

E quando voce quer alguma coisa, todo o Universo conspira para que voce realize seu desejo.

Paulo Coelho

Когато човек силно желае нещо, цялата Вселена му съдейства.

Паулу Коелю



SES 2015

© Space Research and Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences
ISSN 1313 - 3888
2016

S E S 2 0 1 5

**Eleventh Scientific Conference
with International Participation**

SPACE, ECOLOGY, SAFETY

4 - 6 November 2015, Sofia, Bulgaria



БАН
ИКИТ
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**

ELEVENTH SCIENTIFIC CONFERENCE
with International Participation

UNDER THE MOTTO
BULGARIAN MEMBERSHIP IN EUROPEAN SPACE AGENCY

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

S E S 2015

PROCEEDINGS

2016

Organizational Committee

Honoured Chairman: Acad. Stefan Vodenicharov

Chairman:	Members:
Corr. Member Petar Getsov, DSc	Prof. Tsvetan Dachev, DSc Prof. Zhivko Zhekov, DSc Assoc. Prof. Dr. Lachezar Filipov Dr. Konstantin Peev Dr. Krassimir Stoyanov Chief Assistant Rumen Shkevov Chief Assistant Maria Dimitrova Valeri Vashev, MS Ekaterina Subeva, MS Adelina Kuzeva, MS
Vice-Chairman:	
Prof. Garo Mardirossian, DSc	
Secretary:	
Assoc. Prof. Dr. Tania Ivanova	

Scientific-Programming Council

Acad. Lev Zelenyi – Russia	General Dr. Georgi Ivanov
Acad. Valeriy Bondur – Russia	General Dr. Alexander Alexandrov
Prof. Gennadiy Maklakov – Russia	Acad. Chavdar Roumenin, DSc
Prof. Alen Hauchecorne – France	Corr. Member Peter Velinov, DSc
Prof. Gerasimos Papadopoulos – Greece	Corr. Member Filip Filipov, DSc
Prof. Stefano Tinti – Italy	Corr. Member Petar Getsov, DSc
Dr. Stoyan Velkoski – Macedonia	Prof. Garo Mardirossian, DSc Prof. Nikola Vichev, DSc Prof. Dr. Boyko Ranguelov Assoc. Prof. 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 Eleventh Scientific Conference with International Participation „Space, Ecology, Safety - SES 2015”, which was held on 4 – 6 November 2015 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

Session 1

Space Physics

Румен Шкевов, Николай Ерохин, Надежда Зольникова, Людмила Михайловская	
Сильное серфotronное ускорение протонов электромагнитной волной в космической плазме при релятивистских начальных энергиях частиц.	9
Николай Ерохин, Александр Суслов, Людмила Михайловская, Румен Шкевов	
Численное исследование прохождения ВГВ из тропосферы в ионосферу через неоднородные зональные ветровые потоки.	14
Ролф Вернер, Боян Петков, Димитър Вълев, Атанас Атанасов, Венета Гинева, Андрей Кирилов	
Определяне на съдържание на озона чрез GUV 2511 в Стара Загора.	19
Венета Гинева, Ирина Деспирак, Борис Козелов, Ролф Вернер	
Суббури над Апатити по време на силни геомагнитни бури през слънчев цикъл 24.	27
Yordan Tashev, Lachezar Mateev, Peter Velinov, Dimitrinka Tomova, Aleksander Bochev, Anatoly Belov, Sergey Gaidash, Maria Abunina, Artiom Abunin	
Possible Predictors of Typical Magnetic Storms during Solar Cycle 24.	34
Красимира Янкова	
Поляриметрията като инструмент за анализ на нелинейното поведение на акреционни системи.	44
Daniela Boneva, Lachezar Filipov	
Measurement the Polarization Parameters of High - Energy Processes in Binary Stars.	47
Atanas Atanassov	
Development Classes of Objects' Descriptors for Space Missions Simulation.	51
Atanas Atanassov	
Approach and Development of Tools for Different Variants of Space Missions Simulation Definition and Execution.	56
Цветан Георгиев	
Корелация между масата на централното тяло и орбитната регулярност в Слънчевата система.	61
Irina Despirak, Andris Lubchich, Natalya Kleimenova	
Substorms during Two Solar Cycles Maximum.	67
Nikita Zelinsky, Natalya Kleimenova, Ludmila Malysheva, Irina Despirak, Andris Lubchich	
Mathematical Analysis of the Pi2 Geomagnetic Pulsations in "Polar" and "High-Latitude" Substorms.	73
Marusya Buchvarova, Dimitar Draganov	
Galactic Cosmic Ray Spectra during Solar Cycle.	78
Димитър Вълев	
Извеждане на някои потенциално важни за физиката и астрофизиката маси посредством анализ на размерностите.	83
Костадин Шейретски, Румен Шкевов, Николай Ерохин	
Хаотични движения на небесните тела.	90

