologies in electronics should be transformed in normal form. The normal form is a property of the relational schemas with dependencies. The most important of them are the "third normal form" and "the normal form of Boyce-Codd".

- Boyce-Codd normal form: The normal form of Boyce-Codd is a stronger version than the normal forms. A relation schema R is a Boyce-Codd normal form, if and only if the following conditions are hold: $X \rightarrow A$, and A is not in X, then X is superkey for R, i.e. X is superkey, or contains a superkey.
- Third normal form: A relation schema R is a third normal form, if and only if the following conditions in R hold: $X \rightarrow A$, and A is not in X, then or X is a superkey for R, or A is a prime-attribute. The definitions of both Boyce-Codd normal form and third normal form are identical, except the clause "or A is a prime-attribute", which make the third normal form slightly weaker than the Boyce-Codd normal form. An attribute A in a relational schema R is a prime-attribute, if all keys in R contain A. If A is not contained in any key in R, then A is no-key attribute.

### 4. Transformation of relational schemas in Boyce-Codd normal form

The Boyce-Codd normal form is chosen, as it is stronger than the third normal form. The checking whether X is a key is made according to the following algorithm:

Algorithm for checking whether a given attribute is a key:

- Determines the set of consequences of F:F+

F is a set of functional dependencies, valid for the relation R.

- X is chosen and it is checked whether X is a superkey

X is chosen as a set of attributes, which clearly define the entity. X is a key in R, if:

- $X \rightarrow \{A_1, A_2 \ldots . A_n\} \in F+$ or

  $\{A_1, A_2\} \rightarrow \{A_1, A_2 \ldots . A_n\} \in F+$

- $Y \subset X$, for example $A_1$

Then $A_1 \rightarrow \{A_1, A_2 \ldots . A_n\} \notin F+$ minimal condition

Depending on the number of objects in the relational schema and the number of actors, two methods are used: direct method, and decomposition method

- Direct method: It is applied to transform relational forms in normal form with:
    - Smaller number of managed objects and 1 or more actors
    - Greater number of managed objects and 1 actor

The method only contains an algorithm for checking whether a given attribute is a key.

- Decomposition method: It is applied to transform relational forms, with greater number of managed objects and one actor, in normal form. The method contains:
    - Decomposition in constituent schemas
    - Applying an algorithm for checking whether the given attribute is a key for each schema
    - Determining the superkey for the whole schema.

At the transformation, the role of attributes is played by predefined managed objects (2),(3). The direct method is illustrated by an example of the developed information models.

**5. Results**

The information model of the configuration of nanotechnologies (2),(3), is transformed in Boyce-Codd normal form by the direct method. The schema contains two actors: professor and assistant. The attributes taking part in this information model are: NanotConfiguration, NanotComponent, Material, Design, Device, Memory, Optoelectronics, NanotData, AssConfiguration, PIN, Interest. Affixed to:

NanotConfiguration = A

NanotComponen = B

Material = C

Design = D

Device = E

Memory = F

Optoelectronics = G

NanotData = H

AssConfiguration = I

PIN = J

Interest = K

The relational schema R = ABCDEFGHIJK is obtained.

It has to be proven, that at the given dependencies, the relation has a key. For this purpose, the algorithm for checking whether a given attribute is a key is used.

On fig.1 are shown the functional dependencies of the set F.

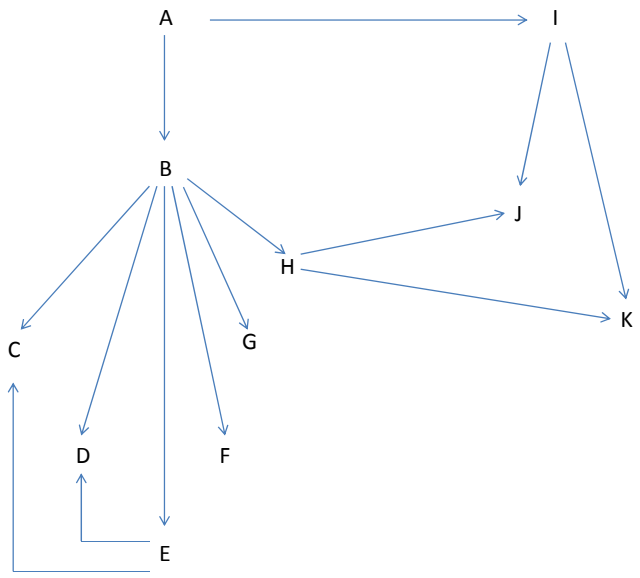



Fig. 1. Functional dependencies in a Configuration of nanotechnologies
Information model for management of nanotechnologies, Mila Ilieva-Obretenova

Figure 1. Functional dependencies in a Configuration of nanotechnologies

The functional dependencies in the set F are:
A→B, B→C, B→D, B→E, B→F, B→G, B→H, E→C, E→D, A→I, I→J, I→K, H→J, H→K
The functional dependencies in the set F+ are:

1. From I→J, I→K,

   =>I→JK∈ F+ (union lemma)

2. From A→I and I→JK

   =>A→JK∈ F+ (transitivity lemma)

3. From B→C, B→D, B→E, B→F, B→G, B→H

   => B→CDEFGH∈ F+ (union lemma)

4. From E→C, E→D

=>E→CD∈ F+ (union lemma)

5. From A→B, and B→CDEFGH

=>A→ CDEFGH ∈ F+ (transitivity lemma)

6. From A→JK, and A→CDEFGH

=>A→ CDEFGHJK ∈ F+ (decomposition lemma)

An assumption is made, that A is a key, i.e. A→ABCDEFGHIJK

Z= CDEFGHJK ⊂ ABCDEFGHIJK is applied

=>A→ CDEFGHJK (decomposition lemma)

It is already proven that A→ CDEFGHJK ∈ F+

=>A is a key of the relational schema

=> the attribute NanotConfiguration is a key of the relational schema Configuration of nanotechnologies

=> The relational schema Configuration of nanotechnologies is in Boyce-Codd normal form.

**6.Conclusions**

A relational database is projected on the base of developed models for management of nanotechnologies. The relational schemas with classes of managed subjects are transformed in Boyce-Codd normal form. In result the database is optimized, and the data dependencies, which can lead to an excess of data and anomalies at the updating of the database content, is avoided. The direct approach is applied at the transformation in Boyce-Codd normal form. The approach is illustrated with the relational schema of the Configuration of nanotechnologies.

It is also suitable for the following schemas: Nanotechnologies' installing, Nanotechnologies' maintaining, and Nanotechnologies' defense, Nanotechnologies' taxing, as well as, Technical characteristics of the information system and Users' control. The approach based on the decomposition to the transformation in Boyce-Codd normal form shall apply to the schema-Technology providing. A creation of a prototype of the database is forthcoming(1).

**References:**


1. H e r n a n d e z, M i c h a e l X, "Projecting databases", SoftPress OOD, 2007
2. I l i e v a, M., "Requirements to the management of nanotechnologies in electronics" International Scientific Session-2012, University of Mining and Geology "Sv. Ivan Rilski", Sofia, 18.10.2012, 62-64
3. I l i e v a, M.," Projecting an information model for management of nanotechnologies in electronics", Jubilee International Congress "40 years-Bulgaria-cosmic country", House of scientists of BAS- Varna, 12-14.09.2012 , accepted to print
4. G a r c i a – M o l i n a, H e c t or, J e f f r e y D. U l l m a n, J e n i f e r W i d o m " Database systems: The complete book", The Prentice Hall.Inc, 2002

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# БИОКЕРАМИКА ОТ ВИСОКОЯК КОМПОЗИЦИОНЕН МАТЕРИАЛ НА ОСНОВАТА НА $Al_2O_3$ И НАНОДИСПЕРСЕН ВЪГЛЕРОД

**Владимир Петков[1], Йонка Иванова[2], Димитър Теодосиев[3], Радослав Вълов[1]**

*[1]Институт по металознание, съоръжения и технологии „Акад. А.Балевски" с център по хидроаеродинамика – Българска академия на науките*
*[2]Институт по механика – Българска академия на науките*
*[3]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: vladimir2pe@yahoo.com*

***Ключови думи:*** *нановъглерод, корунд, биокерамика, стъкловъглерод*

***Резюме:*** *В настоящата разработка ние използваме нановъглерод получени от газова фаза с едновременно отлагане върху корундова керамика пропита с въглероден носител. Високоякостната керамика от корунд е получена с добавки от CaO, MgO, $TiO_2$ и техни съединения. Целта на нашите изследвания да се получи високоякостна керамика с модул на еластичност около 370 GP. След което да се уплътни и повиши биологичната съвместимост с отложен стъкловъглерод върху образците (глави за стави) и се намали триенето с костната система. Определени са основни физико-механични характеристики на композитна корундова керамика и са заснети микроструктури със сканиращ електронен микроскоп (SEM).*

# BIOCERAMIC OF HIGH STRENGTH COMPOSITE MATERIAL ON $Al_2O_3$ AND NANODISPERCED CARBON BASIS

**Vladimir Petkov[1], Ionka Ivanova[2], Dimitar Teodossiev[3], Radoslav Valov[1]**

*[1]Institute of Metal Science, Equipment and technologies "acad. A.Balevski" With Center of Hydroaerodynamics – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Institute of Mechanics – Bulgarian Academy of Sciences*
*[3]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: vladimir2pe@yahoo.com*

***Key words:*** *nanocarbon, corundum, bioceramic, vitreous carbon*

***Abstract:*** *In the present study we used nanocarbon from gas phase with simultaneous deposition on corundum ceramic soaked with carbon carrier. The high strength corundum ceramic is fabricated with additives of CaO, MgO, $TiO_2$ and their compounds. The objective of these investigations is to obtain high strength ceramic with elasticity modulus about 370 GP, then to increase the density and the biological compatibility by depositing vitreous carbon on the ceramic bodies and to reduce the friction in the bone system. The basic physico-mechanical characteristics of the composite corundum ceramic are determined and the microstructures with scanning electron microscope (SEM).*

## 1. Въведение

Първият биокерамичен материал широко използван в клиничната практика е високоплътен α-$Al_2O_3$ с чистота над 99,5%. В днешно време инертна биокерамика се получава от $Al_2O_3$ и $ZrO_2$, която се явява с ниска реактивоспособност , не е токсична, не е алергична и не е канцерогенна, което е прави използваема през целия човешки живот.[1].Корундовата керамика има много приложения едно от които е, в ортопедичната хирургия за изготвяне на керамични глави за тазобедрени стави, зъбни протези и различни видове кости[2]. Пригодността на този керамичен материал се обяснява с неговата биосъвместимост, химична резистентност, висока механична якост и корозионна устойчивост[2-4]. Модифицирането на корундовата керамика с добавки от CaO, MgO, $TiO_2$ и техни съединения допълнително повишават нейните химични и физико-

механични характеристики. Отлагането на нановъглерод върху гореспоменатата керамика увеличава нейната корозионна устойчивост и износоустойчивост като намалява триенето (фрикцията) в костната система. Затова в последните години с развитието на нанотехнологиите, изследванията в областта на получаване на биокерамика с използване на нановъглеродни частици и изучаване на техните свойствата са актуални и значими.
В настоящата разработка ние използваме α-$Al_2O_3$ с чистота 99% и едрина на частиците между 1 -25 μm. Целта на нашите изследвания е установяване влиянието на добавките и на нанновъглеродното покритието върху физико-механичните характеристики и структуро-образуването на корундовата керамика.

## 2. Материали и методи

Получаването на биокерамика от корунд и последващо покриване със стъкловъглерод е сложен и прецизен процес, изискващ особено внимание за всеки отделен технологичен цикъл. Първоначалните изследвания са проведени върху керамични образци с височина 2 - 10 mm и диаметър 30 - 50 mm. Количеството на използваните добавки и техни съединения в корундовата керамика е от 0.3 - 3.0%, като преимуществено използваме предварително синтезиран $CaTiO_3$. След смилане и хомогенизиране на диалуминиевия триоксид и съответните добавки, получената суспензия се суши, гранулира и пресова за предпочитане изостатично. Така получените образци се спичат при 1600 - 1700$^0$C, а при изготвянето на керамични глави за тазобедрени стави първо се извършва бисквитиране при 1000$^0$C с последваща механична обработка и след това се спичат при гореспоменатите температури. След спичане на корундовите керамични глави започва поетапно отлагане на стъкловъглерод върху тях. Този процес се извършва многократно при строго определен режим на нагряване и охлаждане във вакуумна пещ при температура 1350$^0$ -1450$^0$C. Използвани са сканиращ електронен микроскоп (SEM) и оптичен металографски микроскоп. На фиг. 1 са показани SEM изображения на корундова керамика с различно съдържание на $CaTiO_3$, съответно с 1% и 3%. Забелязва се леко издребняване и по-добра хомогенност в структурата на корундовата керамика с 1% концентрация на калциево-титанатна добавка.

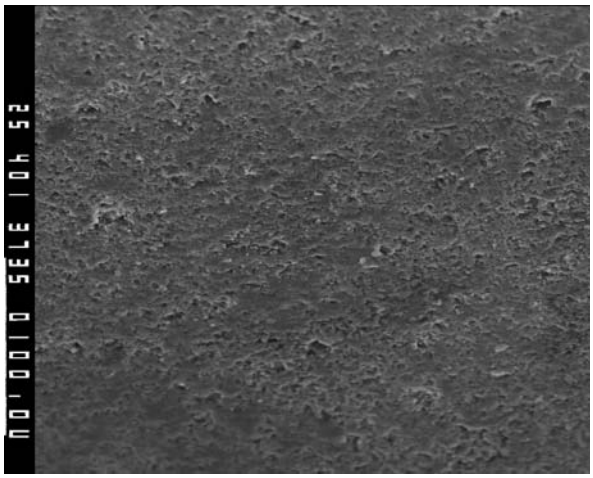


Fig.1A. SEM изображение на корундова керамика с добавка от $CaTiO_3$ -1%

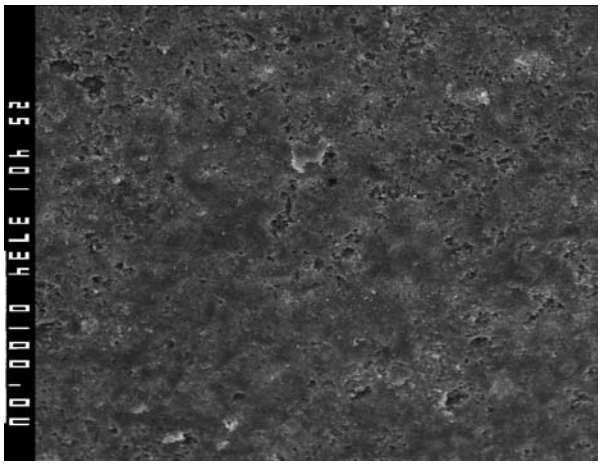
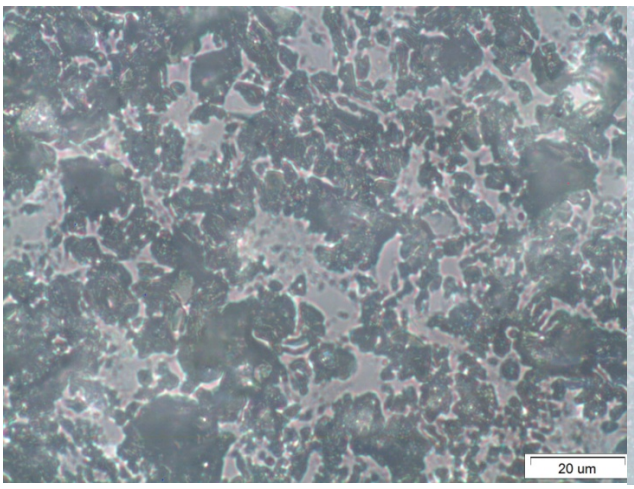
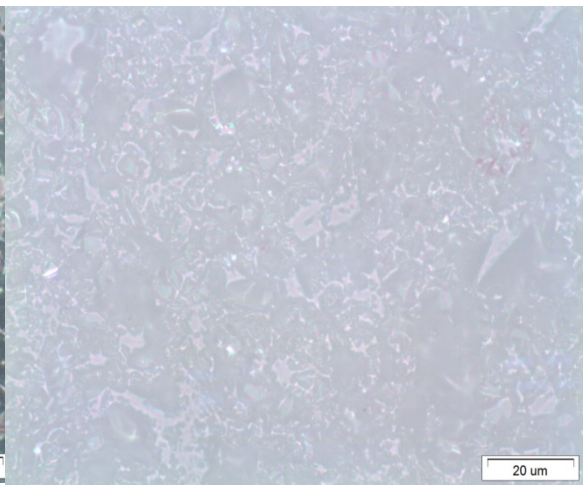


Fig.1B. SEM изображение на корундова керамика с добавка от $CaTiO_3$ - 3%

На фиг. 2 са показани микроструктури направени с оптичен металографски микроскоп на синтеровани керамични материали с компоненти $Al_2O_3$ и $CaTiO_3$. Керамичният образец на фиг. 2А е покрит с въглероден слой за по-добра плътност и биосъвместимост, а на фиг. 2В е показан непокрит керамичен композит от $Al_2O_3$ и $CaTiO_3$.




Фиг. 2А. Микроструктура на корундова керамика покрита с нановъглерод




Фиг. 2В Микроструктура на непокрита корундова керамика

На двете микроструктурни изображения се вижда разпределението на бялата фаза от корунд (Фиг.2В*)* на фона на черната матрица (Фиг.2А*)*, която увеличава площта си при навъглеродяване, следователно се постига ефект на уплътняване. Линейният мащаб на микроснимките е 20μm, а увеличението x200. Вижда се на (Фиг.2А), че кристалите на фазите са с по-голям размер. В зависимост от условията на обработка (напр.повишена температура) ускорената дифузия стимулира дифузионните процеси и фазите нарастват по размер.

Еластичните модули на материалите могат да бъдат определени директно чрез механични изпитвания (статични методи) и косвено чрез ултразвукови изследвания (динамични методи)

Ултразвуковият метод за определяне на динамични еластични модули се осъществява чрез въвеждане на различен тип ултразвукови вълни (надлъжни и напречни) в материалите и измерване на еластичните константи.

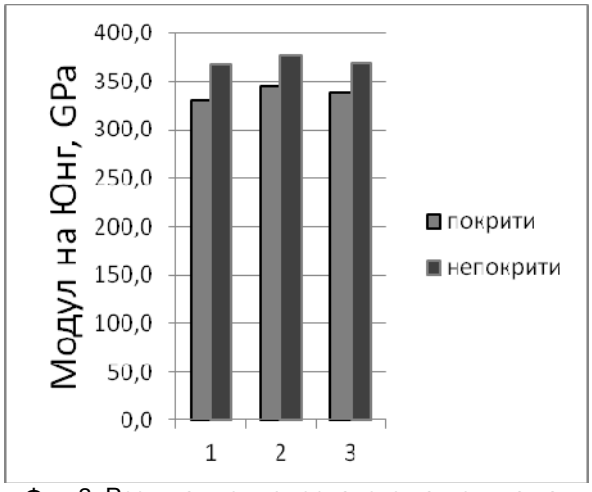
В работата се използвани няколко процедури за измерване на скорости на вълни:

-импулсен ехо метод –имерсионен вариант,

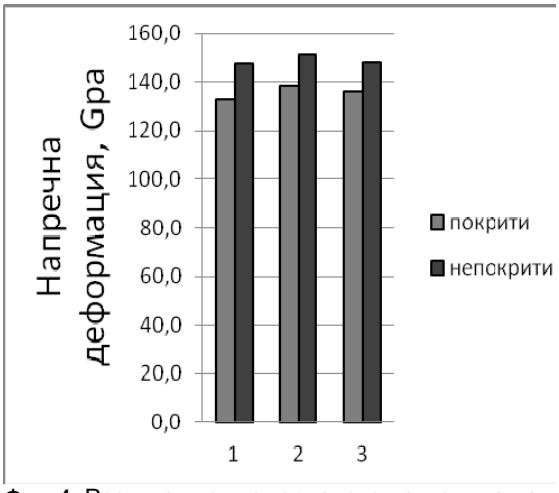
-метод на пропускане -имерсионен вариант.

Методиките за контактно измерване на скоростите на надлъжните и напречните вълни са представени подробно в [5]. Използват се компютъризирани ултразвукови апарати. Апаратите имат честотна лента от 0.1 – 25 MHz и честотата на семплиране 100 (160) MHz Точността на измерването на времето е 1 ns [6]. Използвани са ултразвукови осезатели, работещи при честота 5 MHz.

От графиките изобразени на фиг. 3 и фиг. 4 са определени модула на напречна деформация и модула на Юнг в GPa на непокрити и покрити със стъкловъглерод образци от корундова керамика. Основният извод, който може да се направи, е че стъкловъглеродът постепенно уплътнява и изглажда повърхността на корундовата керамика като повишава модула на еластичност и модула на напречна деформация. При определяне на твърдостта на пробите показани в таблица 1 забелязваме слабо намаление на микротвърдостта на повърхността на корундовата керамика, покрита с нановъглерод в сравнение с непокритата. Това може да се обясни с по-малката твърдост на стъкловъглерода-8 по скалата на Моос от тази на корундовата керамика, която е 9 по Моос, от една страна, а от друга възможността за попадане на индентора на микропора, тъй като още не е покрит на пълно корундовия образец със стъкловъглерод.




Фиг. 3. Резултати от измерването на модула на Юнг на непокрит и покрит образец




Фиг. 4. Резултати от измерването на модула на напречна деформация на непокрит и покрит образец

Таблица. 1

| Образец № | h [мм] | ρ [кг/м$^3$] | Hv [GPa] | $V_l$ [m/s] | E [GPa] | G [Gpa] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Непокрити образци | 10,6 | 3870 | 11036 | C l 10 269<br>C t 5 953 | 345 | 138.2 |
| | 10.5 | 3866 | 10921 | C l 10 219<br>C t 5 912 | 338.6 | 136.0 |
| | 10.6 | 3861 | 11043 | C l 10 169<br>C t 5 863 | 330.4 | 133.0 |
| Покрити Образци | 7,8 | 3901 | 9954 | C l 10 380<br>C t 5895 | 369.1 | 148.2 |
| | 7.8 | 3913 | 10057 | C l 10 564<br>C t 5972 | 378.0 | 151.3 |
| | 7.7 | 3900 | 9944 | C l 10 365<br>C t 5833 | 366.7 | 147.6 |

h 羊 дебелина на образеца;

ρ 羊 плътност на образеца;

$v_l$ 羊 скорост на ултразвук (Sonic velocity); Cl- надлъжни и Ct-напречни вълни.

E 羊 Модул на Юнг (Young's modulus), G-модул на напречна деформация,

От показаните резултати в Таблица 1 може да се направи извода, че модулът на еластичност на корундовата керамика е около 340 GPa, като след покриване покриване с нановъглерод нараства до около 380 GPa. При плътността на пробните образци също се наблюдава увеличение от 3861kg/m$^3$ на непокритите до 3913kg/m$^3$ на покритите образци.




Фиг. 5. Снимка на корундова глава за тазобедрена става: 1-бисквитирана; 2 и 3 окончателно спечени готови за покриване със стъкловъглерод



Фиг. 6. Снимки на четири броя керамични глави, уплътнени и покрити със стъкловъглерод

За постигане на необходимата гладкост на работните повърхности на керамичните глави, те се подлагат циклично на покриване със стъкловъглерод, междинно полиране с диамантена паста, химическо почистване и отново покриване със стъкловъглерод. След всяко полиране се извършва контрол на гладкостта на повърхностите на главите. И така циклите се повтарят до постигане на необходимия клас на грапавост на работните повърхности. Всеки цикъл се състои от неколкократно нанасяне на стъкловъглероден слой, обикновенно 6 до 9 нанасяния и последващо полиране.

На фиг.6 са показани различни по размер корундови глави покрити с нановъглерод, които се явяват краен продукт готов за монтиране към титаново стебло на ендопротеза респективно към тазобедрената става.

### 3. Заключения

Доказано е, че използването на добавки в корундовата керамика до 1% от $CaTiO_3$ повишават физико-механичните и показатели и същевременно се понижава температурата на спичане.

Установено е, че покриването на този вид корундова керамика с нановъглерод допълнително увеличава плътността на биокерамиката, модула на еластичност, нейната износоустойчивост и корозионна устойчивост.

Създадена е технология за за получаване на ендопротези от биокерамичен материал с високи физико-механични и химични изисквания за приложение в медицината.

### Литература:

1. M a r i, A., Injury, Int. J. Care Injured 31 (2000), S-D33-36.
2. E m o r y, A., Amer.Ceram.Soc.Bull., 2001, №3, 23-26.
3. W i l m a n n, G., Handbook of Ceramics 1998, Vertag Schmid GmbH, Freiburg i.Brg.(Supplement to Interceram, 1998, № 2, 5-8.
4. Г у д у ш а у р и, О. Н., Ортопедия и травматология, 1986, №1, 60-61.
5. И в а н о в а, Й., Т. П а р т а л и н, Т. А в д ж и е в а, Акустични изследвания на микроструктурата на стомани, Акустика, 13 (13), 2011, 132-142 (ISSN: 1312-4897).
6. ASTM E494, Standard practice for measuring ultrasonic velocity in materials

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# СИНТЕЗ НА НАНОРАЗМЕРНИ ДИАМАНТИ С ИЗПОЛЗВАНЕ ЕНЕРГИЯТА НА ВЗРИВА

**Людмил Марков**

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

***Ключови думи:*** *взривен синтез, нанодиамант (НД)*

***Резюме:*** *В представената работа е описан синтез на нанодиамант (НД) от свободния въглерод на взривните вещества в процеса на взрива. Показани са някои по-важни характеристики на използваните заряди и получените НД. Показана е експерименталната установка, в която е получен НД.*

# SYNTESIS NANOSIZED DIAMONDS USING THE ENERGY OF THE BLAST

**Ludmil Markov**

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

***Keywords:*** *detonation synthesis, nanodiamond (ND)*

***Abstract:*** *The detonation synthesis of nanodiamond (ND) from the free carbon of explosives is presented. The most important parameters of the used explosive charges are given, as well as the properties of the ND obtained. The experimental explosive camera for the synthesis of ND is shown.*

Получаването на нанодиамантени частици (НД) чрез взривен способ, както и тяхното приложение, през последните години привлича все по-голямо внимание. Експерименталното решение на проблема се базира на предположението, че при взривяването на взривните вещества (ВВ) с отрицателен кислороден баланс освободения въглерод се превръща в диамант при съответните стойности на налягането p и температурата T.