Penka Stoeva, Marzouk B. A., Alexey Stoev, Boyan Benev	
Structure of the Solar Corona in White Light and its Ellipticity during Six Total Solar Eclipses.	94
Alexey Stoev, Penka Stoeva, Boyan Benev and Alexander Mikhalev	
Solar - Atmospheric Interactions over Territories Occupied by Karst Geosystems.	100
Александър Симеонов, Елисавета Александрова	
История на МАФ и МАА и българското участие в дейността им.	105
<u>Session 2</u>	
<i>Aerospace Technologies and Biotechnologies</i>	
Михаил Владов, Георги Сотиров, Дмитрий Добров, Ангелина Чожгова	
Электронная аппаратура для проверки параметров трансмиссии вертолета.	113
Петър Гецов, Георги Сотиров, Зоя Хубенова, Константин Методиев	
Тренажори за подготовка на оператори на безпилотни авиационни комплекси – състояние и перспективи.	117
Константин Методиев	
Определяне ориентацията на безпилотно въздухоплавателно средство чрез вградена система.	124
Svetoslav Zabunov	
Internet of Things and Drones.	131
<u>Session 3</u>	
<i>Remote Sensing and Geoinformation Systems</i>	
Dessislava Ganeva	
Modelling the Ecological Niche of Macrophytobenthos Species along the Bulgarian Black Sea Coast.	137
Eugenia Roumenina, Georgi Jelev, Petar Dimitrov, Vassil Vassilev, Veneta Krasteva, Ilina Kamenova, Monko Nankov, Viktor Kolchakov	
Winter Wheat Crop State Assessment, Based on Satellite Data from the Experiment SPOT-5 Take-5, Unmanned Airial Vehicle SenseFly eBee Ag and Field Data in Zlatia Test Site, Bulgaria.	143
Георги Желев, Евгения Руменина, Монко Нанков, Петър Димитров, Илина Каменова, Венета Кръстева, Илияна Илиева, Йордан Найденов	
Приложение на специализирана безпилотна система SenseFly eBee Ag за картографиране и оценка състоянието на царевични посеви с различна норма на торене.	154
Петър Димитров, Илина Каменова, Георги Желев	
Корелационен анализ на NDVI-времеви серии за картографиране на земеделски култури.	167
Rumiana Kancheva, Georgi Georgiev	
Bridging Remote Sensing and Landscape Ecology.	174
Валентин Атанасов, Деница Борисова, Христо Лукарски, Бойко Ценов	
Спектрална характеризация на видеоспектрометрични прибори.	181
Валентин Атанасов, Деница Борисова, Георги Желев, Христо Лукарски	
Радиометрична характеризация на видеоспектрометри.	187
Мария Димитрова	
Сезонно изменение на облачната покривка над България за периода 2004-2015 г. по данни от MODIS.	193