Детонационната вълна представлява комплекс от ударна вълна на фронта, на която започва разлагането на ВВ, следвана от зоната на химичната реакция, завършваща в точката на Чемпен-Жуге. Изчислените стоиности на p и T в детонационната вълна за някои ВВ, съпоставени с фазовата диаграма на въглерода (фиг.1) показват, че свободният въглерод кондензира в диамант. Например, за заряди от ТХ 50/50 (тротил/хексоген с плътност 1,67 g/cm$^3$) точката на Жуге лежи в областта на течния въглерод, следователно диамантът кристализира от микрокапките C и при разширението на продуктите от взрива се превръща в графит.

Количеството на отделящият се C зависи от състава на ВВ, плътността $\rho_0$ на заряда и условията на взрива. За синтез на диаманта е целесъобразно да се използват смесени ВВ, при които зоната на химичната реакция е по широка и се създава микротурболентност, способстваща нарастването на диамантените кристали. Като най-перспективни се очертаха следните ВВ: тринитротолуол, динитротолуол, динитронафталин, тетрил, хексоген, тен, а така също и техните смеси или комбинация с други вещества, при което се постига понижаване на кислородния баланс или насищане с въглерод.

Опирайки се на гореизложените теоретични предпоставки в ИКИТ-БАН беше синтезиран по взривен път НД. Понятието “синтез на НД“ включва следните компоненти:

- разработване на физико-химичен модел на явлението;
- оптимизация на състава и геометрията на зарядите;

- определяне на отношението на взривна маса, обем на камерата и характеристики на охлаждащата среда, с цел да се запазят диамантените частици;

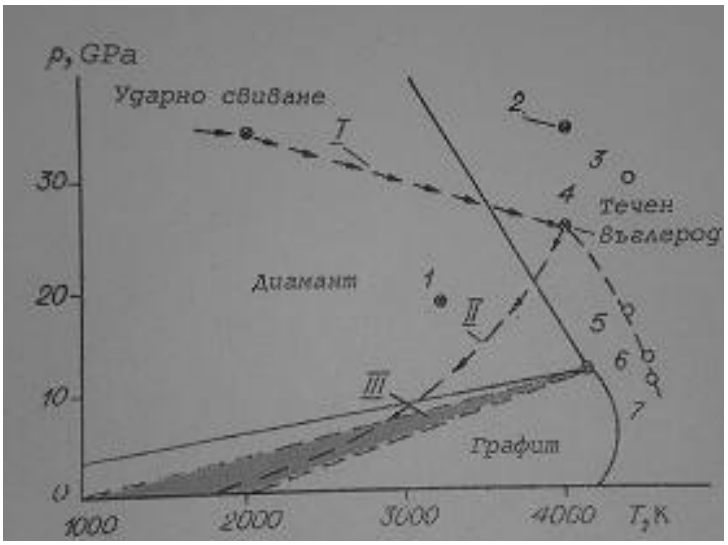
- пречистване на твърдия остатък въглеродна маса (от недиамантени форми) и на другите примеси;

- проучване на структурата и характеристиките на НД;

- други фактори от техническо и технологично естество.

В процеса на експериментиране най-удачни се оказаха взривните смеси тротил/хексоген (TNT/RDx), при които се отделя значително количество свободен въглерод и при взривяването им се постигат необходимите за синтез на диаманта термодинамични параметри.

Зарядите с цилиндрична форма и съотношение TNT:RDx (50÷70) : (50÷30) бяха поставени в обвивка от лед, охладен под -25$^{o}$C и взривени във взривна камера (фиг.2) при радиално-аксиално разпространение на фронта на детонационната вълна.




Фиг. 1. Фазова диаграма- I – химическа реакция; II – изоентропа на разширението; III – графитизация на диаманта ,1 – тротил; 2 – хексоген; 3 – тен; 4-7 – точка на Жуге при $\rho_0$=1,67 (4), $\rho_0$=1,43 (5), $\rho_0$=1,25 (6), $\rho_0$=1,11 (7) за ТХ 50/50

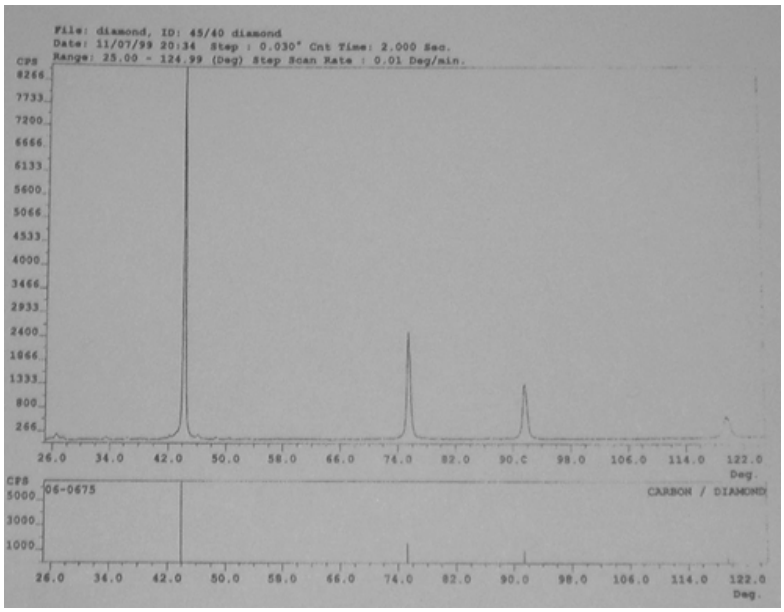


Фиг. 2. Общ вид на взривната камера

Получената водна суспензия от диамантена шихта беше филтрувана и подложена на химическо пречистване за изгаряне на органиката (основно наносажди), в смес от калиев

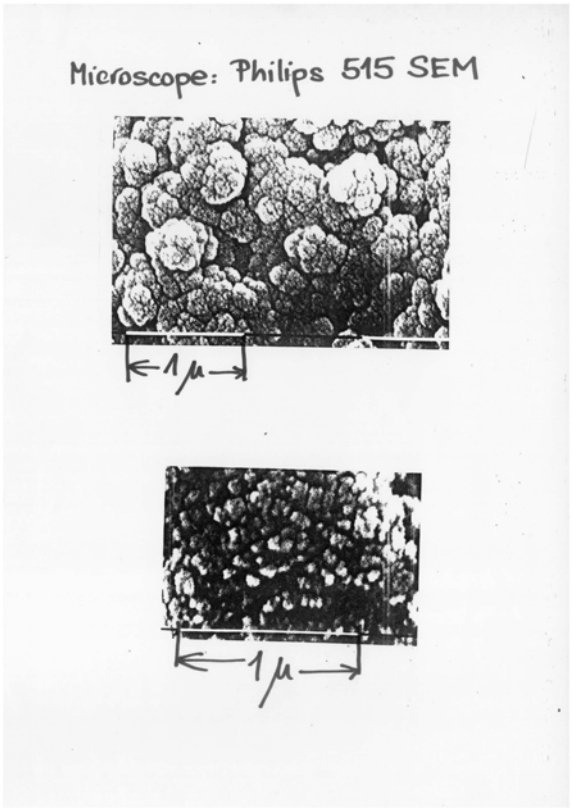
бихромат и сярна киселина в определено съотношение. По-нататъшното пречистване на суспензията беше извършено с разтвори на сярна и солна киселини.

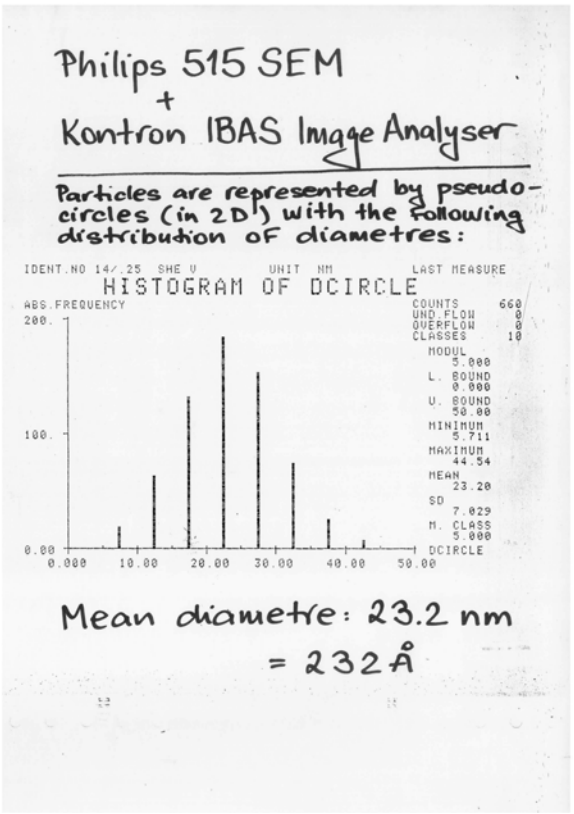
Полученият НД представлява фин сив прах, с чистота 99,9%, пикнометрична плътност – 3,16 g/cm$^3$ и специфична повърхност до 400 m$^2$/g. Приложената ренгенограма (Фиг.3) се характеризира с три добре оформени рефлекса, показващи незначителни остатъци от графит.




Фиг. 3

Изследванията, извършени със сканиращ електронен микроскоп и проведената компютърна обработка на образите показват, че частиците НД са почти изометрични със среден размер 4÷7nm. (фиг.4 и фиг.5).




Фиг. 4

фиг. 5

При нормални условия частиците са агрегирани в агломерати с гроздовидна форма, достигащи размери от порядъка на микрони. Разрушаването на тези агрегати беше извършено чрез неколкократно замразяване на суспензията от НД и вода при температура на течния азот и последваща обработка с мощен ултразвуков генератор, при използване на подходящи разтворители. При съчетаването на тези два метода се получава НД с описаните по-горе свойства, висока седиментна устойчивост и аномално високи адсорбционни свойства.

**Изводи:**

1. Разработен е метод за взривен синтез на НД.
2. Получени са и охарактеризирани наноразмерни диамантени частици.

**Литература:**

1. BG патент № 49267
2. US патент № 5,353,708

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ВЗРИВНО СИНТЕЗИРАН, ДЕАГРЕГИРАН И МОДИФИЦИРАН НАНОДИАМАНТ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ В НАНОМОДИФИЦИРАНИ СПЛАВИ

**Людмил Марков[1], Юлиян Караджов[1], Росица Димитрова[2], Валентин Манолов[2]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2]Институт по металознание, съоръжения и технологии „Акад. А. Балевски"с център по хидроаеродинамика - Българска академия на науките*
*e-mail: lmarkov@space.bas.bg, doctorka@abv.bg, rossy@ims.bas.bg, v.manolov@ims.bas.bg*

***Ключови думи**: нанодиамант (НД), наномодифицирани сплави*

***Резюме:** В представената работа е описано приложението на наноразмерен диамант (НД) при получаването на наномодифицирани сплави. Описани са методи за деагрегация на първоначално получените агрегати от НД, както и за тяхната метализация. Представени са резултати от металографски анализ на отливки от сплав AlSi7Mg, след въвеждане на НД в стопилката.*

# EXPLOSIVE SYNTHESZED DEAGGREGATED AND MODIFIED NANODIAMOND FOR APPLICATION IN NANOMODIFIED ALLOYS

**Ludmil Markov[1], Julian Karadjov[1], Rositza Dimitrova[2], Valentin Manolov[2]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Institute of Metal Science, Equipment and Technologies "Acad. A. Balevski" with Hydroaerodynamics Centre – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: lmarkov@space.bas.bg, doctorka@abv.bg, rossy@ims.bas.bg, v.manolov@ims.bas.bg*

***Keywords:** nanodiamond (ND), nanomodified alloys*

***Abstract:** The presented work contains a description of the usage of a nanosized diamond in the processes of creating nanomodified alloys. Methods for deaggregation of ND aggregates are presented, along with methods for metallization of ND. Results based on the metallographic analyses of AlSi7Mg alloy castings after adding of ND into the melt are given.*

Един перспективен метод за подобряване качествата на различни видове сплави се явява тяхното модифициране с наноразмерни частици.

В представената разработка беше използван взривно синтезиран нанодиамант (НД), представляващ фин сив прах, с чистота 99,9%, пикнометрична плътност – 3,16 g/cm$^3$ и специфична повърхност до 400 m$^2$/g,. Изследванията, извършени със сканиращ електронен микроскоп и проведената компютърна обработка на образите показват, че частиците НД са почти изометрични със среден размер 4÷7nm.

При обикновени условия частиците са агрегирани в агломерати с гроздовидна форма, достигащи размери от порядъка на микрони. Разрушаването на тези агрегати беше извършено чрез неколкократно замразяване на суспензията от НД и вода при температура на течния азот и последваща обработка с мощен ултразвуков генератор, при използване на подходящи разтворители. При съчетаването на тези два метода се получава НД с описаните по-горе свойства, висока седиментна устойчивост и аномално високи адсорбционни свойства.

При вграждане на нанодиаманти (НД) в метални сплави е целесъобразно те предварително да се метализират. Разработени бяха различни методи за химическо отлагане на метални покрития върху нанодиамантите. Най-удачни се оказаха покритията със сребро (10÷50%) и мед (50%).

Метализацията със сребро е проведена по метода на химическо отлагане от разтвор на сребърно комплексно съединение, което при редукция дава метално сребро. При тази реакция, известна като „сребърно огледало", върху стените на съда не се отложи почти никакво метално сребро, което означава, че то се е отложило изцяло върху повърхността на НД.

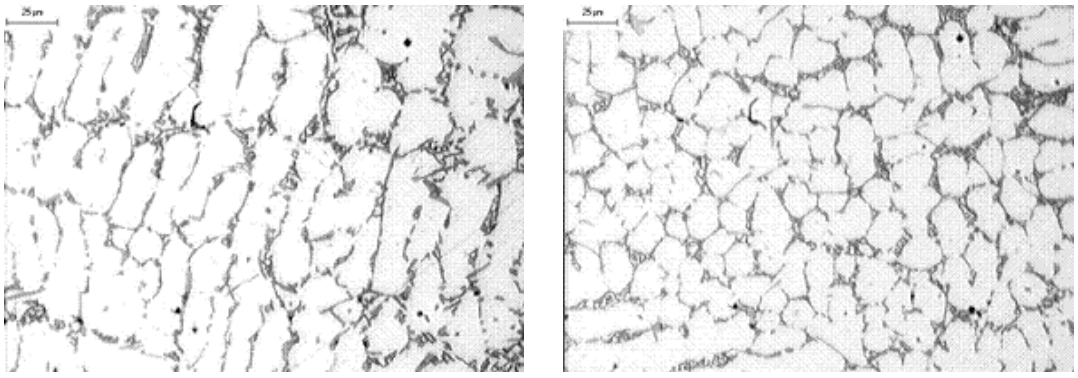
Метализацията с мед е проведена чрез редукция на медна сол с хипофосфит в присъствие на НД. Характерно за метода е, че се отлага мед със значителни примеси от меден хидрид, който би могъл да доведе до възможни проблеми при внасянето на така метализирания НД в сплави. Затова покрития с мед НД бе подложен на термична обработка във вакуум, при която се отделя потенциално рисковият водород и покритието от чиста мед се стабилизира.

Рентгеноструктурният анализ показва, че съдейки по ширината на металния пик покритията се проявяват като наноразмерни с характерен размер почти еднакъв с този на частиците НД. Трудно е да се каже дали това са метални наночастици, прилепнали към НД или повече или по-малко равномерен метален слой, който само рентгенографски се проявява като частица. Във всички случаи, метализацията оскъпява нанодиамантите незначително, но създава на повърхността им здраво захванати метални ядра.

НД са използвани за модифициране на алуминиева сплав AlSi7Mg, като към течната стопилка са добавени поотделно три вида НД с електрохимично покритие (~ 10 %) от различни метали:

- ND+Ag **-** прах от НД и плакиращ метал Ag. Концентрация на НД - 0.1% и 0.15 % от теглото на стопилката;
- ND+Cu **-** прах от НД и плакиращ метал Cu. Концентрация на НД - 0.15 %;
- ND+Ni **-** прах от НД и плакиращ метал Ni. Концентрация на НД - 0.15 %.

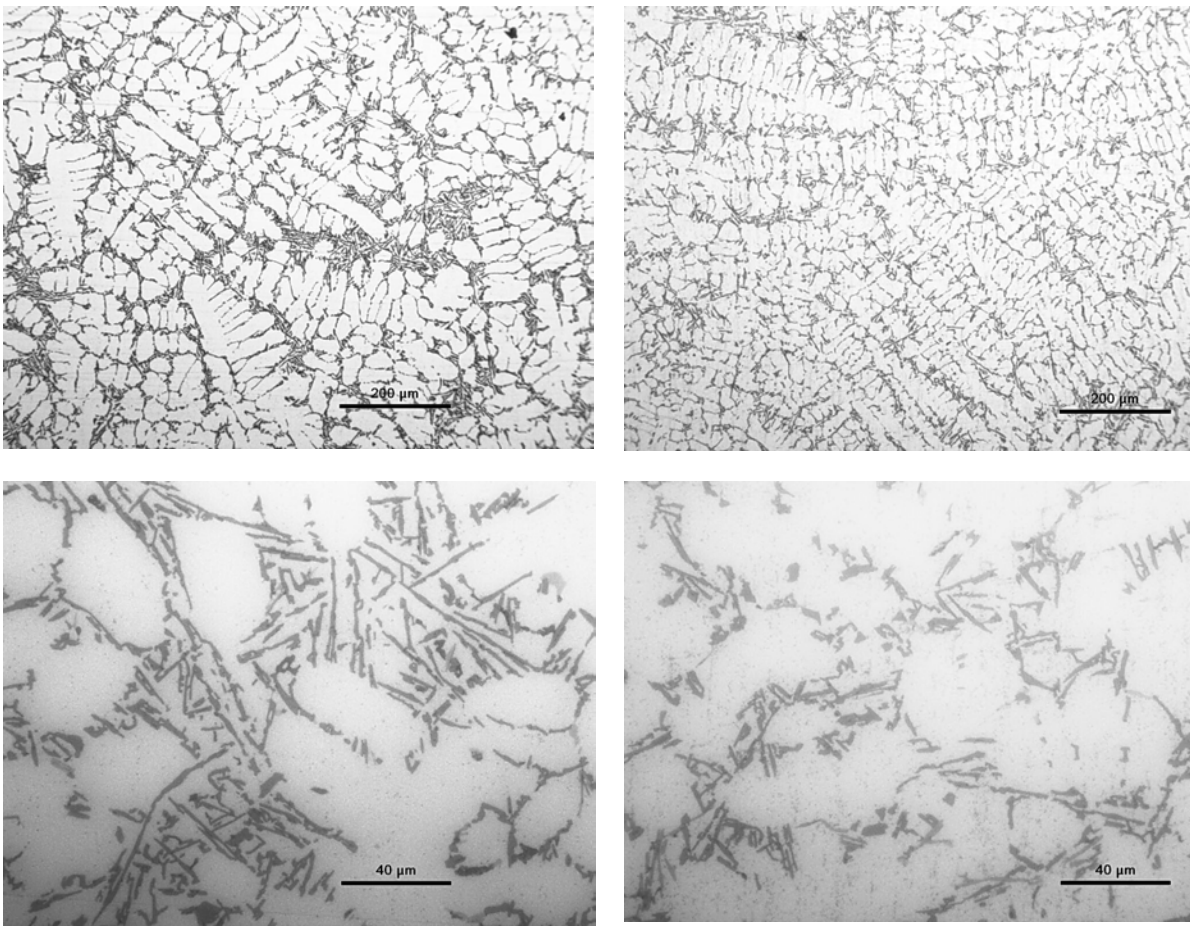
Добавката на 0.1 % ND+Ag в стопилката подобрява лятата структура. Формата на алуминиевите зърна от удължена става по-равноосна и размерите на тези окръглени кристални зърна рядко надвишава 50÷60 μm (фиг. 1). Обемната част на сферичните клетки в обработената с НД сплав нараства почти два пъти. Средният диаметър на зърната $D_{ср.}$ намалява с 26.7 % (от 17.93 μm на 13.15 μm), а стойностите на DAS - с 6.6 % (от 13.74 μm на 12.84 μm). Нарастването на микротвърдостта достига 15.3 % (от 58.2 kg/mm$^2$ на 67.1 kg/mm$^2$).



а) изходна б) с 0.1 % ND+Ag

Фиг. 1. Микроструктура (LM) на сплав AlSi7Mg

НД са използвани и за модифициране на отливка на реално използван в промишлеността детайл – т.нар. „Лодка носеща", която е част от електропреносната мрежа. Тя е отлята от сплав тип AlSi7Mg (EN AC42000AlSi7Mg), като към стопилката са добавени 0.15% ND+Ni (ND:Ni 1:0.1).




а) изходна б ) с 0.15% ND + Ni

Фиг. 2. Металографски снимки (LM) на сплав EN AC42000AlSi7Mg

В отливката с добавени НД (фиг.2) се наблюдава промяна на алуминиевите зърна, които стават по-равноосни. Средният им диаметър намалява с 30% (от 26.3 µm на 18.4 µm), DAS намалява с 25.5% (от 23.9 µm на 17.81 µm), средният диаметър на Si-частици намалява с 65 % (от 9.23 µm на 3.23 µm). Микротвърдостта се увеличава с 13.1 % (от 61 kg/mm$^2$ на 69 kg/mm$^2$), границата на провлачане нараства с 2.3% (от 128 MPa на 131 MPa), границата на якост – с 4.2% (от 192 MPa на 200 MPa), а относителното удължение нараства с 3.7% (от 2.7% на 2.8%).

**Изводи:**

1. Използваните методи за деагрегация и модификация на НД са подходящи за целта.
2. Представени са резултати от влиянието на нанодиамантите върху микроструктурата и механичните свойства на сплав AlSi7Mg и отливка тип „Лодка носеща”.
3. Внедряването на НД в сплави, полимери и композити е целесъобразно, като при Al сплави легирането с диамантен прах подобрява твърдостта и якостта. [2]

**Литература:**

1. US патент № 5,353,708
2. Б у з е к о в а - П е н к о в а, А. Програма и методика за провеждане на експеримент „обстановка“ на основата на дисперсноукрепена алуминиева сплав. Осма научна конференция с международно участие „Космос, екология, сигурност“, SES 2012, София, България, 4-6 Декември 2012 год.

Работата е част от Проект ТК01/076, финансиран от МОМН.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# VOLUME DEPENDENCE OF THE GRÜNEISEN RATIO FOR EQUATION-OF-STATE STUDIES. PHENOMENOLOGICAL EXPRESSIONS

**Valentin Gospodinov**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: v.gospodinov@gmail.com*

***Key words:*** *Grüneisen ratio, volume dependence, infinite compression limit.*

***Abstract:*** *This work presents an analysis of the existing self-contained expressions for the volume dependence of the Grüneisen ratio $\gamma$ in view of their further application to EOS (equation of state) studies. Phenomenological expressions for $\gamma$ are assessed and applied to materials with the major types of chemical bonds. Interpolation formulas were considered in a previous work of the author (Gospodinov, 2011). Predictions from regression analysis are compared to existing experimental data sets. All expressions predict with very good accuracy the values of $\gamma$ at ambient conditions and its volume variation in the low and intermediate pressure region, but fail to give correct values for its infinite compression limit. A possible reason for this is that all experiments are performed at comparatively low pressures. Experiments, performed at higher pressures are necessary to clarify the ability of the assessed models to predict the infinite compression limit of $\gamma$. The equation, proposed by Jeanloz (1989) is the best fit to experimental data. A modification to this equation, more convenient for use in shock physics, is proposed in the present work. It could be used jointly with the shock Hugoniot to derive a complete EOS for solids from their response to shock-wave loading.*

# ВЛИЯНИЕ НА ОБЕМНАТА ЗАВИСИМОСТ НА ПАРАМЕТЪРА НА ГРЮНАЙЗЕН ВЪРХУ УРАВНЕНИЕТО НА СЪСТОЯНИЕТО. ФЕНОМЕНОЛОГИЧНИ ИЗРАЗИ

**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, граница при безкрайна компресия*

***Резюме:*** *В настоящата работа са анализирани известните феноменологични изрази за зависимостта на параметъра на Грюнайзен γ от обема. Това е направено с оглед на тяхното използване за получаване на пълното уравнение на състоянието (УС) на твърди тела по реакцията им при взривноимпулсно въздействие. Тези изрази са приложени към материали с основните видове химична връзка. Резултатите, получени чрез регресионен анализ са сравнени със съществуващите експериментални резултати. Всички изрази описват с много добра точност стойностите на γ при атмосферни условия и изменението му в експериментално изследвания диапазон от налягания. Нито едно от разгледаните уравнения не предсказва правилно стойността на γ при P→∞. Вееоятна причина за това е, че всички експерименти са проведени при сравнително ниски налягания. Уравнението предложено от Jeanloz (1989) описва най-добре експерименталните резултати. В настоящата работа е предложена модификация на това уравнение, по-подходяща за приложение във физиката на ударните вълни. Тя може да се използва заедно със ударната адиабата за получаване на пълното УС на твърди тела по реакцията им при взривноимпулсно въздействие.*

## Introduction

To determine the functional dependence of the Grüneisen ratio on volume is a key problem in shock physics. Results from shock-wave experiments provide direct information on the compressional and thermal behavior of metals, ceramics, rocks, and minerals at high pressures and high

temperatures. Unfortunately, data points are often sparsely deployed and irregularly distributed. That is why it is a challenge, using this information, to have a go on deriving the complete EOS for solids from their response to shock-wave loading. Have it, one can easily obtain all their thermodynamic properties by simple differentiation.

In this way, it is possible not only to obtain a reliable interpolation tool, but to predict all compressional and thermal properties of solids in the whole high-pressure high-temperature region, attainable by shock-wave loading, standing on a sound physical basis.

One of the ways to derive a complete EOS for solids from their response to shock-wave loading is to use the specific form of the volume dependence of $\gamma$ together with the shock Hugoniot. That is why it is important to obtain the form of $\gamma$ independently of the shock Hugoniot or of an isotherm.

The Grüneisen ratio has both a statistical mechanics (microscopic) and thermodynamic (macroscopic) definition.

The thermodynamic definition of $\gamma$ represents it in terms of specific heat, thermal expansion coefficient, and bulk modulus

$$\gamma = V\left(\frac{\partial P}{\partial E}\right)_V = \frac{\alpha V B_T}{C_V} = \frac{\alpha V B_S}{C_P}, \tag{2}$$

where $\alpha$ is the thermal expansion coefficient, $C_V$ -- the specific heat at constant volume, $C_P$ -- the specific heat at constant pressure, $B_T$ -- the isothermal bulk modulus, and $B_S$ -- the adiabatic bulk modulus. In terms of its thermodynamic definition $\gamma$ may be considered the measure of the change of pressure resulting from the increase of internal energy at constant volume. The experimental determination of $\gamma$, based on its thermodynamic definition implies the concurrent measurement of the involved thermodynamic properties at high pressures or the experimental determination of the partial derivative in Eq.(2).

The statistical mechanics definition relates it to the vibrational frequencies of the atoms in the crystal lattice of a material

$$\gamma_i = -\frac{V}{\nu_i}\left(\frac{\partial \nu_i}{\partial V}\right)_T = -\left(\frac{\partial \ln \nu_i}{\partial \ln V}\right)_T \quad (i = 1, 2, ..., 3N), \tag{3}$$

where $\nu_i$ are the $3N$ vibrational frequencies of the crystal lattice. The volume dependence of all lattice vibrational frequencies is assumed one and the same [1, p.~130], so

$$\gamma = -\left(\frac{\partial \ln \nu}{\partial \ln V}\right)_T. \tag{4}$$

The experimental determination of the Grüneisen ratio from its microscopic definition is very difficult, since it requires a detailed knowledge of the phonon dispersion spectrum of a material.

Because of the scarce experimental results and the lack of first principle analytic equation, numerous phenomenological expressions for the volume dependence of $\gamma$ have been reported in literature. They predict a varying dependence of $\gamma$ as a function of volume and some of them even give different values for it at ambient pressure. Most of them are analyzed in two extensive reviews --- by Knopoff and Shapiro [2], and by Anderson [3]. Their accuracies are also compared in recent works by X. Peng *et al*. [5] and by Cui and Yu [6]. These papers are in the field of geophysics. It is characteristic of them that there is an intrinsic relationship between the expressions for $\gamma$, examined there, and the cold or the normal isotherm. Many of these expressions relate $\gamma$ at atmospheric pressure ($P = 0$) to the first derivative of the bulk modulus with respect to pressure or volume ($B_{T'}$).

To the author's knowledge, a comparison of the self-contained phenomenological expressions for the Grüneisen ratio, used in shock physics, has not been performed so far. Therefore, the objective of the present work is to collect the most commonly used expressions for $\gamma$ and analyze and compare them to existing experimental data. It differs from previous approaches [4-6, 8] in that:

- there is no intrinsic relationship between the expressions for $\gamma(V)$ analyzed here and the shock Hugoniot $P_H(V)$, the cold isotherm $P_c(V)$, or an arbitrary isotherm $P_T(V)$,
- the expressions are applied to materials with various chemical bonds --- metallic ($Cu$, $\varepsilon$-$Fe$, $K$), ionic ($NaCl$), and covalent ($MgO$).

The scope of the research with respect to the examined materials and the maximum applied pressure is limited by the availability of experimental data.

### 1. Phenomenological expressions for the Grüneisen ratio

There are several stand-alone expressions for the Grüneisen ratio which predict a varying dependence of $\gamma$ on volume.

Jeanloz [7], starting from the second Grüneisen ratio,

(5) $$q = \left(\frac{\partial \ln \gamma}{\partial \ln V}\right)_T,$$

assumed it to depend on volume only. The particular volume dependence he used is given by

(6) $$q = q_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{q'}.$$

The logarithmic derivative of $q$,

(7) $$q' = \frac{\mathrm{d} \ln q}{\mathrm{d} \ln V},$$

known as the third Grüneisen ratio, is supposed to be a material-dependent constant.

Then, for the particular volume dependence of $\gamma$, Jeanloz obtained

(8) $$\gamma = \gamma_0 exp\left\{\left(\frac{q_0}{q'}\right)\left[\left(\frac{V}{V_0}\right)^{q'} - 1\right]\right\},$$

where $\gamma_0$, $q_0$, and $V_0$ are the values of $\gamma$, $q$, and $V$ at ambient conditions.

Srivastava and Sinha [8] modify Eq.(8) to introduce in it the infinite compression limit of $\gamma$. They assume $\gamma_\infty = (12)$. For $P \to \infty$, i.e. $V \to 0$, Eq.(8) yields

(9) $$\gamma_\infty = \gamma_0 exp\left(-\frac{q_0}{q'}\right).$$

Now, following the model of an oscillating lattice of ions in a uniform neutralizing background of electrons, Eq.(9) gives

$$\gamma_0 exp\left(-\frac{q_0}{q'}\right) = \frac{1}{2},$$

or $q_0 / q' = \ln(2\gamma_0)$. Then, Eq.(8) takes the form

(10) $$\gamma = \gamma_0 exp\left\{\ln(2\gamma_0)\left[\left(\frac{V}{V_0}\right)^{q'} - 1\right]\right\}.$$

This equation satisfies the infinite compression limit for $\gamma$, i.e. at $P \to \infty$ or $V \to 0$, $\gamma = \gamma_\infty = (12)$.

Other researchers [9-12] have favored for solids $\gamma_\infty = (23)$ which follows from the degenerate electron gas model. Therefore, Eq.(9) with $\gamma_\infty = (23)$ should be considered as well. With $(23)$ as the infinite compression limit in Eq.(8), we have

(11) $$\gamma = \gamma_0 exp\left\{\ln\left(\frac{3}{2}\gamma_0\right)\left[\left(\frac{V}{V_0}\right)^{q'} - 1\right]\right\}.$$

Here I propose a general form of Eq.(8) which incorporates both Eqs.(10) and (11)

(12) $$\gamma = \gamma_0 exp\left\{\ln\left(\frac{\gamma_0}{\gamma_\infty}\right)\left[\left(\frac{V}{V_0}\right)^{q'} - 1\right]\right\}.$$

In this equation $\gamma_0$, $\gamma_\infty$, and $q'$ are treated as free parameters and will be determined by regression analysis of the experimental data sets.

Rice has also derived an expression for $\gamma$ [13] based on its thermodynamic definition. He makes two assumptions: first, that the Grüneisen ratio $\gamma = V(\partial P / \partial E)_V$ is a function of volume only; and second, that the adiabatic bulk modulus $B_S = -V((\partial P / \partial V)_S$ is also a function of volume only. His expression has the form:

(13) $$(V_0 / V)\gamma = (\varepsilon + 1/\gamma_0)^{-1}.$$

After some rearrangements we obtain:

(14) $$\gamma = \gamma_0(1-\varepsilon)(1+\gamma_0\varepsilon)^{-1},$$

where $\varepsilon = 1 - V/V_0$ is the dimensionless volume.

Equations (13) and (14) give incorrect value for $\gamma_\infty$, i.e. $'0'$ and fail to describe adequately any of the datasets used here. That is why they are excluded from further consideration. The results from the calculations and a comparison of the other expressions are presented in the next section. The values of $\gamma_\infty$, obtained by regression analysis, are given careful consideration there as well.

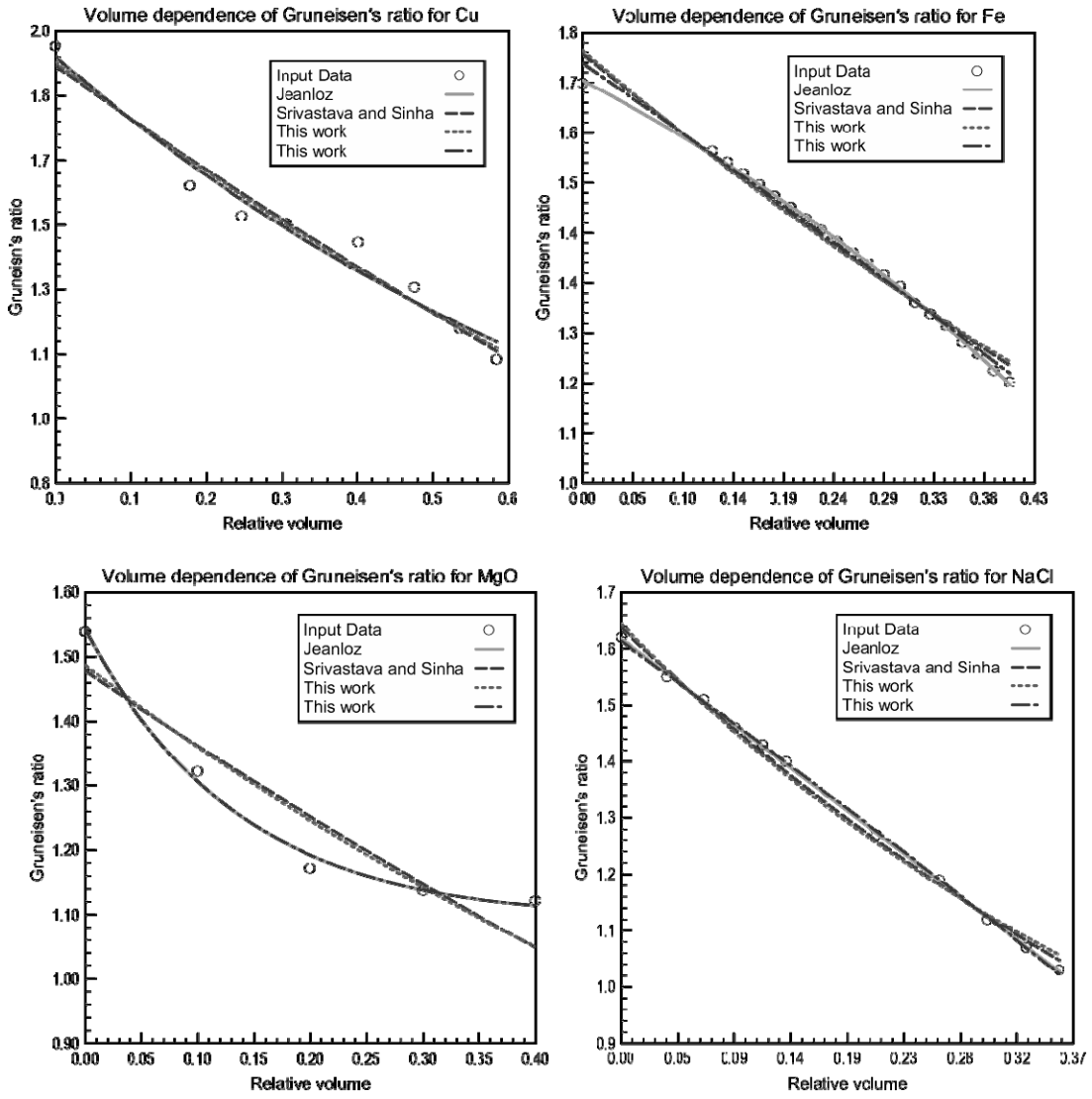



Figure 1. Volume dependence of the Grüneisen ratio for $Cu$, $Fe$, $MgO$ and $NaCl$

### 2. Fitting the expressions for $\gamma(V)$ to experimental data

The experimental points for the regression analysis of the models (Eqs.(8, 10, 11, 12) are taken from [14-19]. In these papers diverse variables are used for the volume dependence of $\gamma$ --- $\rho/\rho_0$, $\eta = V/V_0$, $\varepsilon = 1 - V/V_0$. In the present work the relative volume $\varepsilon = 1 - V/V_0$ is introduced in all models.

Table 1. Experimental and calculated values of $\gamma_0$

| $\gamma_0$ | Cu | $\varepsilon$ -Fe | K | NaCl | MgO |
|---|---|---|---|---|---|
| Experimental value | 2.0 | 1.71 | 1.27 | 1.62 | 1.539 |
| Jeanloz [7] | 1.933 | 1.715 | 1.267 | 1.618 | 1.542 |
| Srivastava and Sinha [8] | 1.908 | 1.761 | 1.268 | 1.637 | 1.478 |
| This work | 1.918 | 1.767 | 1.278 | 1.644 | 1.487 |
| This work | 1.933 | 1.745 | 1.267 | 1.620 | 1.542 |

Table 2. Coefficient of multiple determination $R^2$ and error in $\gamma$ [%] for *Cu*, $\varepsilon$ *-Fe*, and *K*

| Equations | Cu | | ε-Fe | | K | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $R^2$ | Error in γ [%] | $R^2$ | Error in γ [%] | $R^2$ | Error in γ [%] |
| Jeanloz [8] | 0.966 | 5.634 | 0.999 | 0.342 | 0.998 | 1.067 |
| Srivastava and Sinha [9] | 0.962 | 5.437 | 0.984 | 1.828 | 0.998 | 0.972 |
| This work | 0.964 | 5.263 | 0979 | 2.126 | 0.988 | 2.259 |
| This work | 0.966 | 5.634 | 0.994 | 1.162 | 0.998 | 1.067 |

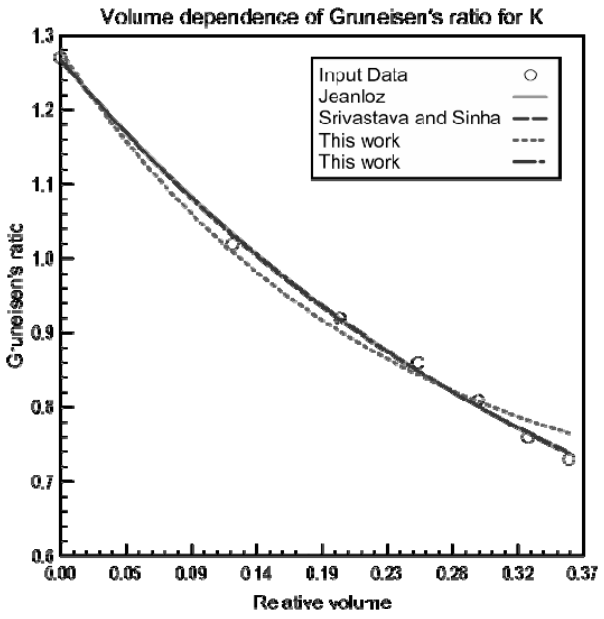



Figure 2. Volume dependence of the Grüneisen ratio for $K$

Table 3. Coefficient of multiple determination $R^2$ and error in $\gamma$ [%] for *NaCl* and *MgO*

| Equations | NaCl | | MgO | |
|---|---|---|---|---|
| | $R^2$ | Error in $\gamma$ [%] | $R^2$ | Error in $\gamma$ [%] |
| Jeanloz [7] | 0.999 | 0.423 | 0.994 | 1.922 |
| Srivastava and Sinha [8] | 0.996 | 1.378 | 0.861 | 7.562 |
| This work | 0.992 | 1.916 | 0.879 | 7.059 |
| This work | 0.999 | 0.438 | 0.994 | 1.922 |

The value of $\gamma$ at ambient conditions $\gamma_0$, $\gamma_\infty$ -- the value of $\gamma$ at $P \to \infty$, the second and the third Grüneisen ratios $q$ and $q'$ are the parameters to be determined from the best fit of the experimental datasets.

The calculated results are presented in Tabls.(1) - (3) and in Figs.(1) - (2) along with the experimental data points for comparison.

From Tabls.(1) - (3) and Figs.(1) - (2) we can see that Eqs.((8) and (10) - (12) are in good agreement with the experimental datasets. In all cases Eqs. (8) and (12) have the highest and practically coinciding coefficients of multiple determination $R^2$ and the smallest error in $\gamma$. The errors in $\gamma$ for the other expressions 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.

### 3. The infinite compression limit of $\gamma$

One of the considered models --- Eq. (12) contains $\gamma_\infty$ (the value of $\gamma$ at P$\to\infty$). It is assumed that at infinite pressure ($P \to \infty$) solids become a crystalline one-component plasma, i.e. an oscillating lattice of ions in a uniform neutralizing background of electrons [20, Ch.~17]. A number of theoretical works predict $\gamma$ = 1/2 for this limiting state of a solid. Kopyshev [21] calculated $\gamma(V)$ in the Thomas-Fermi approximation and found $\gamma$ = 1/2 as $P \to \infty$. Various theoretical studies by other authors [22-24] as well as simple dimensional arguments by Hubbard [25, p.~34] also lead to $\gamma$ = 1/2 as $P \to \infty$. Other researchers [12, and references cited therein] consider (2/3) a more appropriate value of $\gamma_\infty$ for solids due to the fact that the linear temperature dependence of the electronic specific heat of the degenerate free electron gas dominates over the phonon contribution when the Debye temperature is increased sufficiently. Al'tshuler *et al* [14] assume 2/3 to be the infinite compression limit of $\gamma$ for all materials except alkali metals, for which $\gamma_\infty$=1/2.

Unfortunately, none of the expressions for $\gamma(V)$, considered in the present work follow either of these constraints at infinite pressure. Values for $\gamma_\infty$, obtained by regression analysis from Eq.(12) are far from (1/2) or (2/3). The values of $\gamma_\infty$, calculated from Eq.(9) are also far from theoretical predictions.

### 4. Conclusions

The most frequently used self-contained expressions for the volume dependence of the Grüneisen ratio have been considered in the present work and compared to available experimental data for $Cu$, $\varepsilon$-$Fe$, $K$, $MgO$, and $NaCl$.

All expressions predict with very good accuracy values for $\gamma$ at ambient conditions and its volume variation in the low and intermediate pressure region, but fail to give correct values for its infinite compression limit. The model proposed by Jeanloz [7] and its modification in the present work are the best fits to the experimental data sets. In view of its possible application to deriving a complete EOS for solids from their response to shock-wave loading Eq.(12) is more convenient to use than Eq.(8) because it contains $\gamma_\infty$ instead of $q_0$, which is not frequently used in shock physics.

None of the models, considered here, predict correct values for $\gamma_\infty$. According to Young [20, Ch.17] matter approaches its infinite compression state when $\rho / \rho_0$ : 10, or, in terms of relative

volume $\varepsilon$: 0.9. If we accept this criterion, we could say that the experimental data sets, used in this work are nearer to the origin of the pressure axis than to $P \to \infty$. In the case of $\varepsilon$-$Fe$ [16] at $P = 359.5GPa$ (the highest pressure in the experiments considered here) $\rho / \rho_0 = 1.684$. That is why the predictions for $\gamma_\infty$ from the regression analysis are not good.

It is obvious that experiments at higher pressures are necessary to determine more reliably the infinite compression limit of $\gamma$. Computer simulations easily surmount the limitations of laboratory experiments. They could be used to clarify the ability of the considered models to predict the infinite compression limit of $\gamma$.

These inferences trace out a possible line for continuation of the present research. A regression analysis of results from computer simulations, using the models, considered here, might elucidate their ability to predict $\gamma_\infty$.

**References:**


1. Girifalco, L. A. *Statistical mechanics of solids*, Oxford University Press: New York, 2000.
2. 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).
3. Anderson, O. L., "The Grüneisen ratio for the last 30 years", *Geophys. J. Int.*, 143, 279-294 (2000).
4. Vocadlo, L., J. P. Poirer, and G.D. Price, "Grüneisen parameters and isothermal equations of state" *Am. Mineral*., 85(2), 390-395 (2000).
5. Peng, X., L. Xing, and Zh. Fang, "Comparing research on the pressure or volume dependence of Grüneisen parameter", *Physica B*, 394, 111-114 (2007).
6. Guang-lei Cui and Rui-lan Yu, "Volume and pressure dependence of the Grüneisen parameter $\gamma$ for solids at high temperature", *Physica B*, 390, 220-224 (2007).
7. Jeanloz, R., "Shock wave equation of state and finite strain theory", *J.Geophys.Res.*, 94(B5), 5873-5886 (1989).
8. Srivastava, S. K. and P. Sinha, "Analysis of volume dependence of Grüneisen ratio", *Physica B*, 404, 4316-4320 (2009).
9. Bennet, B. I., J. D. Johnson, G. I. Kerley, and G. T. Root, *Los Alamos Scientific Laboratory report LA--7130* (1978).
10. Thomson, S. L. and H.S. Lauson, *Sandia Livermore Corporation report SC-RR-710714* (1972).
11. Royce, E. *Lawrence Livermore Laboratory report UCRL 51121* (1971).
12. Holzapfel, W. B., Hartwig, M., and Sievers, W. "Equations of state for Cu, Ag, and Au for wide ranges in temperature and pressure up to 500 GPa and above", *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 30 (2), 515-530, (2001).
13. Rice, M. H., "Pressure-volume relations for the alkali metals from shock-wave measurements", *J. Phys. Chem. Solids*, 26, 483-492, (1965).
14. Altshuler, L. V., S. E. Brusnikin, and E. A. Kuzmenkov, "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)
15. 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).
16. Anderson, O. L., L. Dubrovinsky, S. K. Saxena, and T. Le Bihan, "Experimental vibrational Grüneisen ratio values for $\varepsilon$-iron up to 330 GPa at 300 K", *Geophys. Res. Lett.*, 28(2), 399-402 (2001).
17. Anderson, O. L., L. Dubrovinsky, S. K. Saxena, and T. Le Bihan, Correction to "Experimental vibrational Grüneisen ratio values for $\varepsilon$-iron up to 330 GPa at 300 K", *Geophys. Res. Lett.*, 28(12), 2359 (2001).
18. Boehler, R., "Melting temperature, adiabats, and Grüneisen parameter of lithium, sodium and potassium versus pressure", *Phys. Rev. B* 27, 6754 (1983).
19. Anderson, O. L., H. Oda, A. Chopelas, and D. G. Isaak, "A thermodynamic theory of the Grüneisen ratio at extreme conditions: MgO as an example", *Phys.Chem.Min*, 19(6), 369-380 (1993).
20. Young, D. A. *Phase diagrams of the elements*. University of California Press: Berkeley, 1991.
21. Kopyshev, V. P. "Konstanta Gryunajzena v priblizhenii Tomasa – Fermi", *Dokl. AN SSSR*, 161(5), 1067-1068, (1965). [in Russian]
22. Holt, A. C., and Ross, M. "Calculations of the Grüneisen parameter for some models of the solid", *Phys. Rev. B*, 1(6), 2700, (1970).
23. Ross, M. "Matter under extreme conditions of temperature and pressure", *Rep. Progr. Phys.*, 48 (1), 1, (1985).
24. Nagara, H., and Nakamura, T. "Theory of lattice-dynamical properties of compressed solids", *Phys. Rev. B*, 31 (4), 1844, (1985).
25. Hubbard, W. B. *Planetary interiors*. Van Nostrand Reinhold Co: New York, 1984, 343 p.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ON SOME EXPERIMENTAL STUDIES OF THE QUANTUM CONFINED STARK EFFECT IN SEMICONDUCTOR NANOSTRUCTURES

**Adelina Miteva[1], Valeria Stoyanova[2]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Institute of Physical Chemistry – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: ad.miteva@gmail.com; valeria@ipc.bas.bg*

***Keywords:*** *Quantum confined Stark effect (QCSE), experimental studies, quantum wells, semiconductor nanostructures*

***Abstract:*** *Quantum confined Stark effect is a strong, electric field dependent change in optical absorption that has been seen in nanostructure materials. Its study has attracted a lot of attention as it is important both for fundamental physics and in devices for optoelectronic applications. The present paper is a brief overview of the experimental methods and techniques for investigation of QCSE in quantum well materials, based on measurements of their photoluminescence, absorption spectra, exciton transitions, cathodoluminescence spectroscopy, electrorefraction, etc.*

# НЯКОИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА КВАНТОВО-РАЗМЕРНИЯ ЩАРК ЕФЕКТ В ПОЛУПРОВОДНИКОВИ НАНОСТРУКТУРИ

**Аделина Митева[1], Валерия Стоянова[2]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2]Институт по физикохимия – Българска академия на науките*
*e-mail: ad.miteva@gmail.com; valeria@ipc.bas.bg*

***Ключови думи:*** *Квантово-размерен Щарк ефект, експериментални изследвания, квантови ями, полупроводникови наноструктури*

***Резюме:*** *Квантово-размерният Щарк ефект (QCSE) е силна промяна в оптичното поглъщане, което е наблюдавано в наноструктурни материали, при прилагане на електрическо поле. Неговото проучване е привлякло много внимание, тъй като това е важно както за фундаменталната физика, така и в устройствата за оптоелектронни приложения. Настоящата статия е един кратък преглед на експерименталните методи и техники за изследване на QCSE в материалите с квантови ями, на базата на измервания на тяхната фотолуминисценция, абсорбционни спектри, екситонни преходи, катодолуминесцентна спектроскопия, елестроотражение и т.н.*

## Introduction

The present work is motivated by the tremendous interest in the semiconductor nanostructures. This interest is due to their actual and potential applications in various electro-optical devices. Semiconductor heterostructures and particularly, double heterostructures, including semiconductor superlattices (SLs), quantum wells, quantum wires, and quantum dots, are today the subject of research of two-thirds of the semiconductor physics community [1].