Мила Илиева-Обретенова	
Функции на информационна система за управление на умна мрежа Smart Grid.	197
Илияна Илиева, Йордан Найденов, Илина Каменова, Георги Желев	
Изследване на взаимозависимостта между фотосинтетичната активност и вегетационни индекси при соя.	204
Иван Димитров	
Техногенни шумове при дистанционно изследване на Земята от Космоса.	209
Иван Димитров	
Мониторинг на наводнения по поречието на реките Тунджа и Камчия.	215
Веселин Ташев, Ролф Вернер, Ангел Манев, Мариана Горанова	
Сравнение на годишните и месечните добиви на слънчева енергия с използване на данни измерени с метеостанция Vantage Pro2 Plus.	221
Boyan Benev, Alexey Stoev, Penka Stoeva	
Magnetoresistive Vector Magnetometer Used in Geomagnetic Applications – First Results.	230
Иван Здравков, Дарин Михов, Драгомир Дочев	
Космически радари за дистанционно наблюдение на Земята.	233
Dragomir Dochev, Darin Mihov, Ivan Zdravkov	
Ultra-Wideband Space Radar – Prospects for the Future.	239
Тихомир Алексиев	
Използване на аерокосмически изображения в часовете по география за визуална интерпретация на изучаваните обекти.	245
Ангел Манев	
Динамика на тропическата година и проблемите на слънчевите календари.	251
<u>Session 4</u>	
<i>Ecology and Risk Management</i>	
Nikolina Mileva	
Failure Factors for the Use of Geo-Information during Natural Disasters.	259
Бойко Рангелов	
Земетресенията в Непал – 2015 г. – генезис и особености.	265
Bozhidar Srebrov, Iliya Cholakov, Dimitar Ognianov	
Magnetic Sourvey of the Danube Riverbed from km 795^{+610} to km 796^{+030} (The Area of the New Bridge over Danube River Vidin-Kalafat).	273
Мария Димитрова, Светлана Маркова, Румен Недков, Мариана Захаринова	
Влияние на водата като екологичен фактор върху състоянието на резерват Камчия.	280
Ива Иванова, Румен Недков	
Сезонна динамика на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна на базата на спътникovi, наземни и GPS данни, за периода март 2014 г. – март 2015 г.	286
Наталия Станкова, Румен Недков	
Модел за количествена оценка на Disturbance Index и вектора на моментното състояние на екосистема след пожар на базата на аерокосмически данни.	292
Valeria Stoyanova, Radost Pascova, Annie Shoumkova, Adelina Miteva, Temenoujka Kupenova	
Dye Removal from Water Solution by Means of Zeolitized Waste Ashes and Slag from Four Bulgarian Thermo-Power-Plants.	298