The definition of quantum confined Stark effect (QCSE) in semiconductor QWs is: effect of an external constant electric field on the energy levels of quasi 2D electron gases or quantum well (QW) structures [2] ( see Fig.1.).

There are two kinds of QCSE in QWs, depending on direction of applied electric field *F*:

(a) - longitudinal QCSE. *F* parallel to the growth axis / perpendicular to QW layers;

(b) - transverse QCSE. *F* perpendicular to the growth axis.

The transverse field problem is similar to the bulk problem and excitonic transition disappears at low field (< 10 kV/cm). The absorption edge shifts to lower energy as in the bulk problem. Therefore here we pay attention only to the longitudinal QCSE.

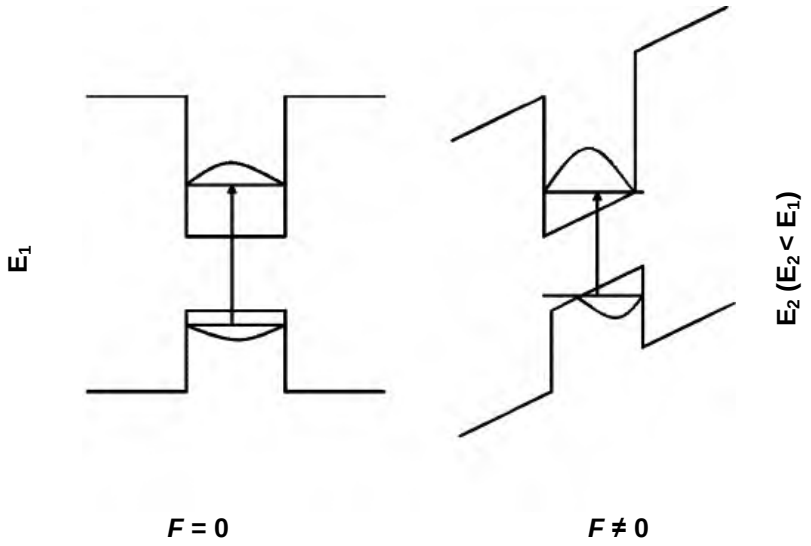



Fig.1. - QCSE in QWs. The distortion of the QW potential with applied electric field *F*. Under application of a static electric field perpendicular to the QW layers, the energy levels are shifted from their zero-field positions

The study of the QCSE when a longitudinal electric field *F* is applied to the QWs has attracted much attention both experimentally and theoretically [1-12], as it is important both for fundamental physics and in devices for optoelectronic applications. The detailed knowledge of the electronic and consequently optical spectra in QWs is quite essential to understand their device applications, for understanding the operating principles of the devices, based on the QCSE principle. The present paper is a brief overview of the experimental methods and techniques for investigation of the QCSE in quantum well materials. Some of the experimental techniques employed in measurements of QCSE and energy level Stark shifts in QWs are: picosecond luminescence, absorption current spectroscopy, electroabsorption, photoluminescence spectroscopy, electroreflectance and time-resolved photoluminescence [7-12]. The experimental methods and techniques for investigation of QCSE in quantum well materials are presented in this paper in the form of a sequence of examples.

**Experimental studies**

The QCSE can be understood on the basis of the same formalism as the one discussed for the exciton and band to band transitions in absence of the electric field as long as one can assume that the QW subband levels are reasonably confined states. In principle, the QW states are quasi-bound states in presence of the field with the wavefunction primarily peaked in the QW region. In the addressing exciton problem one assumes that the subband states are localized in the well and the exciton can be made up of only the confined states. There are several effects that occur in the presence of the longitudinal electric field:

1. The intersubband separations change. The field pushes the electron and hole functions to opposite sides (towards each band edge) making the ground state intersubband separation smaller. This effect is the dominant term in changing the exciton resonance energy.

2. Due to the separation of the electron and hole wavefunction, the binding energy of the exciton decreases (ground-state exciton peak energy decreases without severe line broadening of the exciton resonance).

Usually, there are two ways of applying the electric field to the QW microstructures designed for Stark effect experiments. The electric field *F* is applied either via a Shottky barrier or barrier semiconductor / electrolyte interface; or by inserting the structure into the intrinsic part of a p.i.n. junction / diode.

The experimental methods and techniques for investigation of QCSE in quantum well materials are presented in this paper in the form of a sequence of examples.

**Photoluminescence (PL) spectroscopy**

In the paper [7] was investigated the dependence on the well thickness of the Stark effect in $GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs$ QWs, by means of the low-temperature photoluminescence spectroscopy (see Fig.2.). Provided the quality of the samples was good enough to provide sharp lines in the PL, the effects of the electric fields could be studied not only on free excitons but also on impurity-bound excitons. The results for the three different samples with the well thicknesses of 130 Å, 160 Å and 230 Å, were presented. An electric field perpendicular to the interfaces was applied via a semi-transparent Schottky contact. The QW luminescence was excited either, indirectly, with the 5145 Å line of the $Ar^+$ laser, above the $Ga_{0.65}Al_{0.35}As$ band-gap edge, or, selectively, with the 6471 Å , line of the $Kr^+$ laser. The PL signal was dispersed by a ¾ Spex double monochromator and detected with a cooled-GaAs-cathode photomultiplier. These small voltages indicate the nearly perfect confinement of the photo-excited carriers in the QW, when they are excited below the $Ga_{0.65}Al_{0.35}As$ band gap.

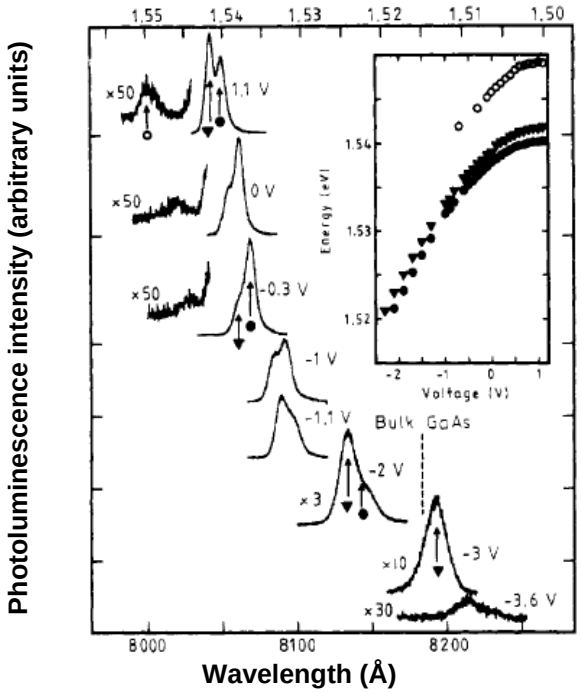



Fig. 2. - Photoluminescence spectra of the sample (130 Å QW) [7], at different bias voltages. The highest-energy peak corresponds to the (1 E - 1 LH) exciton (E means electron and LH - light hole), the high energy line of the doublet to the (1 E - 1 HH) exciton (HH means heavy hole), and the lowest-energy peak to a donor-bound exciton

**Time-resolved photoluminesce measurements**

Time-resolved photoluminescence measurements of excitons in $GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs$ quantum wells subjected to an electric field perpendicular to the well plane have been made in [8]. With increasing the field, both integrated luminescence and luminescence lifetime decrease. Thus the electric field increases the exciton nonradiative decay rate. Estimates of several possible mechanisms suggested that Fowler-Nordheim tunneling is responsible for the quenching. With increasing pump laser intensities, larger electric fields are required to quench the lifetime because of exciton screening of the field.

In Fig.3. [8] is shown the photoluminescence decay of the intrinsic n = 1 exciton at several values of the externally applied voltage $V_{ext}$ for a sample with a well thickness of about 30 Å and a barrier thickness of 100 Å. The average laser power here was 100 μW, corresponding to a peak carrier density of about $5 \times 10^{17}$ $cm^{-3}$. The monochromator energy was 1.637 eV (0.001 eV resolution).

**Picosecond luminescence studies**

Picosecond electroluminescence studies of the QCSE on GaAs/ AlGaAs QWs were performed in [9]. A drastic increase of the recombination lifetime was accompanied by a Stark shift of the photoluminescence of the lowest free exciton for electric fields perpendicular to the quantum-well layers. The experimental results for the shifts of the QW PL were summarized in Fig.4. (see Fig.2. in [9]), where the positions of the PL peaks for the different QWs were plotted as a function of $V_{ext}$.

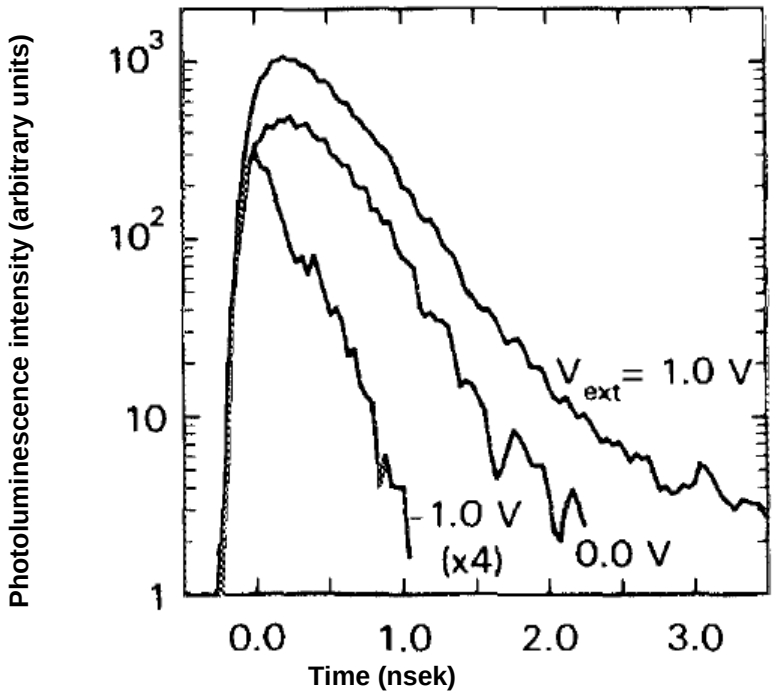



Fig. 3. - [8] Photoluminescence decay of the intrinsic n = I exciton at several values of externally applied voltage $V_{ext}$. The temperature: T= 8 K

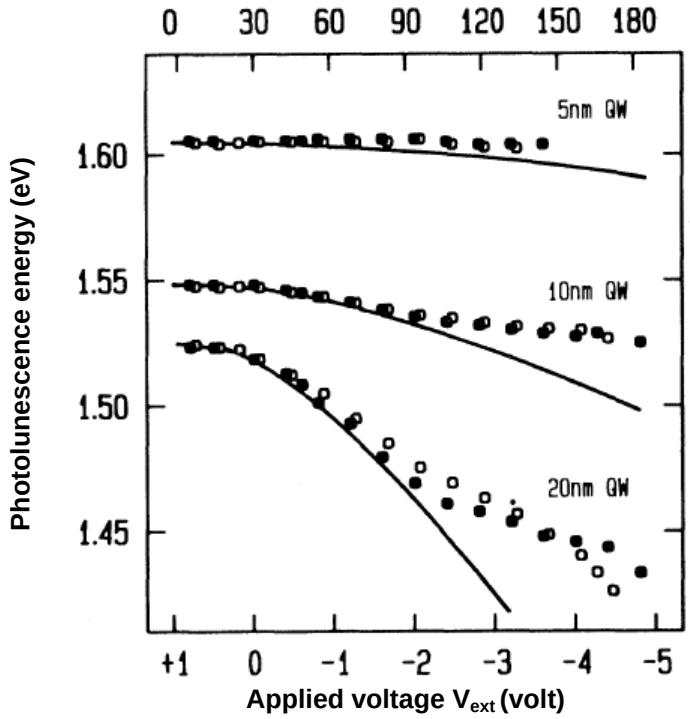



Fig. 4. – [9] PL peak energy position of the QW's as a function of the external voltage (electric field)

**Absorption current spectroscopy**

In the paper [10], have been fabricated AlGaAs QW structures equivalent to graded-gap QWs and have been observed experimentally their QCSE by the absorption current spectroscopy. Absorption current spectroscopy had revealed larger energy shifts of the fundamental excitonic absorption peak in graded-gap QWs in the low electric field region than those in the conventional square-shaped QWs with the same well widths.

**Electroabsorption in QWs**

In [11] are presented extended experimental results for the large shift in optical absorption in GaAs/ AlGaAs QW structures with electric field perpendicular to the layers (see Fig.5.). In contrast to the Stark effect on atoms or on excitons in bulk semiconductors, the exciton resonances remain resolved even for shifts much larger than the zero-field binding energy and fields > 50 times the classical ionization field. These results are explained as a consequence of the quantum confinement of the carriers.

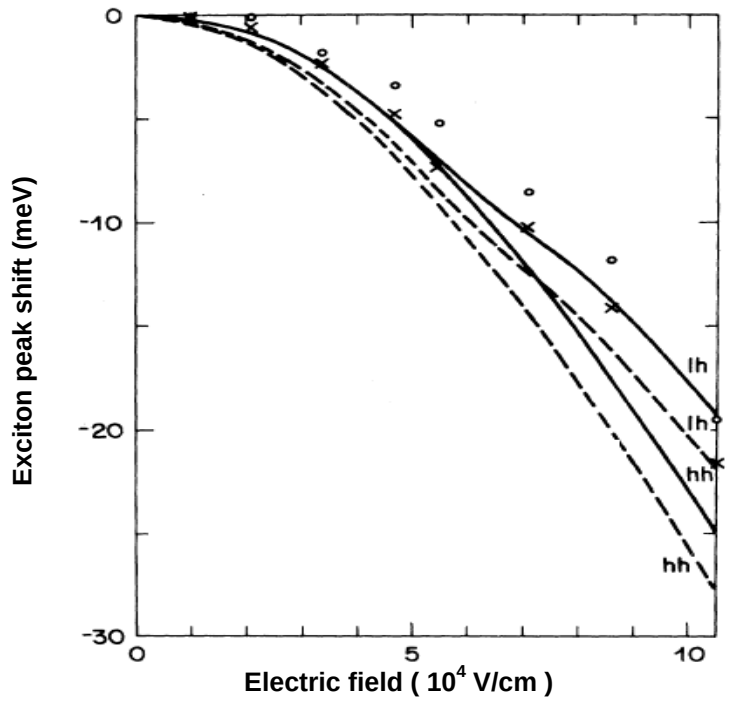



Fig. 5. – [11] Shift of the exciton peak position with applied field. The points are experimental. Where: lh – light hole exciton; hh – heavy hole exciton

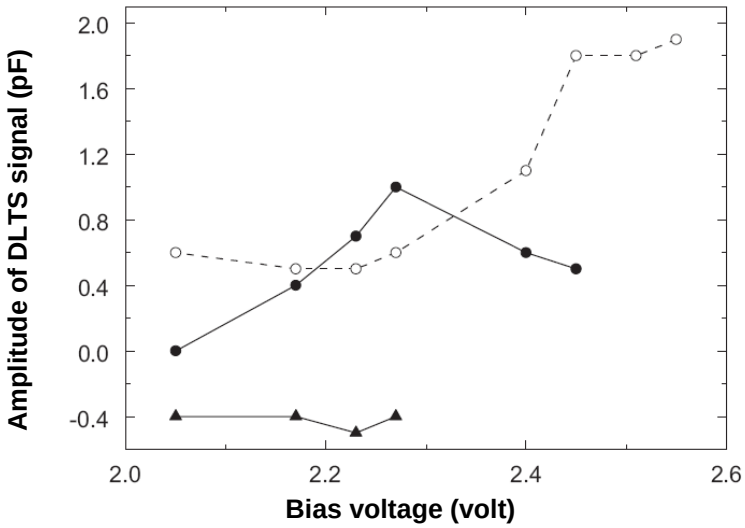



Fig. 6. – [12] Dependence of the amplitudes of the DLTS signals of the E1, E2 and H1 levels on the bias voltage. Where: E1 – empty circles, E2 – full circles, H1 – triangles.

### Deep-level transient spectroscopy

In the paper [12] capacitance–voltage(C–V) and deep-level transient (DLTS) spectroscopies has been applied to study the carrier emission from states of the quantum-well superlattice in a p–n InGaN/GaN heterostructure (see Fig.6.). Changes in the DLTS spectra of this structure strongly depend on bias-on–bias-off cooling conditions and the applied bias. It is believed that these changes are determined by: (1) built-in piezoelectric field that leads to spatial separation of the electron and hole ground-state wave functions of the superlattice, defined as a manifestation the quantum-confined Stark effect and (2) localization of the electron wave functions in separate QWs, named the Wannier-Stark localization.

### Conclusion

This paper offers a brief overview of some basic experimental methods and techniques for investigation of the QCSE in quantum well materials. The experimental studies of QCSE with longitudinal electric field applied to the semiconductor QW structures are quite important for proper application of the effect in different devices. They could facilitate the search for new materials possessing unique electron and optical properties. Deep knowledge of the physics of QCSE will tremendously facilitate the work of the experimentalists and QW crystal growers. The Stark shifts of the electronic states and their spatial distributions need to be studied both experimentally and theoretically in order to seek a potential QW profile that will provide the best Stark effect characteristics of a given quantum well.

### References:


1. A l f e r o v, I. Z., The double heterostructure concept and its applications in physics, electronics and technology, Rev. Mod. Phys., Vol 73, 2001, 769-782.
2. B a s t a r d, G., Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures, Les Edition de Physique, Les Ulis Cedex, 1988.
3. D i C a r l o, A., Microscopic theory of nanostructured semiconductor devices: beyond the envelope-function approximation, Semicond. Sci. Technol., Vol. 18, 2003, R1-R31.
4. S i n g h, J., Physics of Semiconductors and Heterostructures, McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1993.
5. L i m a, F. M. S., A. L. A. F o n s e c a, O. A. C. N u n e s, Q. F a n y a o, Electric field effects on electron mobility in n-AlGaAs/GaAs/AlGaAs single asymmetric quantum wells, J. Appl. Phys., Vol. 92, 2002, 5296–5303.
6. M i t e v a, A. M., S. J. V l a e v, Electric field influence on the electronic states in graded-gap quantum wells, Nanoscience & Nanotechnology, Vol. 5, eds. E. Balabanova and I.Dragieva, Heron Press, Sofia, 2005, 62-64.
7. V i n a, L., E. E. M e n d e z, W. I. W a n g, L. L. C h a n g, L. E s a k i, Stark shifts in GaAs/GaAlAs quantum wells studied by photoluminescence spectroscopy, J. Phys. C: Solid State Phys. Vol. 20, 1987, 2803-2815.
8. K a s h, J. A., A. A. M e n d e z, E!ectric field induced decrease of photolunescence lifetime in GaAs quantum wells, Appl. Phys. Lett ., Vol. 46., No.2, 1985, 173-175.
9. P o l l a n d, H. J., L. S c h u l t h e i s, J. K u h l, E. O. G ö b e l, C. W. T u, Lifetime enhancement of two-dimensional excitons by the quantum-confined Stark effect, Phys. Rev. Lett., Vol. 55, No. 23, 1985, 2610-2613.
10. I s h i k a w a ,T., K. T a d a, Observation of CQSE in a Graded-Gap QW, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 28, 1989, L 1982-L 1984.
11. M i l l e r, D. A. B., D. S. C h e m l a, T. C. D a m e n, A. C. G o s s a r d, W. W i e g m a n n, T. H. W o o d, C. A. B u r r u s, Band-edge electroabsorption in quantum well structures: the Quantum-Confined Stark effect, Phys. Rev. Lett, Vol. 53, No. 22, 1984, 2173-2176.
12. S o b o l e v, M. M., N. M. S h m i d t, Deep-level transient spectroscopy studies of light-emitting diodes based on multiple-quantum-well InGaN/GaN structure, Physica B, Vol. 404, 2009, 4907–4910.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# QUANTUM-CONFINED STARK EFFECT IN SEMICONDUCTOR NANOSTRUCTURES AND ITS DEVICE APPLICATIONS

**Adelina Miteva[1], Valeria Stoyanova[2]**

*[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*[2]Institute of Physical Chemistry – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: ad.miteva@gmail.com; valeria@ipc.bas.bg*

***Keywords:*** *Quantum confined Stark effect (QCSE), device applications, semiconductor nanostructures, semiconductor quantum-wells*

***Abstract:*** *This work is motivated by the tremendous interest in the semiconductor nanomaterials and heterostructures and their applications in constructing of various electro-optical devices. Changes in the electro-optical properties of such materials have been induced under the influence of an external constant electric field, the so called quantum confined Stark effect (QCSE). The QCSE has found practical application in ultrafast optoelectronics, electro- absorption modulators and in telecommunications, as well as in such devices as solar cells, advanced tuneable semiconductor lasers, etc. In this paper we will make a survey of several such devices based on QCSE in semiconductor quantum-well materials.*

# КВАНТОВО-РАЗМЕРЕН ЩАРК ЕФЕКТ В ПОЛУПРОВОДНИКОВИ НАНОСТРУКТУРИ – ПРИБОРНИ ПРИЛОЖЕНИЯ

**Аделина Митева[1], Валерия Стоянова[2]**

*[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*[2] Институт по физикохимия – Българска академия на науките*
*e-mail: ad.miteva@gmail.com; valeria@ipc.bas.bg*

***Ключови думи:*** *Квантово-размерен Щарк ефект, приборни приложения, полупроводникови наноструктури, полупроводникови квантови ями*

***Резюме:*** *Тази работа е мотивирана от огромния интерес към полупроводниковите наноматериали и хетероструктури, и техните приложения в конструирането на различни електрооптични устройства. Промени в електрооптичните свойства на тези материали се предизвикват под въздействието на външно постоянно електрическо поле, т. нар. квантово размерен Щарк ефект (QCSE). QCSE е намерил практическо приложение в ултрабързата оптоелектроника, електро-абсорбционни модулатори и в областта на телекомуникациите, както и в такива устройства, като соларни клетки, регулируеми полупроводникови лазери и т.н. В този кратък обзор ние ще направим преглед на няколко такива устройства, базирани на QCSE в полупроводниковите материали с квантови ями.*

## Introduction

Nowadays, nanostructures are of great fundamental interest and are important for their actual and potential applications. The evidence is the Nobel prizes in physics for 2000 [1] ("developing semiconductor heterostructures used in high-speed and opto-electronics") and for 2010 [2] ("grapheme nanotechnology") years. Semiconductor nanostructures (superlattices and quantum wells) are already employed in electronic and optoelectronic devices [3-18]. Many semiconductor devices with built-in quantum wells work under application of an electric field. In semiconductor quantum wells (QWs), sharp excitonic absorption peaks are clearly observed even at room temperature. When an electric field is applied perpendicular to the QW layers, the energy of the fundamental absorption edge shifts by a large amount without severe broadening of the exciton resonance. This is the well-known

quantum confined Stark effect (QCSE). The QCSE in QW structures is the basis and is now utilized for realizing many fast electro-optical devices. For achieving high device performances, such as high on/off ratio and low operation voltage, it is desirable that the decrease in the exciton peak height be small and that this peak move at a faster rate by using an applied electric field.

Here we will make a brief survey of several device applications based on the QCSE in semiconductor quantum-well materials. In the next part of this paper we present several examples of device applications of QCSE.

**"Stark ladder" Laser**

"Stark ladder" [6] laser of a semiconductor superlattice with a coherent electronic subsystem is described in [7] and the schematic diagram is shown in Fig.1.

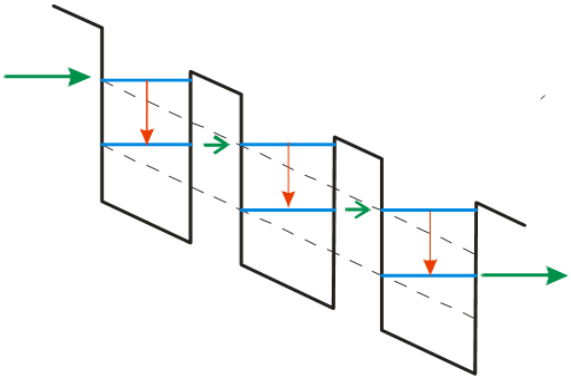


Fig. 1. Wannier Stark ladder [6,7]

**QCSE Modulators**

In [8] are described the principles of the QCSE modulators. Reduction in energy of bound states in a quantum well under an applied electric field leads to the modulation of 'effective band gap'. The input optical signal gives as the output a modulated optical signal. Change in energy levels gives change in electron – hole overlap (see Fig. 2).

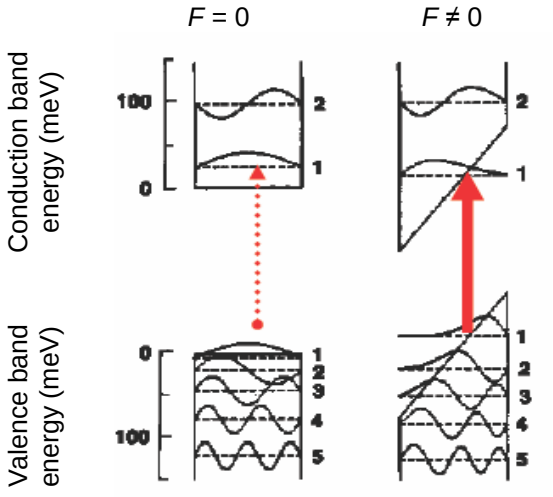



Fig. 2. Stark shift in QW [8]

**Electro-absorption modulator (EAM)**

Electro-absorption modulator (EAM) [9] is a semiconductor device which can be used for modulating the intensity of a laser beam via an electric voltage. A change in the absorption spectrum caused by an applied electric field, which changes the bandgap energy (thus the photon energy of an absorption edge) but usually does not involve the excitation of carriers by the electric field. For modulators in telecommunications small size and modulation voltages are desired. The EAM is candidate for use in external modulation links in telecommunications. Compared with Electro-optic

modulator (EOM), EAM can operate with much lower voltages (a few volts instead of ten volts or more). They can be operated at very high speed; a modulation bandwidth of tens of gigahertz can be achieved, which makes these devices useful for optical fiber communication. A convenient feature is that an EAM can be integrated with distributed feedback laser diode on a single chip to form a data transmitter in the form of a photonic integrated circuit. Compared with direct modulation of the laser diode, a higher bandwidth and reduced chirp can be obtained.

Semiconductor quantum well EAM is widely used to modulate near-infrared (NIR) radiation at frequencies below 0.1THz. Here [10], the NIR absorption of undoped quantum well was modulated by strong electric field with frequencies between 1.5 and 3.9 THz. The THz field coupled two excited states (excitons) of the quantum wells, as manifested by a new THz frequency-and power- dependent NIR absorption line. The THz field generated a coherent quantum superposition of an absorbing and a nonabsorbing exciton. This quantum coherence may yield new applications for quantum well modulators in optical communications.

Electroabsorption modulators have been widely used in fiber optic communication systems, because of their small size, low driving voltage, low chirp, high extinction ratio, high modulation efficiency, and wide modulation bandwidth. Advantages of EA modulators are the possibilities for integration with DFB (distributed feedback laser) laser (see Fig.3. [10] – utilized by Alcatel).

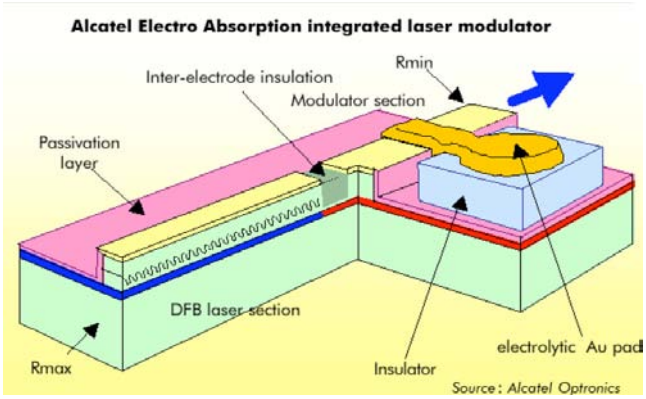



Fig. 3. Advantages of EA modulator (Alkatel [10]) - Integration with DFB laser

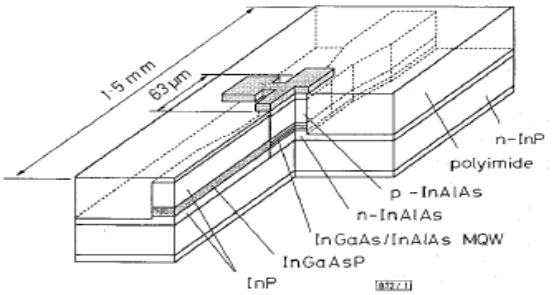



Fig. 4. 40GHz Modulator [11]

In Fig. 4. [11] is shown one 40GHz modulator, which is characterized by long device length for easy packaging; short modulator section to reduce capacitance; low driving voltage of 2.8V and low insertion loss of 8dB.

**QW structures for deep-UV emitters**

Utilization of AlGaN-based QW structures is one of most important key issues for the application of solid-state deep-UV light-emitting devices such as light-emitting diodes (LEDs) and laser diodes (LDs) operated in the wavelength range between 200 and 350 nm. In [12] have been reported barrier-height and well-width dependence of room-temperature PL from AlGaN-based QW structures for deep-UV light emitting device applications. A QW sample consisting of 1.5 nm-$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ wells/7 nm-$Al_{0.40}Ga_{0.60}N$ barriers showed the largest emission intensity in their samples. QCSE on the emission energy and intensity in wide-well conditions, carrier penetration into the barrier regions in narrow well conditions and heterointerface defect formation were comprehensively considered in the discussion. In [12] the conclusion was: if the heterointerface defect formation is ideally suppressed by

optimal growth conditions, QW structures with narrow wells and high barriers will be a better design for highly efficient deep-UV light emitting devices.

**Double quantum wells violet InGaN laser diodes**

In [13] the effects of QCSE and QW thickness on the optical properties of violet InGaN LDs have numerically been investigated. The simulation results indicated that the QCSE greatly affects the optical properties of LDs, where QCSE relates to the QW thickness and it increases when the QW thickness is wider which leads to deteriorating of the optical proprieties of the violet InGaN LD. The polarization in the active region of the InGaN LD has been estimated by the blue shift of the wavelength and it is found that the blue shift of the wavelength depends on the QW thickness. The major simulation result has shown that the best properties of violet InGaN LD can be obtained with smaller QW thickness, where more carriers can be restricted, stayed and overlapped inside the QW which leads to a larger stimulated recombination rate and optical material gain which in turn increase the output power of the LD; while decreasing the threshold current of the LD.

**QW Photodetector**

GaAs/AlGaAs quantum well infrared photodetectors (QWIPs) have attracted much attention and been demonstrated with a detection cutoff of 19 mm. QWIP detectors with longer wavelengths would be of interest for space applications such as infrared astronomy and satellite mapping where high detectivity, low dark current, high uniformity, radiation hardness and low power consumption are important. For these uses, arrays of QWIPs would provide a useful alternative to the Si and Ge detectors currently available in this wavelength range with detectivities ranging from $10^9$ to $10^{14}$ cm√Hz/W. In the letter [14] were presented the first far-infrared results based on a bound-to-bound intersubband transition in a GaAs/AlGaAs QWIP with peak response at 27.2 μm (see Fig. 5.).

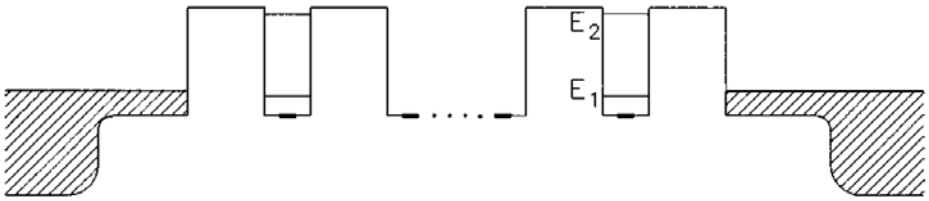



Fig. 5. The detector design [14]. Structure designed for the bound-to-bound GaAs/AlGaAs QWIP with a predicted peak response of 28.8 μm. The energy bands were at $E_1$=10.5 meV and $E_2$=53.5 meV

**Single quantum well optical modulator**

QCSE in a single quantum well [15] is not only of scientific but also of practical interest, since it is possible to provide an optical modulator laser radiation on the structure of one quantum well (QW or a small number of QWs) in multiple passage of radiation through it.

It is a structure (see Fig.6.) on a substrate n-GaAs, a plate with bevelled at an angle of 45 degrees by the lateral edges. Through one of these faces of the laser beam is introduced, which after multiple reflections from the plane-parallel top and bottom faces and passing through the QW is discharged through another face. On the upper bound with epitaxial heterostructure QW applied rectifying contact (for example Al) Schottky diode on the bottom side - ohmic contact. Both contacts are both deaf reflecting mirrors. With a length of 1 cm and a plate thickness of 0.5 mm can be obtained about 20 beam passing through the QW. To bring the number up to 50 passages, as in multiwell modulators, respectively, or you can increase the length of the modulator, or use a structure with two or three closely spaced QW.

**The Quantum Well Self-Electrooptic Effect Devices**

Electro-optical effects, such as the quantum confined Stark effect in quantum well structures, lead to strong optoelectronic nonlinearities which form the basis for optical modulators and optically bistable devices. They result from a modification of the optical absorption properties by an applied electric eld and are particularly pronounced in the case of low dimensional semiconductors. In [16] was done a review of theoretical modelling and computer simulations of such optoelectronic devices in particular for ZnSe based quantum well structures, where excitonic features dominate even at room temperature. The field dependent absorption spectra were calculated by a many-body theory including

the full electron-electron interaction. The transition from the quantum confined Stark effect, which is found for well widths smaller than the exciton Bohr diameter, to the Franz-Keldysh effect, which corresponds to the limit of wide wells, was studied. Optical bistability and switching was found in R-SEED and D-SEED congurations, and the optimization of the device performance was discussed.

Extended experimental and theoretical results were reported in [17] for the quantum well self-electrooptic effect devices. Four modes of operation are demonstrated: optical bistability; electrical bistability; simultaneous optical and electronic self-oscillation; and self-linearized modulation and optical level shifting. All of these can be observed at room-temperature with a CW laser diode as the light source. The nature of the optoelectronic feedback underlying the operation of the devices was discussed, and the physical mechanisms which give rise to the very low optical switching energy (approximately 4 fJ/μm$^2$) were discussed.

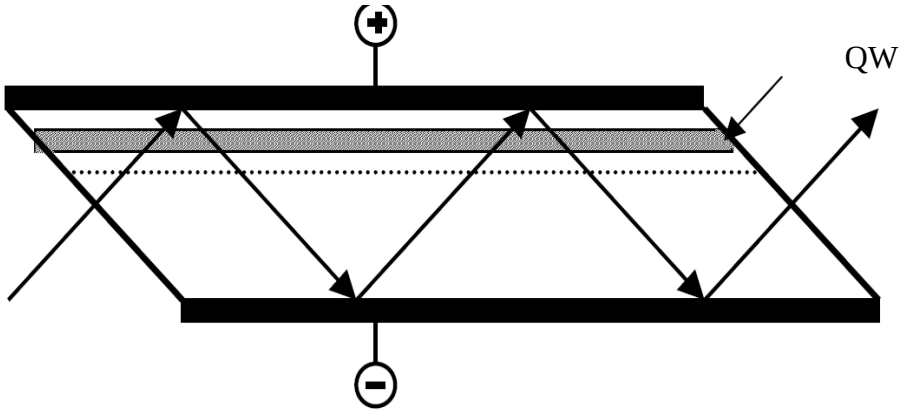



Fig. 6. Optical modulator on a single quantum well [15]

**Blue quantum electroabsorption modulators**

The authors [18] present the design, growth, fabrication, experimental characterization, and theoretical analysi of blue quantum electroabsorption modulators that incorporate ~5 nm thick $In_{0.35}Ga_{0.65}N/GaN$ quantum structures for operation between 420 and 430 nm. Growing it on polar c-plane of sapphire, they obtain quantum structures with zigzag potential profile due to alternating polarization fields and demonstrate that their optical absorption blueshifts with applied electric field, unlike the redshift of conventional quantum confined Stark effect.

**Conclusions**

This brief survey of some QCSE based devices and their main characteristics could enhance the common understanding of some modern and contemporary knowledge and techniques.

Both experimental and theoretical studies of the QCSE when a longitudinal electric field is applied to the semiconductor QW structures are quite important for development of device applications. They could facilitate the search for new materials possessing unique electron and optical properties. This review will also help and tremendously facilitate the work of the experimenters and QW crystal growers.

Last but not at least, the Stark shifts of the electronic states and their spatial distributions need to be studied in order to seek unknown and possible QW properties for new potential QCSE device applications.

**References:**

1. A l f e r o v, Z. I., Nobel Lecture: The double heterostructure concept and its applications in physics, electronics, and technology, Rev. Mod. Phys., Vol. 73, No. 3, 2001, 767-782.
2. G e i m, A. K., Nobel Lecture: Random walk to graphene, Rev. Mod. Phys., Vol. 83, No. 3, 2011, 851-862.
3. D i C a r l o, A., Microscopic theory of nanostructured semiconductor devices: beyond the envelope-function approximation, Semicond. Sci. Technol. 18, 2003, R1-R31.
4. B a s t a r d, G., Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures, Les Edition de Physique, Les Ulis Cedex , 1988.
5. S i n g h, J., Physics of Semiconductors and Heterostructures. Singapore, McGraw-Hill Booc Co., 1993.
6. W a n n i e r, G. H., Dynamics of Band Electrons in Electric and Magnetic Fields, Rev. Mod. Phys., Vol. 34, No. 4, 1962, 645-655.
7. Е л е с и н, В. Ф., Ю. В. К о п а е в, Лазер на „Штарковской лестнице” с когерентной электронной подсистемой, ЖЭТФ, Vol. 123, No. 6, 2003, 1308-1322.

8. R a m p, R. J., Lecture 12: Introduction to Modulators, Electrical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, http://rleweb.mit.edu/sclaser/6.973%20lecture%20notes/Lecture%2012e.pdf.
9. M o r r i s o n, G. B., J. W. R a r i n g, C. S. W a n g, E. J. S k o g e n, Y-C. C h a n g, M. S y s a k, L. A. C o l d r e n, Electroabsorption modulator performance predicted from band-edge absorption spectra of bulk, quantum-well, and quantum-well-intermixed InGaAsP structures, Solid-State Electronics, Vol. 51, No. 1, 2007, 1-186.
10. S a n k a r a l i n g a m, R., EE 698, Electroabsorption Modulators, https://www3.nd.edu/~gsnider/EE698A/Rajkumar_opt_mod.pdf.
11. K u, P-Ch., Electro-absorption Modulators, April 24 & 26, 2001.
12. K a j i t a n i, R., K. K a w a s a k i, M. T a k e u c h i, Barrier-height and well-width dependence of photoluminescence from AlGaN-based quantum well structures for deep-UV emitters, Mat. Sci. & Eng. B, Vol. 139, 2007, 186–191.
13. A b d u l l a h, R. A., K. I b r a h i m, Effects of quantum confined stark effect and well thickness on optical properties of double quantum wells violet InGaN laser diodes, Optik - International Journal for Light and Electron Optics, Vol. 124, No. 4, 2013, 283-376.
14. P e r e r a, A. G. U., W. Z. S h e n, S. G. M a t s i k, H. C. L i u, M. B u c h a n a n, W. J. S c h a f f, GaAs/AlGaAs quantum well photodetectors with a cutoff wavelength at 28 μm, Appl. Phys. Lett., Vol. 72, No. 13, 1998, 1596-1598.
15. Г о р ш к о в, А. П., И. А. К а р п о в и ч, Исследование квантово-размерного эффекта Штарка в гетеронаноструктурах с квантовыми ямами InGaAs/GaAs методом фотоэлектрической спектроскопии, Нижегородский университет им. Н.И. Лобачевского, 2006.
16. S c h ö l, E., Modelling of devices for optoelectronic applications: The quantum confined Stark effect and self-electrooptic effect devices, Tr. J. of Physics, Vol. 23, 1999, 635 - 648.
17. M i l l e r, D. A. B., D. S. C h e m l a, T. C. D a m e n, T. H. W o o d, C. A. B u r r u s, A. C. G o s s a r d, W. W i e g m a n n, The Quantum Well Self-Electrooptic Effect Device: Optoelectronic Bistability and Oscillation, and Self Linearized Modulation, IEEE J. Quantum Electron, Vol. QE-21, 1985, 1462-1476.
18. S a r i, E., S. N i z a m o g l u, T. O z e l, H. V. D e m i r a, Blue quantum electroabsorption modulators based on reversed quantum confined Stark effect with blueshift, Appl. Phys. Lett., Vol. 90, 2007, 011101-011103.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# СЪСТОЯНИЕ НА КОНТАКТНАТА ЗОНА ПРИ ТРИЕНЕ НА МЕТАЛИ И СПЛАВИ ВЪВ ВАКУУМ

**Тинка Грозданова**

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

***Ключови думи:*** *Трибология, сухо триене във вакуум, метали.*

***Резюме:*** *В статията са представени резултатите от трибологично изследване на състоянието и свойствата на метални повърхности при сухо триене във вакум. Разгледани са механичните и физико-химични изменения в структурата на материалите. Изследвана е промяната на кофициента на триене в зависимост времетраенето на изпитанието и степента на вакуума.*

# STATE OF CONTACT AREA ON METALS AND ALLOYS BY FRICTION IN A VACUUM

**Tinka Grozdanova**

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

***Keywords:*** *Tribology, dry friction in vacuum, metals.*

***Abstract:*** *The paper presents the status and properties of metal surfaces by dry friction in vacuum. We examined the physical and chemical changes in the structure of material atoms. The dependance of the friction coefficient on environment parameters is presented.*

## 1. Увод

В космическата апаратура се използват различни задвижващи механизми, които функционират в екстремни условия, и елементите им са свързани в плъзгащо или въртеливо движение. Поражда се триене между метали като резултат от съчетанието на различни видове взаимодействия на механични, физични, химични, електрически и други процеси. То се обуславя от явленията, протичащи в повърхностите и по границата на допир на материалите в контактната зона.

## 2. Изложение

След механичната обработка на детайлите, външните повърхностни слоеве на металите са деформирани и се отличават с асиметрия на техния строеж, съответно и на свойствата им [1, 2]. Силите на свързване на атомите, молекулите и йоните са различни и атомите (молекулите и йоните) не могат да заемат положение, съответстващо на минималната стойност на енергия. В процеса на триене, под влияние на дефорамцията и изменението на температурата на тези слоеве, вътрешната енергия е по-голяма, отколкото тази в обема на метала [2] .

Триенето има молекулярно-механичен характер. В местата на фактически контакт действат сили на молекулярно привличане, които се проявяват на разстояния, многократно превишаващи междуатомното разстояние в кристалната решетка, и се увеличават с повишаване на температурата. При наличие или отсъствие на прослойка между двете

повърхности (влага, замърсявания, смазочен материал), молекулярните сили предизвикват адхезия в контактните участъци. Тя е възможна между метали и окисни покрития. Адхезията се обуславя едновременно и от действието на електро-статични сили [3].

Силата на трене зависи от физико-механичните свойства на повърхностните слоеве и вида на материала, и се обуславя от дължината на триещата повърхност, налягането, продължителността на контакта, скоростта на движение и т. н.

Характерът на триенето се изразява със закона на Кулон:

$$F = A + \mu N,$$

където:
F е сила на триене,
A е константа, характеризираща способността на триещите се тела към взаимно сцепление,
N е нормална реакция
$\mu$ е коефициент на пропорционалност [4].

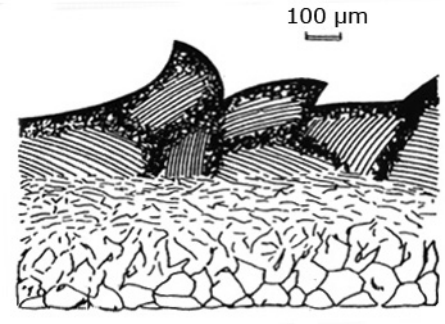
Съществена особеност на външното триене представлява дискретността на механичния контакт между триещите се повърхности. Дори и добре шлифовани, повърхностите на металите притежават грапавост. При допир, под влияние на нормален товар, в първоначален контакт влизат двойките издатини с най-голяма височина. С увеличение на натоварването в контакт влизат все нови двойки противостоящи издатини, притежаващи по-малки височини. В началото те се деформират гъвкаво, а слвд това пластично.

Ако контактуват повърхности на тела с различна твърдост, то издатините на по-твърдата повърхност се внедряват в издатините на по-меката повърхност. При това издатините на спрегнатата повърхност се размазват и изменят формата си. В този случай върху свойствата на контакта влияе микрогеометрията на по-твъдото тяло и механичните свойства на по-мекото.

При внедряването на единичните издатини на по-твърдия метал, в по-мекия се образуват допирни петна. Преместваики се постъпателно, те изтласкват материала, и предизвикват пораждане на сили на слепване (адхезия, химични връзки, взаимна дифузия и др.). Материалът се отмества и придвижва в плъзгаща се неравност, оставяйки неповреден, а образуващите се от повърхностните покрития съединения, т.н. единични мостчета, непрекиснато се разрушават и формират отново.

### 3. Експериментални резултати

В случай на сухо триене (без смазки и окисни покрития), при плъзгане с малки скорости и налягания, се получава интензивна деформация на повърхностните обеми на метала, обусловена от атермична пластичност. Възникват метални връзки, които се деформират и разрушават; отделят се частици от метала, или прилепват по повърхността му. При вакуум, по-висок от $1{,}3.10^{-3}$ Pa, тези явления могат да възникнат и при триене при въртене [4]. Този процес води до свързване на материалите и зависи от тяхното съчетаване, от техните механични и физични свойства, якост, граница на провлачване, твърдост, тип кристална решетка, електронен строеж и т.н. В [4] той е наречен свързване от I род. Строежът на повърхността в този случай има вида, показан на фиг.1.



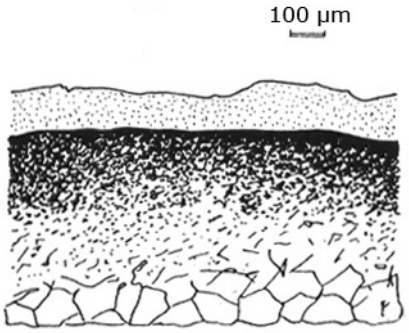

Фиг. 1. Строеж на повърхностните слоеве при свързване от I род [4].

В случай на сухо триене при плъзгане с големи скорости на относително преместване и значителни частични налягания, обуславящи висок градиент и нарастване на температурата в повърхностните слоеве на метала, възниква т.н. свързване от II род. Формирането на метални

връзки е обусловено от нагряване, размекване и деформиране на материала, и е съпроводено с появата на пукнатини, наслоявания, пренос на метал и отделяне на частици от триещата повърхност. Отделянето на топлина стимулира образуването на ювенилни участъци и доближаване на контактуващите повърхнини на разстояне, съизмеримо с междуатомните радиуси.

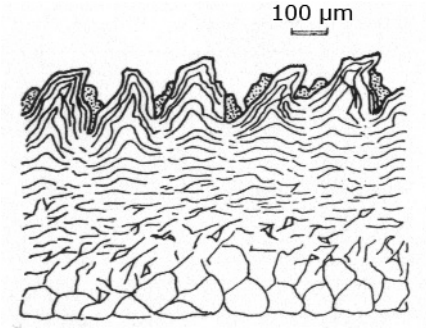
Термичната пластичност намалява здравината на материала и води до отвръщане, разтопяване, образуване на рекристализационни структури, закаляване и вторично закаляване.

Този вид свързване зависи от термо-физичните свойства на материала: топлоустойчивост, топлоемкост и топлопроводимост. То е характерно за закалени стомани със изразена термична пластичност. Строежът на повърхността в този случай е показан на фиг.2.




Фиг. 2. Строеж на повърхностните слоеве при свързване от II род [4].

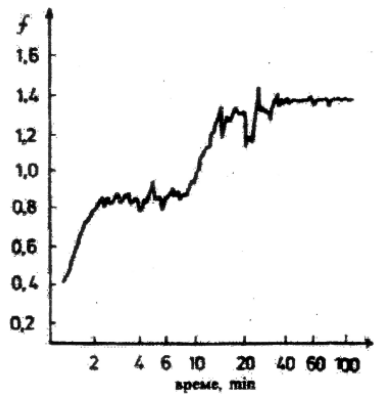
В случай на триене при плъзгане с много малки възвратно-постъпателни движения и динамично натоварване възниква т.н. фретинг-процес. При него триещите се повърхности се разрушават с придружаващо рязко нарастване на интензитета на окисление или рязко свързване. Процесът на свързване се предизвиква от динамичния характер на натоварването, при което градиентите на деформация и температура в контакта рязко се увеличават. Този процес може да възникне при различни материали, в условията на сухо триене и при наличие на смазка, а понякога и при неработещи възли и съединения. Строежът на повърхността в случай на сухо триене във вакуум с рязко свързване е показан на фиг.3.



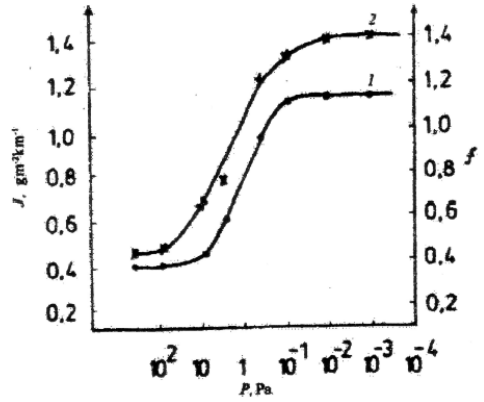

Фиг. 3. Строеж на повърхностностните слоеве при фретинг-процес с рязко свързване [4].

Центровете на съединяване се образуват в местата на фактическия допир, в дискретни точки. Интензивността с която се извършва това и кинетиката на развитие на този процес зависят от натоварването, температурата, физико-химичните свойства на обкръжаващата среда, както и от физичните, химичните, механичнитеи структурните свойства на материалите.

В момента на възникване на задиране в зоната на трибоконтакта се наблюдава рязко повишаване на коефициента на триене. Това може да се види от едно наше измерване [5] на коефициента на триене и интензитета на износване на трибодвойка от стомана 40Х (ГОСТ) и закалена стомана 45 (HRc 50). На фиг.4 и фиг.5 са представени графиките, получени при сухо триене във вакуум и възвратно-постъпателно движение със скорост 0,25 m/s. Вижда се резкият скок на стойността на коефициента на триене 10 min след началото на изследването.




Фиг. 4. Зависимост на коефициента на триене от времетраенето на процеса




Фиг. 5. Зависимост на интензитета на износване (1) и на коефициента на триене (2) от степента на вакуума

Износването на материалите при работа във вакуум има етапен характер. До известна стойност на налягането окисното покритие все още запазва своето действие. В този период се наблюдава слабо износване и нисък коефициент на триене. След това настъпва интензивно разрушаване на окисното покритие, като същевременно образуването му силно се затруднява. Следва стръмно нарастване на износването и на коефициента на триене. При висока степен на разреденост и ниско налягане на заобикалящата среда, в диаграмата се установява хоризонтален участък, в който започва област на сцепление и спиране на движението.