Stojan Velkoski, Jane Velkoski, Mihail Velkoski	
The Influence of the Stojan's Cosmic Swarm on the Bee Colonies as a Reason for Incurrence of Colony Collapse Disorder, and Possible Protection against it. ....	.305
Marina Sazdovska, Stojan Velkoski	
Criminal and Legal Protection of the Cultural Heritage and the Natural Rarities in Republic of Macedonia. ....	.312
Антон Сотиров, Георги Табаков, Валерия Стоичкова, Михаела Йерусалимова, Светослав Йорданов, Ралица Тасева, Лусия Кулкина, Сияна Савова, Росица Везенкова, Денислав Кирилов, Мелани Ефтиимова, Даниел Велинов	
Екологичен мониторинг на река Драговищица. ....	.318
Anton Sotirov, Siana Savova, Svetoslav Yordanov, Ralitsa Taseva, Lusia Kulkina, Mihaela Yerusalimova, Rositsa Vezenkova, Daniel Velinov, Denislav Kirilov, Melani Eftimova	
Influence of River Water Contamination on Distribution of Fish Species. ....	.334
Ралица Берберова, Биляна Костова, Ваня Хаджиева, Георги Петров	
SWOT-анализ на експериментална методика за изследване на земно-насипни микроязовирни стени чрез георадар. ....	.342
Ekaterina Serafimova, Vilma Petkova, Bilyana Kostova	
The Measurement of Benzen, Ethylbenzen, Toluene and Xylene in Indoor Air in Schools in Kardzhali. ....	.345
Ангел Манев, Веселин Ташев, Диньо Динев	
Фиброптична система за броене на соматични клетки. ....	.353
Venelin Jivkov, Philip Philipoff, Petar Getcov, Garo Mardirossian, Georgi Sotirov, Stoian Velkoski, Petar Mandiev	
Avalanche Rescue Operation Device in Avalanche Moving Conditions. ....	.358
Venelin Jivkov, Philip Philipoff, Petar Getcov, Garo Mardirossian, Georgi Sotirov, Atanas Kovachev, Stoian Velkoski, Petar Mandiev, Maria Atanasova-Elenkova	
High Power Wind Turbines Operating in the Urban Environment and Green House Membrane over the Geothermal Installation. ....	.364
<u>Session 5</u>	
Space Material Science and Nanotechnology	
Adelina Miteva, Anna Bouzekova – Penkova, Temenujka Kupenova	
A Tight-Binding Study of the Quantum Confined Stark Effect in Some Triangular Quantum Wells. ....	.371
Zdravka Karaguiozova	
Electroless Deposition of Metalic Coatings on Magnesium Alloys. ....	.376
Zdravka Karaguiozova, Anna Petrova, Aleksander Ciski, Grzegorz Cieślak	
Displacement (Immersion) Tin Plating. ....	.383
Zdravka Karaguiozova, Adelina Miteva, Aleksander Ciski, Grzegorz Cieślak	
About Some Coatings for Aerospace Applications. ....	.389
Анна Бузекова – Пенкова	
Методика на снемане на блок ДП-ПМ от борда на МКС и програма за последващи наземни изпитания. ....	.397
Анна Бузекова – Пенкова, Людмил Марков, Петър Цветков	
Фазов състав на наномодифициран композит В95. ....	.403

Session 1

Space Physics

Chairmen: Prof. Tsvetan Dachev

Corr. Member Peter Velinov

Secretaries: Chief Assistant Maria Dimitrova

Chief Assistant Daniela Boneva

**СИЛЬНОЕ СЕРФОТРОННОЕ УСКОРЕНИЕ ПРОТОНОВ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНОЙ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ ПРИ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ НАЧАЛЬНЫХ ЭНЕРГИЯХ ЧАСТИЦ**

Румен Шкевов¹, Николай Ерохин², Надежда Зольникова², Людмила Михайлова²

¹*Институт космических исследований и технологий – Болгарская академия наук*

²*Институт космических исследований – Российская академия наук*

e-mail: shkevov@space.bas.bg, nerokhin@mx.iki.rssi.ru

Ключевые слова: Серфotronное ускорение протонов, захват частицы, интеграл движения, нелинейное уравнение, электромагнитная волна, фаза волны, фазовая плоскость, космическая плазма.

Аннотация: Рассмотрено сильное релятивистское ускорение протонов электромагнитной волной, распространяющейся в космической плазме поперек магнитного поля. Анализ проведен на основе численных расчетов решения нелинейного дифференциального уравнения второго порядка для фазы волны на траектории ускоряемого протона. Начальная энергия частицы была существенно релятивистской. Показано, что в этом случае структура областей благоприятных (для реализации серфинга) начальных фаз существенно упрощается. Для благоприятных начальных фаз захват протонов волной с последующим ультрарелятивистским ускорением происходит сразу и через некоторое время характеристики захваченной частицы (поперечные компоненты скорости, темпы роста энергии и компонент импульса, фаза волны на траектории протона) выходят на асимптотические значения. Получены аналитические аппроксимации для характеристик ускоряемых частиц. При неблагоприятных начальных фазах захват протонов волной на доступных временах численных расчетов не наблюдался, сильное ускорение частиц отсутствует. Протоны совершают ларморовское вращение во внешнем магнитном поле. Обсуждаются оптимальные условия для реализации в рассматриваемой системе ультрарелятивистского серфотронного ускорения частиц, возникновение вариаций потоков космических частиц в сравнительно спокойной космической плазме (в отсутствие экстремальных событий типа взрывов).

**STRONG SURFATRON ACCELERATION OF PROTONS BY AN
ELECTROMAGNETIC WAVE IN SPACE PLASMAS FOR RELATIVISTIC INITIAL
ENERGY OF PARTICLES**

Rumen Shkevov¹, Nikolay Erokhin², Nadezhda Zolnikova², Ludmila Mikhailovskaya²

¹*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*

²*Space Research Institute – Russian Academy of Sciences*

e-mail: shkevov@space.bas.bg, nerokhin@mx.iki.rssi.ru

Key words: Proton surfatron acceleration, particles trapping, particles momentum, nonlinear equation, electromagnetic wave, wave phase, phase plane, space plasma

Abstract: Strong relativistic proton acceleration by an electromagnetic wave propagating in space plasma across the magnetic field is considered. Analysis is based on numerical solution of the nonlinear differential equation of second order for the wave phase on the accelerated proton trajectory. The initial energy of the particle was essentially relativistic. It is shown that in this case, the structure of favorable regions for surfing realization, the initial phases is considerably simplified. At favorable initial wave phases for proton capture followed by ultra-acceleration occurs immediately and after some time the parameters of the captured particles (transverse velocity components, the energy growth rate, momentum component, the wave phase on the trajectory of the proton) tend to the asymptotic values. The analytical approximation to the characteristics of the accelerated particles are obtained. Under unfavorable initial phases for proton capture by the wave at the available times for numerical calculations are not observed, there is no strong acceleration of particles. Protons performs Larmor rotation in the external magnetic field. The optimal conditions for realization of an ultrarelativistic surfatron acceleration of particles in studied system, the genesis of variations in space particle streams in relatively quiet space plasmas (in the absence of extreme blasts type of event) are discussed.

Введение

Анализ механизмов формирования потоков ультрарелятивистских заряженных частиц входит в число актуальных задач современной физики космической плазмы. Например, это представляет большой интерес для проблемы происхождения космических лучей (КЛ) включая процессы формирования спектров КЛ, возникновения их изменчивости и зависимости характеристик КЛ от космической погоды. Ранее серфotronное ускорение зарядов (СУЗ) на электромагнитных волнах в плазме рассматривалось, в частности, в работах [1-11]. Было показано, что СУЗ является эффективным механизмом генерации потоков ультрарелятивистских частиц в космической плазме. Поэтому его исследование применительно к космической плазме требуется для оценки количества ускоренных частиц, характерных размеров областей ускорения, определения их энергетических спектров и влияния возможных внешних факторов. Задача является многопараметрической. Соответственно, для определения главных закономерностей серфotronного ускорения зарядов волнами в космической плазме нужен большой объем численных расчетов. В настоящей работе на основе численных расчетов рассмотрено сильное серфotronное ускорение протонов с релятивистскими начальными энергиями при их взаимодействии с электромагнитной волной, распространяющейся в космической плазме поперек внешнего магнитного поля H_0 . Изучена динамика захвата и ускорения протонов. Показано, что при захвате частицы в режим длительного ускорения поперечные компоненты импульса захваченного протона и его релятивистский фактор увеличиваются практически линейно с ростом времени. Это соответствует постоянному темпу роста энергии захваченной частицы, причем он одинаков для электронов, позитронов, протонов и антипротонов. Расчеты показывают, что поперечные компоненты скорости заряда v_x, v_y выходят на асимптотические значения, а продольная (относительно внешнего магнитного поля) скорость v_z стремится к нулю. С ростом энергии ускоряемые частицы постепенно конденсируются на дно эффективной, нестационарной, потенциальной ямы. Заметим, что захват протонов в режим серфинга происходит для амплитуд волны E_0 выше следующего порога $\sigma = e E_0 / m_e c \omega > u \gamma_p = u / (1 - \beta_p^2)^{1/2}$, где $\beta_p = \omega / c k$, $u = \omega_{He} / \omega$, ω_{He} - циклотронная частота нерелятивистских электронов плазмы, ω - частота волны, k - волновой вектор.