При триене във вакуум на метални повърхности, изчистени от окисни и други покрития, взаимното привличане на атомите между триещите се тела е достатъчно за настъпване на контактно заваряване [6]. Трибодвойки от Pb - Cu, Al - Cu, Zn -Cu, Al – Ag, Cu – Fe, Mg – Al, Mg – Cu, Mg – Ti са способни на пълно заваряване ; частично - Cu – Ag, Zn – Fe, Zn- Ti, Al – Ti, Ag – Cu, Fe – Ti, Al – Fe, Al – Ni; ограничено - Ag – Zr, Pl – Fe, Ag – Fe, Mg – Fe, Cd – Zr.

Поведението на сплавите в тези условия има специфични особености. Различията в характера на разрушаване на съединените детайли зависи от концентрацията на легиращите елементи в сплавите. Ако тяхната концентрация е по-ниска от границата на разтворимост в основния метал, се проявява дълбочинно издълбаване; в противен случай то не се наблюдава. Интензивността на съединяване се определя от броя електрони, внесени от един или друг елемент в общия електронен състав [6].

В случай на триене на въглеродни стомани във вакуум адхезията е два пъти по-голяма, отколкото при триене на въздух. Увеличението на адхезионната компонента може да доведе до едновременно силно нарастване на деформационната компонента и намаляване устойчивостта на материала.

### 4. Заключения

В условията на висок вакуум триенето на метални повърхности се съпровожда от появата на дълбоки бразди, срязвания, надраскванията, напластявания и разтопяване на материал, което е признак за възникване на задиране. Освен повишаването на коефициента на триене, в механизмите възникват динамични процеси и нараства вибро-акустичната активност.

При контактуване на чисти метални повърхности, при наличието на ювенилен контакт, даже в случай на невисоки контактни температури и термично деформационно заздравяване на материала, се образуват възли на съединяване. Те могат да имат по - голяма здравина от основния материал, намиращ се в дълбочина [7]. Разрушаването на повърхността се извършва в по-слабия метал. Настъпва задиране и се наблюдава повишено износване, което има адхезионен характер.

Износоустойчивостта на сплавите зависи от тяхната структура, тъй като всяка от структурните съставки притежава различни свойства [8]. Доближаването на триещите се повърхности на разстояние, осигуряващо междуатомно взаимодействие, води до взаимна дифузия на атоми и електронен обмен между атомите на контактуващите тела. Когато делът на свободни електрони в триещите се повърхнини е голям, триенето и износването са минимални.

**Литература:**


1. М а н о л о в, Н., М. К а н д е в а, Обща трибология, София, 2004 г., Издателска къща „Св.Иван Рилски”.
2. К р а г е л ь с к и й, И. В., и др., Трение, изнашивание и смазка, Москва, „Машиностроение”, 1978г.
3. Г а р к у н о в, Д. Н., Триботехника, Москва, „Машиностроение”, 1989г.
4. К о с т е ц к и й, Б. И., Надежность и долговечность машин, Киев, „Техника”, 1975г.
5. С и м е о н о в а, Ю., М. А с т р у к о в а, Т. Г р о з д а н о в а, Л. Д и н к о в а, Характерни особености на трибологичните процеси във висок вакуум, Научно-технологична конференция „КОНТАКТ – 97”, Доклади, София, 1997г., 144 – 149.
6. К а н а р ч у к, В. Е., Адаптация материалов к динамическим воздействиям, Киев, „Наукова думка”, 1986г.
7. Д р о з д о в, Ю. Н. и др., Трение и износ в экстремальных условиях, Москва, „Машиностроение”, 1986г.
8. Д е н и с о в а, Н. Е., Н. С. Ш о р и н, И. Н.Г о н т а р ь, Н. И. В о л ч и х и н а, Н. С. Ш о р и н а, Триботехническое материаловедение и триботехнология, Издательство Пензенского государственного университета, Пенза, 2006 г.

***Late Submissions***

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 - 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# STUDY OF SURFATRON ACCELERATION OF ELECTRONS IN SPACE PLASMA FOR DIVERSE LONGITUDINAL PARTICLE MOMENTUM

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

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

***Invited paper***

***Key words:*** *Surfatron acceleration of the particle, relativistic particles momentum, constant of motion, particles trapping, space plasma, electromagnetic waves, phase plane, nonlinear equation, waves packet, longitudinal particle momentum.*

***Abstract:*** *The dynamics of surfatron acceleration of electrons by electromagnetic wave in space plasma, depending on the momentum of the particle along the external magnetic field (longitudinal momentum) was described. On the basis of the nonlinear, non stationary, second order differential equation for the phase of the wave on the electron trajectory, numerical calculations were made for different values of the longitudinal momentum of the particle. The numerical results show that with the increase of the value of the longitudinal electron momentum, the favorable initial phase for capturing particles in the surfatron acceleration mode, remains unchanged and strong acceleration takes place. Increasing the longitudinal momentum of the electron does not change the growth rate of its energy, which does not depend on the amplitude of the wave's electric field. The amplitude of the wave's electric field determines the position of the bottom of the effective, non-stationary, potential well in which the electron is captured. An analytical approximation of the energy of the particle during its ultrarelativistic surfatron acceleration by the electromagnetic wave was done.*

# ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРФОТРОННОГО УСКОРЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРОДОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСАХ ЧАСТИЦЫ

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

*[1]Институт космических исследований – Российская академия наук*
*[2]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: nerokhin@mx.iki.rssi.ru, shkevov@space.bas.bg*

***Ключевые слова:*** *Серфотронное ускорение частицы, импульс релятивистской частицы, интеграл движения, захват частиц, космическая плазма, электромагнитные волны, фазовая плоскость, нелинейное уравнени, волновой пакет, продольный импульс частицы.*

***Аннотация:*** *Рассмотрена динамика серфотронного ускорения электронов электромагнитной волной в космической плазме в зависимости от импульса частицы вдоль внешнего магнитного поля (продольного импульса).На основе нелинейного, нестационарного, дифференциального уравнения второго порядка для фазы волны на траектории электрона проведены численные расчеты для различных значений продольного импульса частицы. Результаты численных расчетов показывают, что при увеличении величины продольного импульса электрона значение благоприятной (для захвата частицы в режим серфотронного ускорения) начальной фазы не меняется и имеет место сильное ускорение. Увеличение продольного импульса электрона не меняет тепма роста его энергии, который не зависит от амплитуды электрического поля волны. Амплитуда же электрического поля волны определяет положение дна эффективной, нестационарной, потенциальной ямы, в которую захвачен электрон. Разработана аналитическая аппроксимация энергии частицы при ее ультрарелятивист-ском, серфотронном ускорении электромагнитной волной.*

**Введение**

Исследование процессов формирования потоков быстрых частиц относится к числу актуальных задач физики космической плазмы. В частности, оно представляет большой интерес для проблемы генерации космических лучей в астрофизике. Это связано с тем, что серфинг зарядов на электромагнитных волнах, рассматривавшийся ранее, например, в работах [1-10], является одним их механизмов генерации потоков ультрарелятивистских частиц. При этом для корректных оценок количества и максимальной энергии ускоренных частиц, их энергетических спектров, характерного размера области ускорения требуется детальный анализ условий захвата заряженных частиц в режим серфотронного ускорения, определение благоприятных (для захвата заряженных частиц в режим ультрарелятивистского ускорения) фаз волны и скоростей зарядов, эффективности ускорения частиц при взаимодействии зарядов с пространственно локализованными волновыми пакетами. В итоге задача является многопараметрической и требуется большой обьем расчетов. На основе нелинейных численных расчетов рассмотрены захват электронов и их сильное серфотронное ускорение электромагнитной волной, распространяющейся в космической плазме поперек слабого внешнего магнитного поля $\mathbf{H_0}$ , для различных значений продольного (вдоль магнитного поля $\mathbf{H_0}$) импульса частицы.

Анализ на основе численных расчетов показал, что для амплитуд волны выше порогового значения при благоприятной для серфинга начальной фазе волны на траектории электрона и выполнении черенковского резонанса захват частицы сразу в режим серфинга не зависит от величины безразмерного, продольного импульса электрона $h = \gamma \beta_z$ (интеграл движения). В расчетах параметр h менялся в диапазоне (1 – 100) при неизменном начальном значении фазы волны на траектории частицы $\Psi(0)$. Диапазон благоприятных для захвата электрона в режим серфинга значений фаз $\Psi(0)$ оказался достаточно широким. Получены асимптотики компонент импульса, скорости и энергии ускоряемой частицы при большом (на порядки) ее росте, обсуждается их зависимость от амплитуды волны.

Таким образом в пространстве импульсов частиц область их захвата в режим серфинга на электромагнитной волне оказывается достаточно большой.

**Постановка задачи и результаты численных расчетов.**

На основе численных расчетов нелинейного, нестационарного уравнения для фазы волнового пакета $\Psi$ на несущей частоте исследован захват слаборелятивистских электронов в режим сильного серфотронного ускорения пакетом электромагнитных волн, распространяющимся в плазме поперек внешнего магнитного поля (вдоль оси x). Внешнее магнитное поле $\mathbf{H_0}$ направлено вдоль оси z.

Ниже рассматривается случай частоты волны $\omega$ из области верхнего гибридного резонанса при $\omega_{He} / \omega = u < 1$, где $\omega_{He}$ циклотронная частота нерелятивистских электронов плазмы. Фазовая скорость электромагнитной волны меньше скорости света в вакууме для следующей области параметра безразмерной плотности плазмы $v = (\omega_{pe} /\omega)^2 : 1 – u^2 < v < 1$, $\omega_{pe}$ ленгмюровская частота электронов плазмы. Захват зарядов в режим серфинга происходит при поле волны выше некоторого критического значения т.е., для $\sigma = e E_0 / m_e c \omega > u \gamma_p = u / ( 1 - \beta_p^2)^{1/ 2}$ , $\beta_p = \omega / c k$. При численных расчетах серфинга электронов задачу упростим пренебрегая вихревыми компонентами волновых полей $E_y$ , $H_z$ . Согласно расчетам их учет не существенен. Нелинейные эффекты взаимодействия ускоряющей волны с плазмой малы, если амплитуда волны $E_0$ значительно ниже характерного поля релятивистской нелинейности т.е. при выполнении условия $\sigma^2 << 1$. Рассмотрим релятивистские уравнения движения для импульса ускоряемого электрона **p**

(1) $dp_x / dt = - e E_x – e v_y ( H_0 + H_z ) / c$ , $dp_z / dt = 0$ , $p_z = const$,

$dp_y / dt = - e E_y + e v_x ( H_0 + H_z ) / c$

Для анализа уравнений (1) удобно ввести безразмерные переменные $\tau = \omega t$, $\xi = k x$ и безразмерную скорость $\boldsymbol{\beta} = \mathbf{v} / c$. Отметим, что $\beta_x = \beta_p [ 1 – ( d\Psi / d\tau ) ]$, а импульс электрона равен $\mathbf{p} = m c \gamma \boldsymbol{\beta}$, где $\gamma = 1 /( 1 - \beta^2 )^{1/2}$ - релятивистский фактор частицы. В итоге в безразмерных переменных уравнения движения электронов (1) принимают вид:

(2) $d ( \gamma \beta_x ) / d\tau = - \sigma \cos \Psi - u \beta_y$ , $d ( \gamma \beta_z ) / d\tau = 0$,

$d ( \gamma \beta_y ) / d\tau = u \beta_x$ , $d \gamma / d \tau = - \sigma \beta_x \cos \Psi$ .

Используя (2) находим интегралы движения для ускоряемого электрона

(3) $J = \gamma \beta_y + u \beta_p ( \Psi - \tau ) = const$, $h = \gamma \beta_z = const$.

Величина J определяется значениями $g = \gamma(0) \beta_y (0)$ и $\Psi(0)$. С учетом (3) получаем релятивистский фактор $\gamma$ и компоненту скорости заряда вдоль волнового фронта $\beta_y$

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

$\beta_y = [ J + u \beta_p ( \tau - \Psi ) ] / \gamma$.

Анализ ускорения зарядов проводится на основе вытекающего из (2)-(4) нелинейного нестационарного уравнения для фазы волны на траектории электрона

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

Для решения (5) начальные данные берем в виде $\Psi(0) = \Psi_0$ , $\Psi_\tau(0) = a$. Соответственно имеем $\beta_x(0) = \beta_p ( 1 - a )$. Введем компоненты безразмерного импульса частицы $g_x = \gamma \beta_x$ , $g_y = \gamma \beta_y$ . Нелинейное уравнение (5) решалось численно. Для достаточно больших времен ускорения электрона численное решение должно выходить на следующие асимптотики для компонент скорости и релятивистского фактора частицы $\gamma(\tau) \approx u \beta_p \gamma_p \tau$, $\beta_x \approx \beta_p$ , $\beta_y \approx 1 / \gamma_p$ .

Таким образом темп ускорения постоянен и не зависит от амплитуды волны σ, определяющей асимптотику функции $\sigma < \beta_x \cos \Psi >$.

Для нахождения благоприятных начальных фаз из диапазона $- \pi < \Psi_0 < \pi$ , при которых происходит захват заряда в режим неограниченного ускорения волной, фиксировалась фазовая скорость волны $\beta_p \approx \beta_p$ . Амплитуда волны σ выбиралась выше порогового значения $\sigma_c$ : $\sigma = 1.5 \sigma_c$ . Затем численными расчетами на относительно малых временах $\tau < 20000$ определялся диапазон начальных фаз, в котором имел место захват заряда в режим неограниченного ускорения волной.

Приведем результаты расчетов для следующего варианта параметров задачи h = 5.1, g = 1, $\beta_p = 0.9$, u = 0.2, $\sigma = 1.5 \sigma_c$ , $\sigma_c = u \gamma_p$ , a = 0, когда $\gamma_0 = 12.186$. Согласно расчетам для большей части начальных фаз $\Psi(0)$ из интервала $- \pi < \Psi(0) < \pi$ захват частиц волной происходит сразу либо на относительно малых временах $\tau$ по сравнению со временем ультрарелятивистского ускорения $\tau_{he} \sim 10^5 \div 10^6$ , которое соответствует росту энергии заряда на три-четыре порядка величины.

Для случая $\Psi(0) = 2$ графики фазы $\Psi(\tau)$, смещения частицы в направлении распространения волны $\xi(\tau)$ показаны на рис. 1 на интервале времени $\tau < 8 \cdot 10^4$. После захвата частицы в эффективную потенциальную яму фаза $\Psi(\tau)$ колеблется около значения, соответствующего дну этой ямы. Согласно рис. 2, смещение захваченного заряда вдоль направления распространения волны возрастает в среднем пропорционально времени $\xi(\tau) \approx \beta_p \tau$. Динамика релятивистского фактора заряда $\gamma(\tau)$ для интервала времени $\tau < 8 \cdot 10^4$ представлена на рис. 3. Как видим, $\gamma(\tau)$ монотонно возрастает согласно указанной на рис. 3 асимптотике $M(\tau)$. В конце интервала имеем $\gamma(\tau) \approx 3.3 \cdot 10^4$ при $\gamma(0) \approx 12.19$.

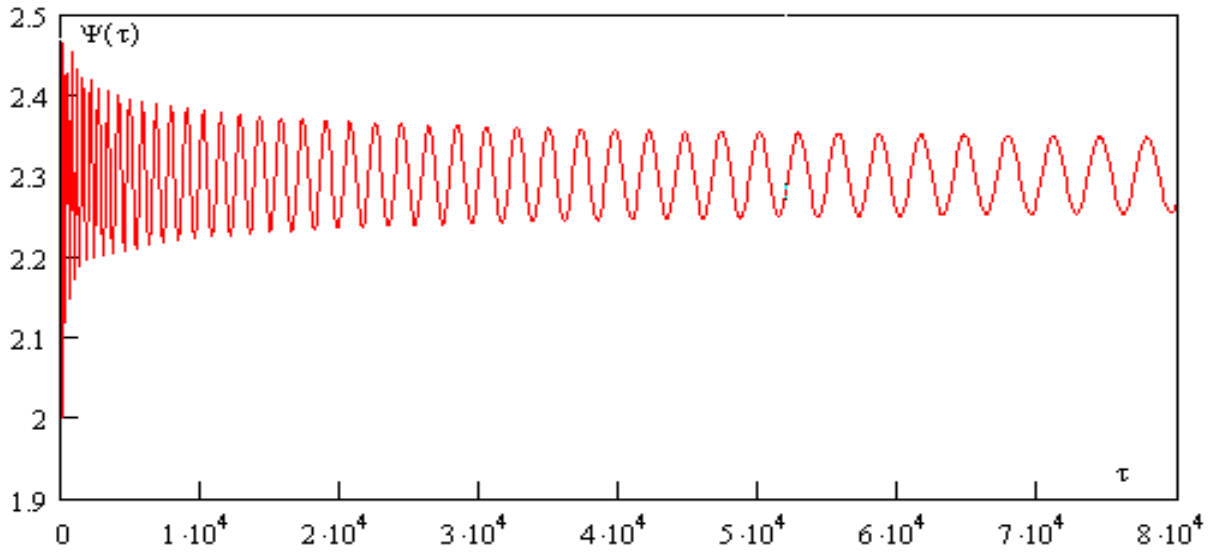



Рис. 1. График фазы волны на траектории заряда

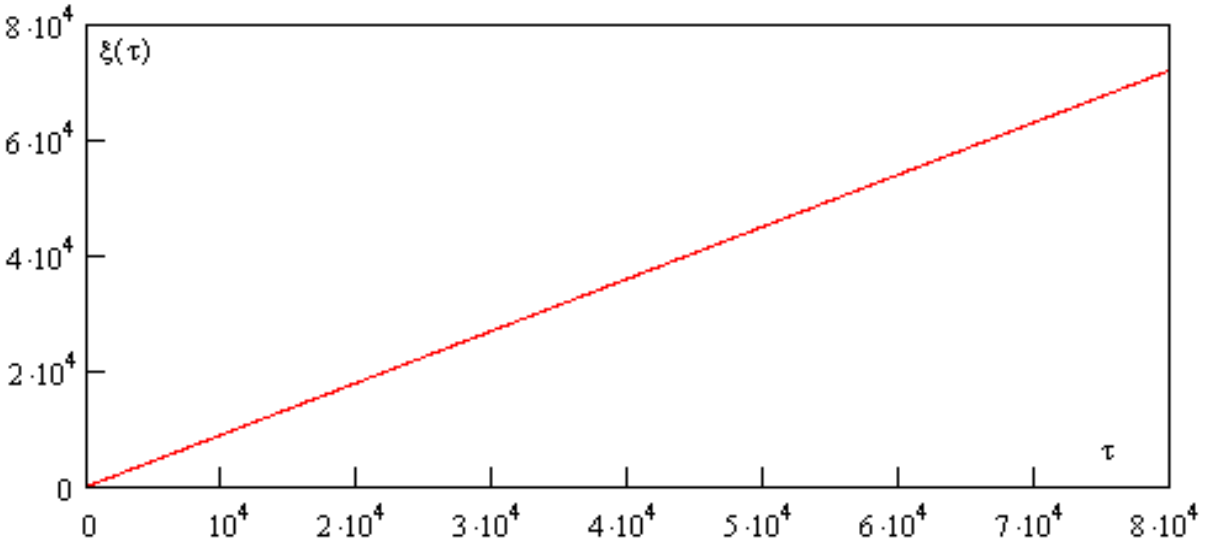



Рис. 2. Смещение заряда в направлении распространения волны

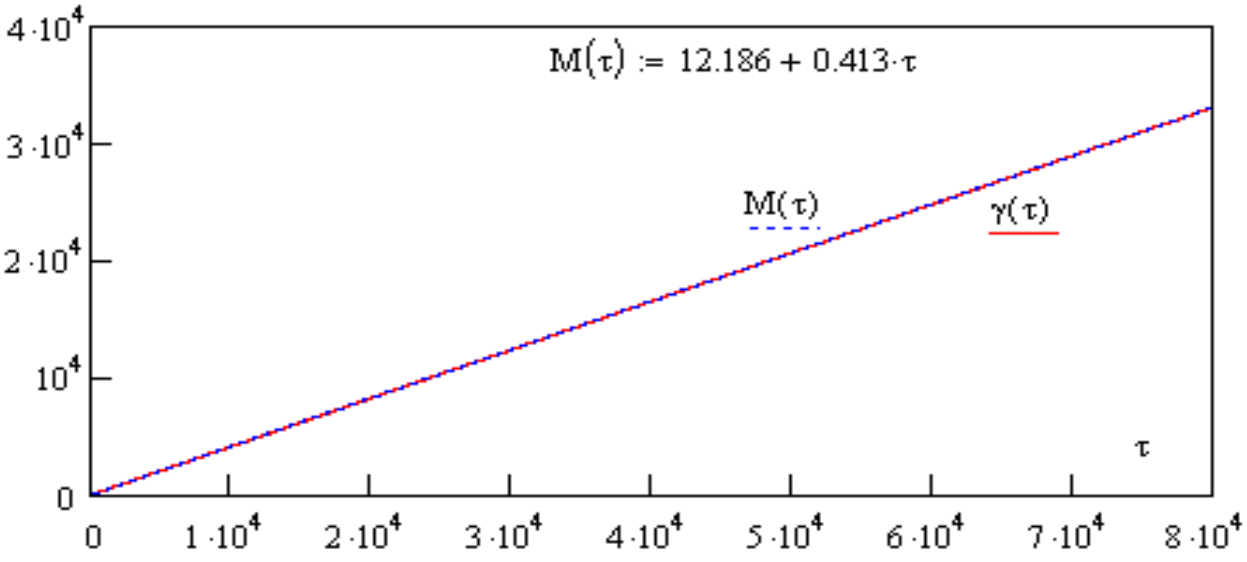



Рис. 3. Динамика релятивистского фактора ускоряемого электрона

На большей части интервала электрон является ультрарелятивистской частицей поскольку выполняются следующие асимптотики $\gamma(\tau) \approx u\ \beta_p\ \gamma_p\ \tau$, $\beta_x \approx \beta_p$ , $\beta_y \approx 1 / \gamma_p$ , $\beta_z \to 0$. Графики поперечных компонент импульса электрона $g_x = (\tau)\ \beta_x(\tau)$, $g_y = \gamma(\tau)\ \beta_y\tau)$ представлены на рис.4. Рост $g_x$ , $g_y$ происходит практически с постоянным темпом. Пусть $\Phi(\tau) = d\Psi / d\tau$. Структура фазовой плоскости ( $\Phi$, $\Psi$) показана на рис. 5. Траектория изображающей точки соответствует колебаниям захваченного электрона с уменьшающейся амплитудой около дна эффективной потенциальной ямы, которое является особой точкой типа устойчивый фокус. Траектория ускоряемого электрона на плоскости (x, y), перпендикулярной внешнему магнитному полю, дана на рис. 6 для интервала времени $\tau < 8 \cdot 10^4$. Практически это прямая линия.

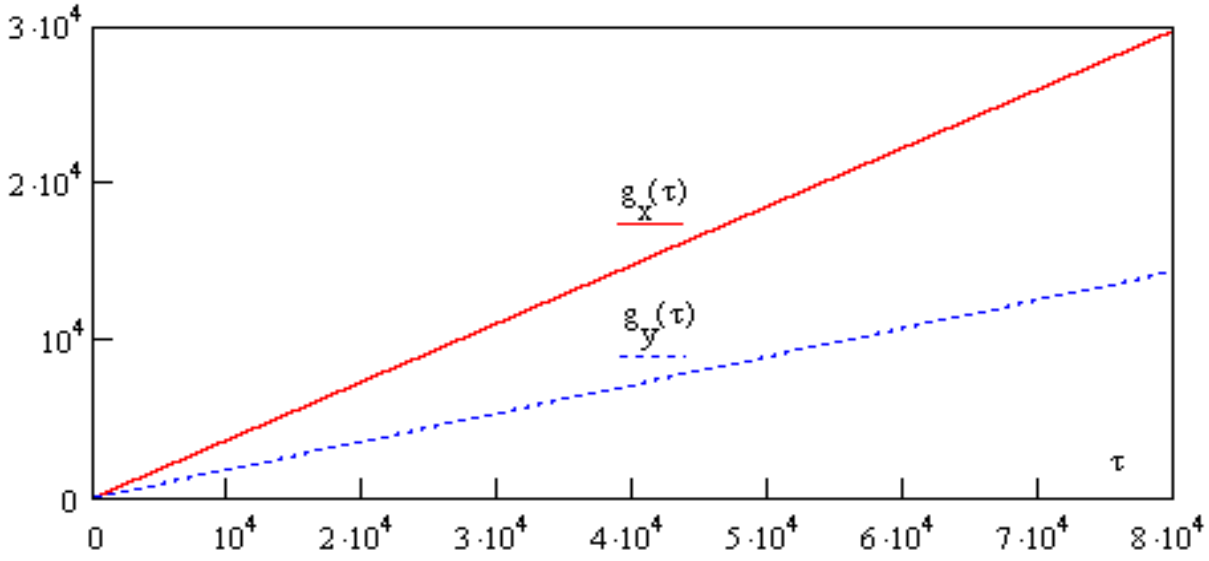



Рис. 4. Графики поперечных компонент импульса электрона

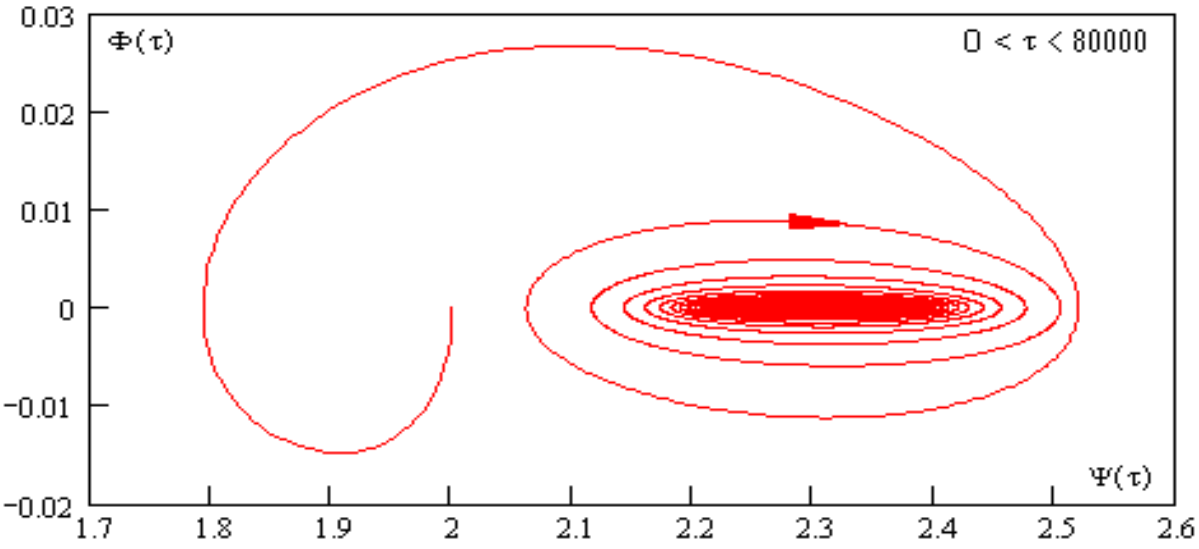



Рис. 5. Структура фазовой плоскости ускоряемого электрона

Для случая $\Psi(0) = 2$ были проведены расчеты для значений безразмерного продольного импульса электрона h = 20, 40, 100. Результаты вполне аналогичны описанным выше. Обнаружено также, что начальная фаза $\Psi(0)$, благоприятная для захвата электрона в режим неограниченного ускорения волной при h = 5.1, является таковой и для больших значений продольного импульса h. В качестве иллюстрации данного утверждения на рис. 7 показана динамика фазы волны на траектории электрона для случая h = 100, вполне аналогичная приведенной на рис. 2. График релятивистского фактора электрона для случая h = 100, приведенный на рис. 7, вполне подобен показанному на рис. 3.