Основные уравнения и результаты численных расчетов

При анализе серфotronного ускорения исходными являются релятивистские уравнения движения протона, взаимодействующего с электромагнитной волной. Релятивистские уравнения движения для ускоряемого протона с массой M и релятивистским фактором γ в поле волны $E_x = E_0 \cos \Psi$, $\Psi = \omega t - kx$ имеют вид

$$(1) \quad \begin{aligned} d(\gamma \beta_x) / dt &= (e E_0 / M c) \cos \Psi + (e H_0 / M c) \beta_y \\ d(\gamma \beta_y) / dt &= -(e H_0 / M c) \beta_x \\ d\gamma / dt &= (e E_0 / M c) \beta_x \cos \Psi \\ \gamma \beta_z &= h = \text{const} \end{aligned}$$

Здесь $\beta = v / c$, $\beta_x = \beta_p (1 - d\Psi/dt)$, $\tau = \omega t$ безразмерное время. Пусть $\xi = \omega x / c$, тогда для фазы волны имеем выражение $\Psi = \tau - (\xi / \beta_p)$. Для удобства дальнейших расчетов введем малый параметр задачи $\epsilon = (m_e / M)^{1/2}$, а также нормированное безразмерное время $s = \epsilon \tau$. Нетрудно показать, что система уравнений (1) помимо h имеет второй интеграл $J = \gamma \beta_y + u \epsilon^2 \beta_p (\tau - \Psi) = \text{const}$, т.е. $\gamma \beta_y = J + u \epsilon^2 \beta_p (\Psi - \tau)$. Для упрощения записей введем обозначение $B = 1 + h^2 + [J + u \epsilon^2 \beta_p (\Psi - \tau)]^2$. Следовательно, γ определяется формулой $\gamma^2 = B / (1 - \beta_x^2)$. С учетом интегралов движения J, h из (1) получаем следующее нестационарное, нелинейное уравнение второго порядка для фазы волны на траектории протона

$$(2) \quad d^2\Psi / ds^2 + [\sigma \cdot (1 - \beta_x^2)^{3/2} / B^{1/2} \cdot \beta_p] \cos \Psi + (u / B \beta_p) \cdot (1 - \beta_x^2) \cdot [J + u \epsilon \beta_p (\epsilon \Psi - s)] = 0$$

и выражение для безразмерной компоненты скорости протона вдоль волнового фронта $\beta_y = [J + u \beta_p \cdot (\tau - \Psi)] / \gamma$.

Нелинейное уравнение для фазы волны (2) решалось численно с начальными данными $\Psi(0) = \Psi_0$, $\Psi_\tau(0) \equiv a$. При этом имеем $\beta_x(0) = \beta_p(1 - a)$, где параметр a находится в диапазоне $1 - (1 / \beta_p) < a < 1 + (1 / \beta_p)$. Интересно отметить, что при сильном ускорении протонов волной темп набора его энергии $M c^2 \gamma$ выходит на асимптотику $d(M c^2 \gamma) / dt = m_e c^2 u \beta_p \gamma_p$.

Следовательно, скорости роста энергии для электронов, позитронов, протонов и антипротонов одинаковы.