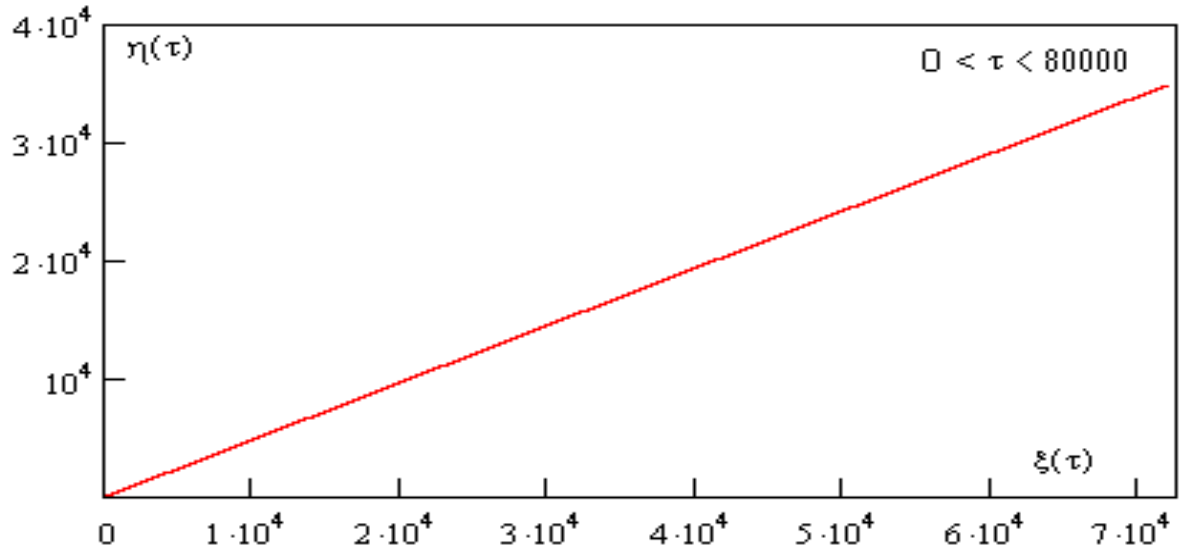



Рис. 6. Траектория электрона на плоскости (x, y)

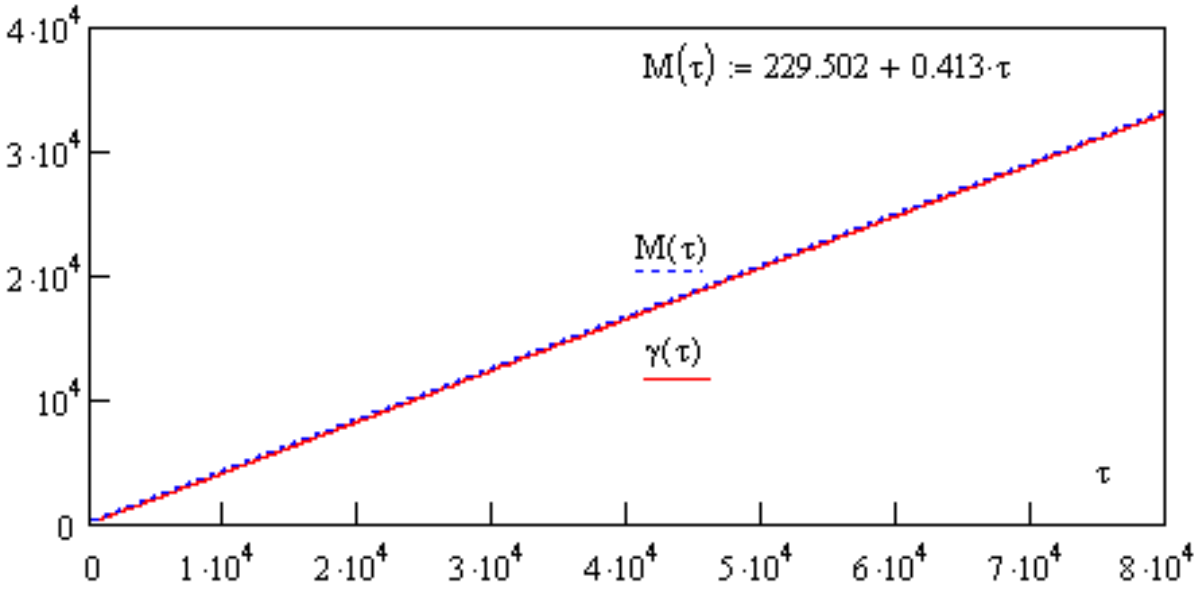



Рис. 7. Динамика релятивистского фактора электрона для случая h = 100

Расчеты для других вариантов выбора начальной фазы $\Psi(0)$ приводят к выводу о том, что увеличение продольного импульса электрона не меняет время захвата частицы волной в режим ультрарелятивистского ускорения. Это означает, что число частиц, испытывающих сильное серфотронное ускорение электромагнитной волной в плазме, может быть достаточно большим. Генерация потоков ультрарелятивистских заряженных частиц в космической плазме характеризуется большой (в масштабе периода волны) длительностью взаимодействия и соответственно получаются весьма высокие энергии ускоренных частиц. Так в солнечной гелиосфере характерные энергии при серфотронном ускорении зарядов достигают десятков-сотен ГэВ [11] при начальной кинетической энергии порядка или меньше Гэв.

Интересный случай динамики черенковского взаимодействия частицы с волной возникает при выборе отрицательных начальных значений для компоненты импульса электрона вдоль волнового фронта. Согласно расчетам вначале у захваченной частицы происходит перестройка импульса $\gamma\ \beta_y$ на положительные значения, сопровождающаяся уменьшением энергии частицы. При этом темп торможения заряда практически постоянен. Затем после изменения знака импульса $\gamma\ \beta_y$ имеет место серфотронное ускорение частицы до больших энергий.

**Заключение**

Основные результаты работы можно сформулировать следующим образом:

- Во-первых, на основе численных расчетов нелинейного, нестационарного уравнения для фазы волны на траектории частицы изучена зависимость ультрарелятивистского серфотронного ускорения электронов электромагнитной волной, распространяющейся в космической плазме поперек внешнего магнитного поля, от величины продольного (к внешнему магнитному полю) импульса частицы $h = \gamma \beta_z$ .
- Показано, что при выполнении условия черенковского резонанса захват частиц в режим серфинга происходит для широкого диапазона значений начальной фазы волны на траектории электронов $\Psi(0)$. Величина благоприятной (для захвата электрона) начальной фазы $\Psi(0)$ не меняется при увеличении продольного импульса частицы $\gamma \beta_z$ на один-два порядка величины.
- Число ускоренных волной частиц может быть достаточно большим вследствие резкого увеличения в пространстве начальных импульсов области, из которой заряды попадают в режим сильного серфотронного ускорения.
- Расчеты показали, что при ускорении компоненты импульса и релятивистский фактор частицы возрастают с постоянными темпами, компоненты поперечной скорости выходят на асимптотические значения, продольная скорость убывает обратно пропорционально нарастающему релятивистскому фактору электрона.
- Проведенный численный анализ серфинга электронов на электромагнитных волнах представляет интерес для физики космической плазмы [10-12], в частности, для интерпретации экспериментальных данных по регистрации потоков релятивистских частиц в околоземном пространстве и гелиосфере, в частности, обьяснения причин возможных отклонений наблюдаемых спектров быстрых частиц от стандартных степенных скейлингов. Для параметров гелиосферы характерные энергии ускоренных частиц могут достигать величин порядка десятков - сотен Гэв.
- Таким образом серфинг заряженных частиц на электромагнитных волнах является одним из возможных механизмов генерации космических лучей.

**Литература:**


1. K a t s o u l e a s, N., J. M. D a w s o n. Unlimited electron acceleration in laser-driven plasma wave. Physical Review Letters, 1983, v. 51, № 5, pp. 392-395.
2. J o s h i, C. The surfatron laser-plasma accelerators. Prospects and limitations. Radiation in plasmas, 1984, v.1, № 4, pp. 514-527.
3. Г р и б о в, Б. Э., Р. З. С а г д е е в, В. Д. Ш а п и р о, В. И. Ш е в ч е н к о. О затухании плазменных волн и ускорении резонансных электронов в поперечном магнитном поле. Письма в ЖЭТФ, 1985, т.42, вып.2, с. 54-58.
4. Б у л а н о в, С. В., А. С. С а х а р о в. Ускорение частиц, захваченных сильной потенциальной волной с искривленным фронтом в магнитном поле. Письма в ЖЭТФ, 1986, т. 44, вып. 9, с. 421-423.
5. С и т н о в, М. И. Максимальная энергия частиц в серфатроне в режиме ″неограниченного ускорения″. Письма в ЖТФ, 1988, т. 14, вып. 1, с. 89-92.
6. Е р о х и н, Н. С., А. А. Л а з а р е в, С. С. М о и с е е в, Р. З. С а г д е е в. Увлечение и ускорение заряженных частиц замедленной волной в неоднородной плазме. ДАН СССР, 1987, т. 295, № 4, с. 849-852.
7. Е р о х и н, Н. С., С. С. М о и с е е в, Р. З. С а г д е е в. Релятивистский серфинг в неоднородной плазме и генерация космических лучей. - Письма в Астрономический журнал, 1989, т.15, № 1, с.3-10.
8. Е р о х и н, Н. С., Н. Н. З о л ь н и к о в а, А. Г. Х а ч а т р я н. Ускорение зарядов поперек магнитного поля при взаимодействии сильной плазменной волны с многокомпонентными потоками релятивистских частиц. - Физика плазмы, 1990, т. 16, вып. 8, с. 945-947.
9. К и ч и г и н, Г. Н. Особенности ускорения электронов в серфотроне. – ЖЭТФ, 1995, т.108, вып.10, с. 1342-1354.
10. S h k e v o v R., N. S. E r o k h i n, L.A. M i k h a i l o v s k a y a, N. N. Z o l n i k o v a. Numerical investigation of the efficiency of charged particles surfatron acceleration by wave packets in space plasma, http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2012.07.001. JASTP V.99, pp. 73-77, 2013.
11. Л о з н и к о в, В. М., Н. С. Е р о х и н. Переменный источник избытка космических электронов в гелиосфере. Вопросы атомной науки и техники, сер. Плазменная электроника, № 4 (68), с. 121-124, 2010.
12. Е р о х и н, Н. С., Н. Н. З о л ь н и к о в а, Е. А. К у з н е ц о в, Л. А. М и х а й л о в с к а я. Динамика релятивистского ускорения заряженных частиц в космической плазме при серфинге на пакете электромагнитных волн. Вопросы атомной науки и техники, сер. Плазменная электроника, № 4(68), с. 116-120, 2010.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# ДИНАМИКА ТРОПИЧЕСКОГО ЦИКЛОГЕНЕЗА С ВАРИАЦИЯМИ СКОРОСТИ ВЕТРА

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

*[1]Институт космических исследований – Российская академия наук*
*[2]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: nerokhin@mx.iki.rssi.ru, shkevov@space.bas.bg*

***Ключевые слова**: Нелинейная малопараметрическая модель, региональный циклогенез, тропические циклоны, скорость ветра, температура поверхности океана, активный сезон.*

***Аннотация**: На основе численных расчетов в рамках нелинейной малопараметрической модели (МПМ) для максимальной скорости ветра в тайфуне (ТЦ) и температуры поверхности океана в зоне ТЦ продолжен анализ временной динамики регионального крупномасштабного циклогенеза (РКЦ) с учетом влияния внешних факторов (типа солнечно-земных связей, явления Эль-Ниньо и др.), определяющих нестационарность фоновой обстановки и интенсивность РКЦ. Выбором параметров задачи рассмотрены варианты временной динамики РКЦ при реализации вариаций фоновой обстановки с характерным временем этих вариаций порядка суток и параметром амплитуды вариаций 0.01 при генерации трех ТЦ в активный сезон. Из проведенных численных расчетов следует, что сравнительно малые изменения фоновой обстановки могут инициировать значительные вариации скорости ветра в ТЦ при генерации нескольких тайфунов в активном сезоне региона причем характеристики формирующихся ТЦ (скорость ветра, длительность жизненного цикла и др.) могут существенно различаться. Из проведенных расчетов следует возможность описания РКЦ конкретного региона на основе используемой нелинейной малопараметрической модели при соответствующем подборе параметров МПМ, которое будет соответствовать данным наблюдений.*

# TROPICAL CYCLOGENESIS DYNAMICS WITH WIND VELOCITY VARIATIONS

**Nikolay Erokhin[1], Ludmila Mikhailovskaya[1], Nadezhda Zolnikova[1], Rumen Shkevov[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 small-parametric model, tropical cyclones, regional cyclogenesis, wind velocity, ocean surface temperature, active season.*

***Abstract:** On the basis of numerical calculations in the frame of nonlinear model with reduced (small?) number of parameters (NMRNP) for the maximum wind speed in a tropical cyclone (TC) and sea surface temperature in the area of the TC, we continued the analysis of the temporal dynamics of regional large-scale cyclogenesis (RCC), taking into account the influence of external factors (such as solar-terrestrial relations, El Niño phenomenon, etc.) which determines the nonstationarity of the RCC's background conditions and intensity. By choosing the system parameters, variants of RCC's temporal dynamics were described, realizing variation in background conditions with variation characteristic time of the order of 24 hours and amplitude variation parameter of 0.01, when generating three TC during the active season. The numerical results show that relatively small changes in background conditions can trigger significant variations of the wind speed in TC, when generating a couple of typhoons in the active season and the characteristics of the forming TC (wind speed, life cycle duration, etc.) can vary significantly. Taking into account the calculations, it became possible to describe the RCC of specific region, selecting the adequate parameters and on the basis of the NMRNP, to obtain results matching the observational data.*

**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. 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 квази-стационарную фазу [1] 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 [3].

Дальнейшее развитие модели [4] было связано с учетом нестационарности фоновой обстановки, например, температуры поверхности океана, возможности описания многократной генерации ТЦ в заданном регионе во время активного сезона, а также введением эффективных источников атмосферных возмущений, например, обусловленных солнечно-земными связями, вариациями потока солнечной радиации, космических лучей и др. В этой обобщенной модели после формирования крупно-масштабного мощного вихря (вследствие развития неустойчивости атмосферы) и последующего затухания ТЦ (по истечении некоторого времени) происходит подготовка системы океан-атмосфера к повторной генерации тайфуна по достижении ее параметрами пороговых (для запуска неустойчивости) значений. Обобщенная нелинейная модель содержит ряд параметров, которые могут зависеть от времени, и их выбором можно в значительной степени управлять временной динамикой регионального циклогенеза, например, менять количество образующихся в заданном регионе ТЦ в период активного сезона, их характеристики включая максимальную скорость ветра, продолжитель-ность жизненного цикла каждого ТЦ, длительности стадии интенсификации вихрей до уровня тайфуна и последующего их затухания. Таким образом развиваемый на основе МПМ подход с учетом данных наблюдений по параметрам крупно-масштабных возмущений типа ТЦ позволяет получить достаточно простую модель описания описания сезонного хода РКЦ в каждом регионе с учетом данных наблюдений и анализа его корреляций с другими процессами.

Это представляет большой научный и практический интерес, например, для разработки современных методик прогноза кризисных атмосферных явлений, их длительности и интенсивности, исследования их связей с другими крупно-масштабными процессами. Это важно и для анализа влияния ТЦ, например, на крупномасштабную циркуляцию атмосферы и пр.

На основе обобщенных уравнений малопараметрической нелинейной модели изложены результаты численных расчетов сезонного хода крупномасштабного регионального циклогенеза (РКЦ) с учетом нестационарности фоновой обстановки, приводящей к вариациям скорости ветра в ТЦ. Для этого в уравнения МПМ введена функция с малым параметром, определяющим амплитуду вариаций скорости ветра. Кроме того можно также менять начало и конец активного сезона, число возникающих тайфунов и штормов в этот период, их характеристики. Принципиально то, что проведенный численный анализ решений нелинейной МПМ выявил заметную чувствительность сценария динамики регионального циклогенеза к изменению величин исходных параметров задачи.

Следовательно, развиваемый подход к исследованию РКЦ позволяет оптимизировать выбор параметров модели для заданного годового интервала, чтобы описать число образовавшихся ТЦ, времена их существования, максимальные скорости ветров и другие характеристики, которые должны соответствовать параметрам ТЦ в имеющихся базах данным наблюдений [5].

**Уравнения МПМ и численный анализ их решений**

Для описания сезонного хода РКЦ с учетом нестационарности фоновой обстановки и внешних воздействий, воспользуемся следующими уравнениями [4,6]:

$$dV/dt = \gamma\cdot( T - T_c )\cdot V - \mu\cdot V^2 + y(t),$$

$$(1) \qquad dT/dt = - b\cdot(T - T_1)\cdot V^2 + (T_f - T) / \tau$$

$$dT_f /dt = f(t) - \nu\cdot( T_f - T_o).$$

В (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 порогового значения $T_c$.

В соответствие с рекомендациями работы [1] 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 однако отметить, что значение $T_c$ вообще говоря зависит от региона [7].

В уравнениях (1) источник f(t) описывает влияние внешних факторов на температуру поверхности океана, а функция y*(t)* возникновение слабого ветра (при отсутствии тайфуна) под действием малого внешнего возмущения. 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 одного ТЦ использовалась функция

(2) $T_f(t) = T_0 + \delta T_f(t)$, где $\delta T_f(t) = \delta T_1 [ 1 + th\ s_1(t) ] - \delta T_2 [ 1 + th\ s_2(t) ]$.

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 крупно-масштабная неустойчивость с генерацией ТЦ. В конце жизненного цикла ТЦ она уменьшается на $2\cdot\delta T2$ (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 сумму 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.

Рассмотрим процесс генерации в активном сезоне РКЦ 1 < t < 65 трех ТЦ в простейшем случае y(t) = 0, f(t) = 0, $\nu$ = 0. Для описания динамики циклогенеза в формуле (2) для $\delta T_f(t)$ используем представление

(3) $\delta T_f(t) = G(t)\cdot\sum_n \{ \delta T_{n1}\cdot [ 1 + th\ s_{n1}(t) ] - \delta T_{n2}\cdot [ 1 + th\ s_{n2}(t) ] \}$, n = 1, 2, 3.

$G(t) = 1 + \sigma\cdot\sin ( 2\cdot\pi\cdot t / 1.2)$, где $\sigma$ параметр вариаций фоновой температуры.

Ниже будут приведены графики скорости ветра и температуры поверхности океана для следующего варианта выбора параметров в (3) при численных расчетах решения системы уравнений (1), соответствующего генерации трех тайфунов в активном сезоне,

$\gamma = 1$, $\mu = 3\cdot10^{-3}$, $b = 9\cdot10^{-4}$ , $\tau = 1$, $T_c = 26.5$, $T_1 = 23$, V(0) = 0.3, T(0) = 26,

(4) $\delta T_{11} = 1$, $\delta T_{12} = 1.4$, $\delta T_{21} = 1.4$, $\delta T_{22} = 1.7$, $\delta T_{31} = 1.9$, $\delta T_{32} = 1.9$,

$\tau_{n1} = \tau_{n2} = 1$, $t_{11} = 1$, $t_{12} = 7$, $t_{21} = 14$, $t_{22} = 29$, $t_{31} = 38$, $t_{32} = 60$.

Для параметра $\sigma$, определяющего амплитуду вариаций скорости ветра в ТЦ, примем значение $\sigma$ = 0.01. На рис.1 дан график скорости ветра в тайфунах V(t).

Длительность жизненного цикла второго 16, а третьего ТЦ 23 сутки. Для них наблюдаются 6 и 10 вариаций V(t). Отметим, что в среднем для первого ТЦ скорость ветра близка к 38.2 м / с, а для третьего она около величины 47.7 м / с. Важно, что в промежутке времени между ТЦ вариации V(t) не видны. Динамика температуры поверхности океана T в зоне ТЦ показана на рис.2. Видно, что на квазистационарной стадии ТЦ вариации T порядка 0.4° C в виду малости параметра $\sigma$. Между ТЦ, в отличие от скорости V(t), вариации температуры T(t) того же порядка 0.4° C .

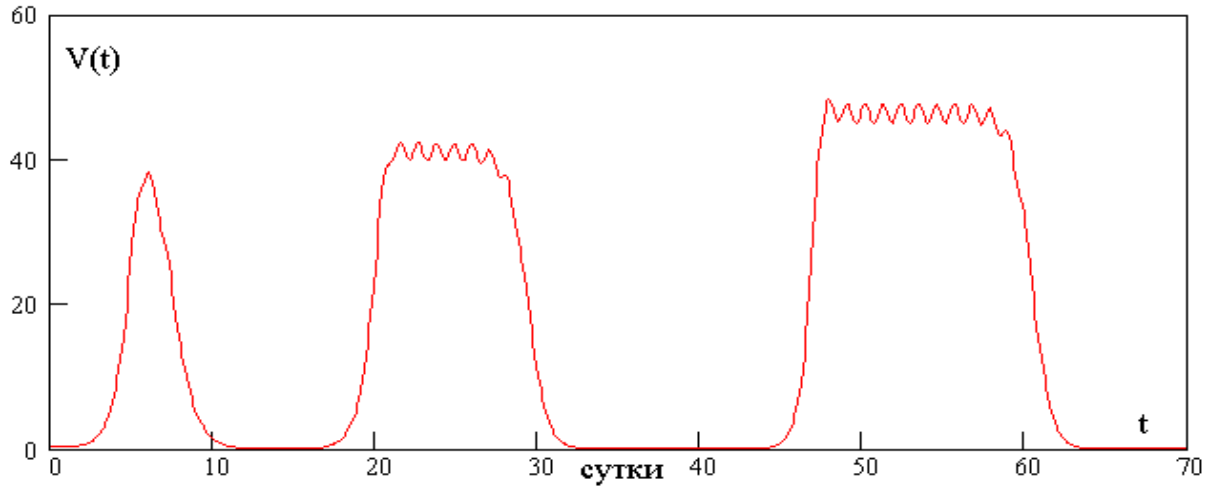



Рис. 1. График скорости ветра в тайфунах V(t) при генерации трех ТЦ

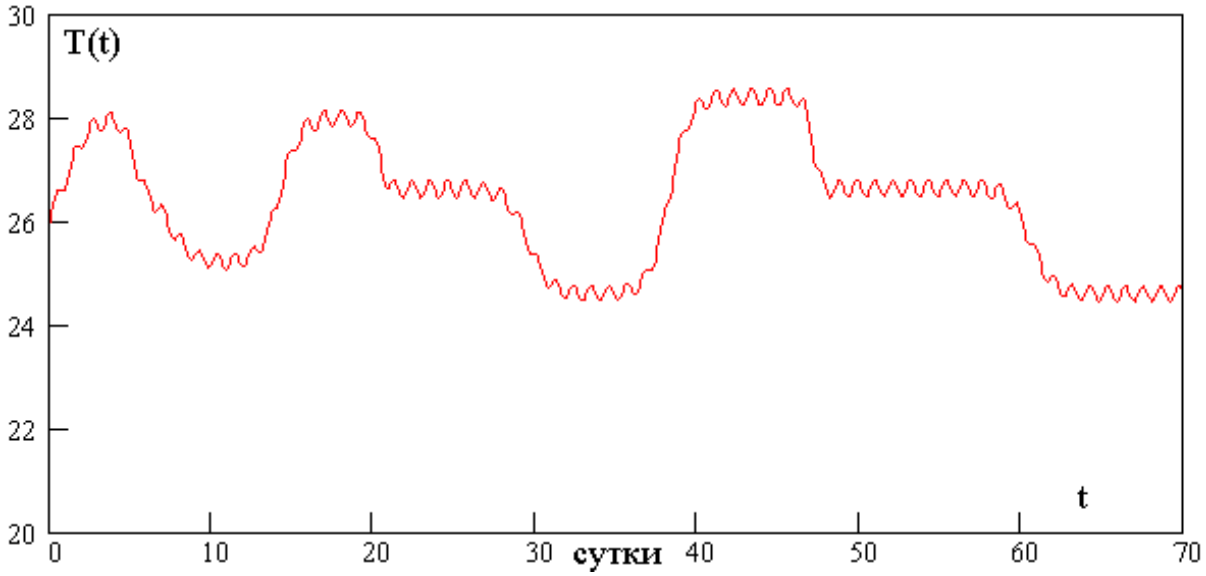



Рис. 2. Временная динамика температуры поверхности океана в зоне ТЦ при генерации трех тайфунов

Графики фоновой температуры $T_f(t)$ при $\sigma = 0.01$ (кривая 1) и для $\sigma = 0$ ( $T_{f0}(t)$, кривая 2) представлены на рис.3. Амплитуда вариаций $\delta T_f(t)$ при $\sigma = 0.01$ порядка 0.6° С. Таким образом проведенный в работе численный анализ динамики сезонного хода крупномасаштабного регионального тропического циклогенеза (РКЦ) подтвердил, что в рамках малопараметрической, нелинейной модели путем подбора исходных параметров задачи, учета нестационарности фоновой обстановки, можно получать совершенно различные сценарии генерации тропических циклонов и полярных ураганов в активном сезоне с разной амплитудой вариаций скорости ветра на квазистационарной стадии ТЦ .