Согласно аналитическим оценкам, на достаточно больших временах ускорения протона численное решение должно выходить на следующие асимптотики для компонент скорости частицы $\beta_x \approx \beta_p$, $\beta_y \approx -1/\gamma_p$. Таким образом в асимптотике темп ускорения не зависит от амплитуды волны E_0 , которая определяет характеристику среднего темпа ускорения $\langle \cos\Psi(\tau) \rangle \approx \sigma_c/\sigma$, т.е. асимптотику положения дна эффективной потенциальной ямы для захваченной частицы. Отметим, что в асимптотике компоненты скорости β_y для электронов и протонов отличаются только знаком.

Для нахождения диапазона начальных фаз $\Psi(0)$, при которых происходит захват протона в режим ультрарелятивистского ускорения волной, в расчетах фиксировалась фазовая скорость волны β_p в интервале $0 < \beta_p < 1$, для начальной фазы брался диапазон $|\Psi(0)| < \pi$. Амплитуда волны σ выбиралась выше порогового значения $\sigma = 1.5 \sigma_c$.

Численными расчетами на сравнительно малых временах $\tau \leq 7000$ определялся диапазон начальных фаз, в котором имел место захват протона в режим ультрарелятивистского ускорения волной. Если на этом интервале для некоторых фаз $\Psi(0)$ захвата не было, счет выполнялся до значения $\tau_m = 7 \cdot 10^4$.

Приведем результаты расчетов для следующего варианта параметров задачи $h = 5$, $\beta_p = 0.7$, $\gamma(0)\beta_y(0) = -10$, $u = 0.2$, $a = 0$, соответствующего релятивистскому протону. Результаты расчетов для начальных фаз в интервале $-3.1 \leq \Psi(0) \leq 3.1$ с шагом по фазе $\delta\Psi(0) = 0.1$ показали, что для 14 значений начальных фаз на интервале $\tau \leq \tau_m$ захват протонов волной имеет место. В качестве примера на рис.1 представлена зависимость времени захвата τ_c от значения $\Psi(0)$. Синие области обозначают отсутствие захвата протона волной на соответствующем интервале времени, белые – наличие захвата.

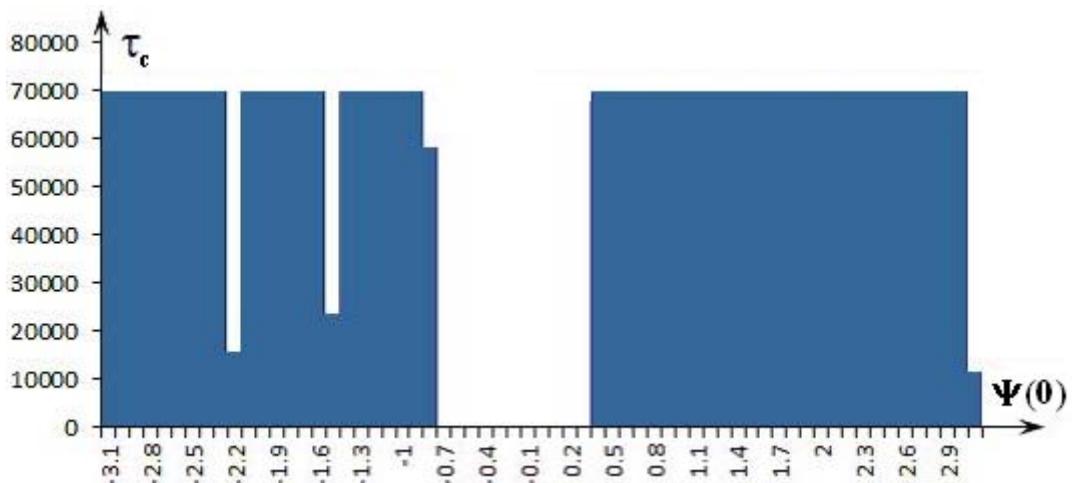


Рис. 1. Зависимость времени захвата τ_c от значения фазы волны $\Psi(0)$. Синие области обозначают отсутствие захвата

Итак, в данном варианте параметров задачи захват протонов волной в режим ультрарелятивистского ускорения происходит для 22.6 % начальных фаз, что существенно для генерации вариаций потока КЛ в области высоких энергий поскольку при росте энергии частиц на (3÷5) порядков величины даже малая доля попадающих в захват волной протонов с энергией порядка ГэВ после сильного доускорения может создавать в космической плазме значительные вариации потока КЛ на энергиях 10^{15} эВ и более.