В остальное время года эти кризисные события отсутствуют. При соответствующем подборе параметров модели характеристики образовавшихся ТЦ будут соответствовать данным наблюдений крупномасштабного циклогенеза в исследуемом регионе. Необходимо отметить, что амплитуда вариаций скорости ветра и температуры поверхности океана в зоне ТЦ существенно зависит от величины параметра $\sigma$, характеризующего нестационарность фоновой обстановки.

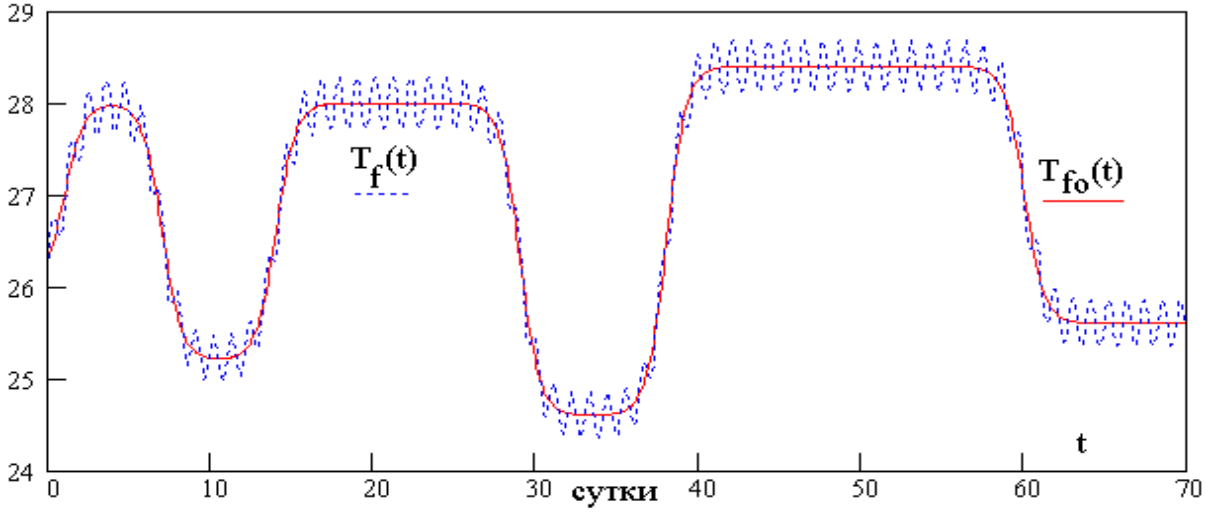



Рис. 3. Графики фоновой температуры $T_f(t)$ при $\sigma = 0.01$ и $T_{f0}(t)$ для $\sigma = 0$

Так ранее проведенные численные расчета показали, что при $\sigma = 0.08$ в зоне тайфунов колебания максимальной скорости ветра увеличиваются до 16 м/с, но в зоне штормов возмущения значительно меньше. Для $\sigma = 0.08$ согласно расчетам вариации температуры поверхности океана в зоне ТЦ возрастают до величины порядка 2°С. Указанные обстоятельства связаны с тем, что когда в зоне ТЦ параметры соответствуют неустойчивой системе океан-атмосфера воздействия вариаций фоновой обстановки резко усиливаются по амплитуде вызываемых ими колебаний V(t) и T(t). При параметрах системы океан-атмосфера, соответствующих стабильной динамике индуцируемые колебания V(t) остаются достаточно малыми ввиду малости $\sigma$.

Необходимо отметить, что данные наблюдений РКЦ, в частности, спутниковой аппаратурой необходимы для обоснованного выбора исходных параметров задачи в нелинейной малопараметрической модели, решения которой должны соответствовать характеристикам сформировавшихся в конкретном регионе тайфунов, а также для правильного описания влияния внешних источников на крупномасштабный тропический циклогенез, например, с помощью эффективных схем параметризации в численном исследовании трехмерной пространственно-временной динамики ТЦ.

Представляет также интерес учет в последующем анализе крупномасштабного циклогенеза существенной роли заряженных подсистем мощных атмосферных вихрей, спиральности ветровых потоков, выделения скрытой теплоты фазовых преобразований атмосферной влаги. Заметим, что в мощном тайфуне в сутки (в среднем) выпадает до 30 млрд тонн осадков. Так что выделяемая при этом тепловая энергия почти на два порядка превосходит кинетическую энергию ветров в тайфуне.

**Заключение**

Результаты проведенного исследования состоят в следующем:

- Продолжен анализ обобщенной нелинейной МПМ для описания возможности вариаций скорости ветра в тропических циклонах на квазистационарной стадии их жизненного цикла.
- Численными расчетами показано, что на основе обобщенной малопара-метрической, 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 стандартного метода корреляционного анализа.
- Развиваемый подход к исследованию динамики РКЦ на основе нелинейной МПМ с учетом экспериментальных данных по характеристикам крупно-масштабных тропических возмущений типа тайфунов позволит получить 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. Представляет интерес исследование данного вопроса на основе малопараметрической модели циклогенеза в последующих работах.

**Литература:**


1. Ярошевич, М.И., Л.Х.Ингель. Тропический циклон как элемент системы океан-атмосфера. ДАН, 2004. Т.399. № 3. с.397-400.
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. 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.
4. 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.
5. Покровская, И.В., Е.А.Шарков. Тропические циклоны тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Версия 2.1 ( 1983-2000). М.: Полиграф сервис, 2001. 548 с.
6. 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.
7. Шарков Е.А., Покровская И.В. Особенности региональных тропических циклогенезов в поле поверхностной температуры Мирового океана по данным дистанционного зондирования . Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса: Физ. основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сб. научн. статей. Вып. 6. Т. 2. М.: Азбука-2000, 2009. с. 259-265.

**S E S 2 0 1 3**
*Ninth Scientific Conference with International Participation*
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
*20 – 22 November 2013, Sofia, Bulgaria*

# VERIFICATION OF FOREST AND WATER BODIES HIGH RESOLUTION LAYERS 2012 FOR BULGARIA

**Ventzeslav Dimitrov**

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

***Keywords:*** *Land cover, satellite image, high resolution layers, verification*

***Abstract:*** *Production of high resolution layers (HRLs) is an essential part of the pan-European component of Copernicus programme's land monitoring service. In the frame of the initial operations of the service five HRL were created by a number of service providers from multi-sensor and multi-temporal satellite images for the reference year 2012: imperviousness, forests, grasslands, wetlands and permanent water bodies. This paper is focused on the implementation of verification task for forest and permanent water bodies HRL products for Bulgarian territory. The purpose of the verification is to identify systematic classification errors suitable for further correction. It is carried out through visual inspection of stratified samples in the HRL using reliable reference data sets. Verification activity includes three steps, the first two – obligatory: general overview of data quality, look-and-feel verification and statistical verification. Stratification scheme and evaluation grades for Forest and statistical accuracy estimates for PWB HRL are presented. Results show that Forest and PWB HRL products meet the 85% accuracy requirements.*

# ВЕРИФИКАЦИЯ НА СЛОЕВЕ С ВИСОКА РЕЗОЛЮЦИЯ 2012 ЗА ГОРИТЕ И ВОДНИТЕ ТЕЛА ЗА БЪЛГАРИЯ

**Венцеслав Димитров**

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

***Ключови думи:*** *Земно покритие, спътниково изображение, слой с висока резолюция, верификация*

***Резюме:*** *Създаването на слоевете с висока разделителна способност (резолюция) (СВР) е съществена част от пан-европейски компонент на услугата за мониторинг на земята на програмата „Коперник". При началното функциониране на услугата няколко доставчика на услуги създават пет СВР от мултисензорни и разновременни спътникови изображения с базова година 2012: „Степен на непроницаемост"," Гори", „Пасища и ливади", „Влажни зони" и „Постоянни водни тела". Този доклад е фокусиран върху изпълнението на задачата за верификация на СВР "Гори" и "Постоянни водни тела" за територията на България. Целта на верификацията е да открие систематичните грешки от класификацията, поддаващи се на последваща корекция. Тя се извършва чрез визуална проверка на стратифицирана извадка проби от СВР с използването на надеждни референтни множества от данни. Работата по верификацията включва три стъпки, първите две – задължителни: общ преглед на качеството на данните, визуална проверка по принципа „гледай и чувствай" и статистическа верификация. Представени са схеми за стратификация и оценъчни степени за горите, както и статистически оценки за постоянните водни тела. Резултатите показват, че СВР "Гори" и "Постоянни водни тела" постигат изискваната точност от 85%.*

## Introduction

The Copernicus programme, (formerly Global Monitoring for Environment and Security - GMES) combines satellite-borne earth observation, in-situ data and services to provide value added information, necessary for monitoring the environment. The initial operations phase of the land monitoring service (GIO land) produces more detailed complementary information in parallel with the

updating of CORINE Land Cover (CLC) for the reference year 2012. Five high resolution layers (HRL) describing main land cover characteristics are currently in production: imperviousness, forests, grasslands, wetlands and permanent water bodies [1] HRLs are created through applying sophisticated analysis algorithms at pixel level of multi-sensor and multi-temporal satellite imagery with spatial resolution of 20x20 m. These so called intermediate products set up the input for verification and enhancement, which are implemented by separate countries. As a result enhanced final products of countries are created.

Experience in working with one of the HRL already exists in Bulgaria, as in 2006-2008 the Soil Sealing HRL was evaluated as a part of the GMES Fast Track Service [2], [3]. The European validation of the soil sealing layer was further performed in 2011 using a dedicated methodology for statistical evaluation and calculation of quantitative accuracy figures for soil sealing data [4].

This paper is focused on the implementation of verification task for forest and PWB HRL products for Bulgarian territory. The verification has to identify systematic classification problems suitable for further correction checking for commission and omission errors against reliable in-situ spatial data sets.

**Data used**

Several data sets were involved in the verification process. By their origin they could generally be subdivided to space borne and in-situ data. The space borne group was formed from country-wide data sets representing part pan-European satellite image coverages or their derivatives, namely:

- satellite images from different sensors;
- HRL layers;
- CLC2006.

In-situ data comprises all non-space borne georeferenced data at European and national level used in the project activities.

*Satellite images*

Satellite image data are the basic source for HRL production. Overview of the satellite imagery used in the project is presented in Table 1.

Table 1. Overview of the satellite data sets

| Feature/Satellite | IRS LISS III (coverage-1) | RapidEye (coverage-2) | IRS AWiFS | SPOT-5 pan-sharpened |
|---|---|---|---|---|
| No. of bands delivered | 4 | 5 | 4 | 3 |
| Channels | green, red, NIR, SWIR | blue, green, red, red-edge, NIR | green, red, NIR, SWIR | green, red, NIR, |
| Ground sampling distance (m) | 23.5 | 6.5 | 56-70 | 2.5 or 10 |
| Bit depth | 7 | up to 12 | 10 | 8 |
| Delivered resolution | 20 m | 20 m | 60 m | 2.5 |

Two pan-European satellite image coverages – 1 and 2 form the core image data set. Image data from IRS-P6 satellite are the same used by the service providers to produce the HRL multi-date image coverage of the country's territory is delivered ensuring two or more images at every location. Pan-sharpened SPOT 5 image data with three spectral bands were used instead of colour infrared aerial photos, needed for forest type layer. All images were acquired during the period 2011-2012.

*High Resolution Layers*

In the following text only most important definitions and outline parameters of forest and water bodies HRLs are provided. More detailed description and technical specifications of all five high resolution layers can be found in [1]. The required classification accuracy for HRL is at least 85%.

HRL data set for the forest includes two products: Tree Cover Density and Forest Type. The latter consists of two raster layers: Dominant Leaf Type and Additional Support layer. Orchards, forest nurseries and transitional woodlands are included in the tree cover density product. On the other hand, non-forest trees are excluded from Forest Type product, following the FAO forest definition. This is achieved through the Support layer which maps trees under agricultural use and in urban context only, while the Dominant Leaf Type layer maps all the trees irrespective of their use.

Figure 1 gives an impression of forest HRLs through an example which represents a situation of a turn of the road in a forest area. On Figure 1 a) a semi-transparent Forest Type raster layer is overlaid on aerial photo with dark-green pixels corresponding to coniferous forest and light-green ones

corresponding to broadleaved forest. On the right-hand image (Figure 1 b), the Tree Cover Density layer of the same area is shown where darker colour means higher density.



a) Forest Type b) Tree Cover Density

Fig. 1. Example of Forest product HRLs

In the case of PWB HRL in order to detect the permanent presence of surface water image data for three reference years were used: 2006, 2009 and 2012. Seasonal AWiFS data were involved for the 2012 reference year to separate temporary water from permanent water bodies.

*In-situ data*

In-situ data comprise all non-space-borne data with a geographic dimension. They are divided to ancillary and reference data, at European and national level. Collecting national level in-situ data is the responsibility of the countries. Primary use of in-situ data the project is for providing a reliable reference for HRL evaluation. Working on the forest and water bodies HRLs the following in-situ digital data sets were used: forest inventory database, physical blocks of the Land Parcel Identification System, river network, digital orthophoto map, polygons of settlement, topographic maps, National cadastre layer, CLC2006 and RAMSAR sites layer. In addition, the web-based tools Google Earth with StreetView and OpenStreetMap were used when necessary.

**Methods**

The GIO Land tasks, assigned by project's terms of reference, were further detailed in comprehensive Guidelines for verification [5], which served as a methodological and technical basis in our work. On the other hand, the local technical team had the freedom to make decisions on the specifics of methods' implementation.

The work on forest and water bodies HRLs verification is based on three main methods:

- stratified sampling
- computer-aided visual interpretation of samples
- geospatial data editing.

The purpose of the verification is to identify systematic errors in a HRL that allow further correction. It is carried out through visual inspection of selected samples on in-situ data, checking for commission and omission errors. The verification for all HRLs includes three steps (the first two obligatory): general overview, look-and-feel verification and statistical verification.

General overview of data quality aims to provide a general impression on the HRL and in-situ data and to reveal problematic areas for detailed checking in the next step. During this phase considerations for stratification to be applied in the look-and-feel verification phase are collected.

Both look-and-feel and statistical verification rely on sampling. Samples are evaluated by an expert using relevant in-situ data. Look-and-feel samples should be chosen in such a way which ensures areas of potential classification errors to be checked. Knowledge about the territory and classifier's performance is necessary to be able to define such problematic zones. Due to all the above conditions, look-and-feel sampling could not be random. Sufficient number of samples should be provided both for commissions and omission errors, therefore appropriate stratification is applied. As a result of sampling and interpretation of HRL, evaluation on five grades is provided for each stratum: excellent, good, acceptable, insufficient and very poor.

Statistical verification provides quantitative accuracy results that are comparable between HRLs and countries. The sampling is random. The problem of ensuring reasonably low number of samples for the omission strata is solved through adequate stratification. In the case of commission error the estimation uncertainty, expressed as percent of the commission error, depends on the number of samples, but is independent from the area of the HRL class. Thus, if 250 valid samples are taken in the commission stratum the maximum uncertainty is ±3.16% [5]. The commission stratum is the mapped HRL itself. The commission error is calculated by the ratio (1):

$$(1) \quad E_{comm\ (HRL)} = \frac{Area\ _{error}}{Area\ _{valid}},$$

where
$E_{comm(HRL)}$ – commission error,
$Area_{error}$ - area of erroneously classified samples,
$Area_{valid}$ - area of valid samples.

The omission error is estimated through the commission error of the non-HRL class, formula (2). If stratification is applied for omissions, then instead of "non-HRL" we should consider the term and entity "omission stratum".

$$(2) \quad E_{omis\ (HRL)} = E_{comm\ (non-HRL)} = \frac{Area\ _{total} - Area\ _{HRL}}{Area\ _{HRL}},$$

where
$E_{omis(HRL)}$ – omission error
$E_{comm(non-HRL)}$ – commission error of the non-HRL class
$Area_{total}$ – the whole country area classified.
$Area_{HRL}$ – area of the mapped HRL.

Results of the verification are presented in the form of Verification Report and data set to be used in the enhancement task.

**Results and discussion**

*Verification of Tree Cover Density and Forest Type*

For the look-and-feel verification of forest layers maximum 15 thematic strata and 5–10 samples in each are required, which means 75-150 samples in total. The list of strata, number of samples selected and evaluation grades per stratum for the Tree Cover Density layer are presented in Table 2.

Table 2. Sampling results of look-and-feel verification for Tree Cover Density layer

| № | Name of the stratum | No. of samples | Evaluation grades |
|---|---|---|---|
| | COMMISSION | | |
| 1. | Transitional woodland-shrub | 10 | *acceptable* |
| 2. | Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation | 10 | *acceptable* |
| 3. | Moors and heathland | 9 | *insufficient* |
| 4. | Wetlands | 10 | *insufficient* |
| 5. | Grasslands | 9 | *acceptable* |
| | OMISSION | | |
| 6. | Urban vegetation (trees in parks, cemeteries...) | 10 | *good* |
| 7. | Trees in sport and recreation areas | 9 | *acceptable* |
| 8. | Orchards | 10 | *insufficient* |
| 9. | Lowland forests, broadleaved | 10 | *good* |
| 10. | Lowland forests, coniferous | 7 | *good* |
| 11. | Mountain forests, broadleaved | 10 | *good* |
| 12. | Mountain forests, coniferous | 10 | *good* |
| 13. | Forest along rivers & lakes | 10 | *good* |
| 14. | Coastal forests | 5 | *good* |
| 15. | Agricultural areas with scattered small forest patches (if ≥ 0.5 ha) | 8 | *good* |
| Overall evaluation | | | *good* |

As a result of the analysis of errors found during the look-and-feel verification the following comments are formulated the Tree Cover Density layer:

- Commission errors occur in areas of grassland with shrubs in CLC 324 polygons, as well as in CLC 243 polygons with forested patches.
- Large areas with commission errors are present in alpine parts of Rila and Pirin mountains, mostly occupied by dwarf pine. Some commission error cases occur in treeless grassed zones, as well.
- Within the Wetland stratum marshlands or grassed parts of wetland area (mostly near the Danube river and seashore) are incorrectly mapped as forest.
- Commission errors over grasslands occur predominantly within or near forest areas.
- Many of CLC2006 222 based orchards, checked on ortho-photo, look abandoned and/or forested. Polygons with LPIS land use codes 020 and 022 were also involved to evaluate the Tree Cover Map over orchard areas. A lot of orchards are not mapped, probably, due to insufficient tree cover density of orchard fields. Palmette orchards are often missed, as well.
- In forest areas commission errors occur, mapping included grassland areas as forest. Classifier's performance degrades in case of appearance of non-forest features in large forest areas, e.g. road turns, rocks, leading to minor local omission errors.

For the Dominant Leaf Type product 12 thematic strata and 85 samples respectively were selected. Overall evaluation grades for both layers are "good". There are some differences in the strata list for commission errors due to the specifics of expected forest – non-forest errors (Table 3).

Table 3. Dominant Leaf Type strata, samples and grades

| № | Name of the stratum | No. of samples | Evaluation grades |
|---|---|---|---|
| | commission | | |
| 1 | Major cities | 10 | *good* |
| 2 | Sport and recreation areas in urban context | 7 | *insufficient* |
| 3 | Orchards | 10 | *insufficient* |
| 4 | Moors and heathland | 8 | *insufficient* |
| 5 | Wetland | 10 | *insufficient* |
| | omission | | |
| 6 | Lowland forests, broadleaved | 7 | *good* |
| 7 | Lowland forests, coniferous | 7 | *good* |
| 8 | Mountain forests, broadleaved | 7 | *good* |
| 9 | Mountain forests, coniferous | 5 | *good* |
| 10 | Forest along rivers & lakes | 8 | *good* |
| 11 | Coastal forests | 6 | *good* |
| 12 | Agricultural areas with scattered small forest patches (if ≥ 0.5 ha) | 8 | *good* |
| Overall evaluation | | | *good* |

Major problems, which occurred during the look-and-feel verification of this product, are revealed by the following comments:

- Most of problems were found in commission strata.
- Many of CLC2006 class 222 based orchards are abandoned and/or forested and does not exist in LPIS physical blocks. In such cases Support layer commissions occur.
- Only 30% of LPIS orchards overlap with CLC 222 polygons.
- Large areas in alpine parts of Rila and Pirin mountains, covered by dwarf pine, are mapped as forest causing commission errors. Some commission error cases also occur in treeless grassed zones.
- Treeless grassed and/or wet parts of wetland areas are often mapped as forest.
- Dominant leaf type is generally correctly mapped. Young coniferous forests were found mapped as broadleaved. Open area patches surrounded by coniferous forest could be mapped as broadleaved.
- The requirement for minimum width of 20 m for forest fields to be mapped is generally not covered by the classifier. Windbreaks, more than 30 m wide, are simply missed or later filtered out because of 4 connectivity requirement.

*Statistical verification of PWB layer*

Statistical evaluation procedure is non-obligatory one and was applied to the PWB layer only. Two strata were defined – one for commission and one for omission errors. The commission stratum,

as it was mentioned before, is the mapped HRL itself. The omission stratum was defined by merging polygons related to water classes from LPIS and agricultural cadastre data sets. As recommended by the guidelines, 280 random samples were taken in both commission and omission stratum (Table 4).

Table 4. PWB sampling results for commission and omission error

| Measured quantity | Value |
|---|---|
| COMMISSION | |
| All valid samples | 280 |
| Samples showing error | 19 |
| User's accuracy | 93.21 % |
| Uncertainty | 1.50 % |
| Commission error | 6.79 % |
| OMISSION | |
| All valid samples | 280 |
| Samples showing error | 28 |
| Error ratio | 10 % |
| Accuracy | 90 % |
| Producer's accuracy | 94.02 % |
| Uncertainty | 1.07 % |
| Omission error | 5.98 % |

Sampling results show low uncertainty of accuracy values, i.e., low standard deviation of error values, which fact is a guarantee for a reliability of the estimations.

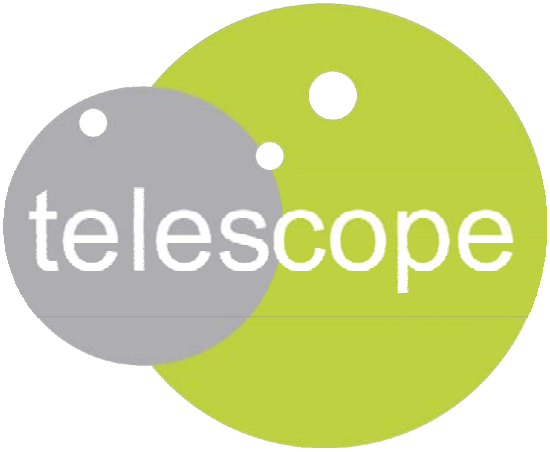
**Conclusions**

Overall results of this study show the good general ability of automated analysis of multi-temporal satellite imagery to extract forest and permanent water bodies land cover data. In general, the tree cover is overestimated by the classifier causing a prevalence of commission errors. The attempt to extract orchards information using the above approach comes across with serious problems. Both the qualitative and the statistical evaluation show that the Forest and PWB HRL products meet the accuracy requirements.

**References:**


1. GIO land High Resolution Layers (HRLs) – summary of product specifications - Prepared by: T. Langanke, EEA, 2013, http://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/gio-land-high-resolution-layers-hrls-2013-summary-of-product-specifications/at_download/file .
2. S t e e n m a n s, C., A. S o u s a. Guidelines for verification of high resolution soil sealing layer - Qualitative assessment, EEA, 2007.
3. S t o i m e n o v, A., R. V a t s e v a, V. D i m i t r o v. Soil Sealing Part of CORINE Land Cover 2006 Bulgaria Project, International Conference Fundamental Space Research, Sunny Beach, Bulgaria, September 21-28, 2008, Proceedings, pp. 110-113, ISBN 978-954-322-316-9, 2008b.Maucha, 2011.
4. Guidelines for verification of high-resolution layers produced under GMES / Copernicus Initial Operations (GIO) land monitoring 2011 – 2013 - Prepared by: G. Büttner, EEA, 2013.
5. M a u c h a, G., G. B ü t t n e r, B. K o s z t r a. European Validation of GMES FTS Soil Sealing Enhancement Data, In Remote Sensing and Geoinformation not only for Scientific Cooperation, pp. 223-238, EARSeL, 2011.

**SPONSOR**




**TeleSCoPE** (Telehealth Services Code of Practice for Europe)

European Commission Programme of Community Action in the Field of Health
(Contract No: 2009 11 11)