Были проведены расчеты для случая $\gamma(0)\beta_y(0) = -100$ при неизменных прочих параметрах задачи на интервале времени $\tau \leq \tau_m$. Результаты расчетов для начальных фаз в интервале $-3.1 \leq \Psi(0) \leq 3.1$ с шагом по фазе $\delta\Psi(0) = 0.1$ показали, что для 11 значений начальных фаз на интервале $\tau \leq \tau_m$ захват протонов волной имеет место. В качестве примера на рис.2 представлена зависимость времени захвата τ_c от значения $\Psi(0)$. Как и на рис.1 синие области обозначают отсутствие захвата протона волной на интервале времени $\tau \leq \tau_m$, белые – наличие захвата частиц в потенциальную яму.

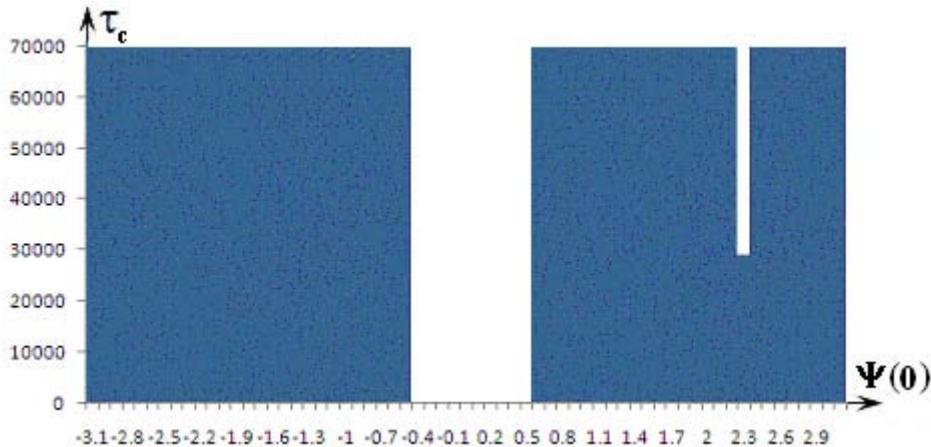


Рис. 2. Зависимость времени захвата τ_c от значения фазы волны $\Psi(0)$ при $\gamma(0)\beta_y(0) = -100$

Как видим, число благоприятных для реализации серфotronного ускорения релятивистских протонов начальных фаз $\Psi(0)$ несколько уменьшилось (11 значений). Для захваченных частиц время расчетов можно увеличить до $5 \cdot 10^6$, но они остаются захваченными. Согласно проведенным расчетам графики релятивистского фактора протона γ , поперечных компонент импульса $\gamma \beta_y$, $\gamma \beta_x$ хорошо аппроксимируются линейными функциями т.е. темпы их роста практически постоянны и соответствуют выходу поперечных скоростей на указанные выше асимптотики. Траектория захваченного протона на перпендикулярной к магнитному полю плоскости также близка к прямолинейной. На фазовой плоскости $(\Psi, d\Psi/d\tau)$ траектория изображающей точки является спиралевидной, с особой точкой типа устойчивый фокус (дно эффективной, нестационарной, потенциальной ямы). График фазы $\Psi(\tau)$ показывает осцилляции амплитуда которых по мере ускорения уменьшается, а период возрастает.

Заключение

В настоящей работе на основе численных расчетов исследована динамика захвата и последующего сильного серфotronного ускорения протонов с релятивистскими начальными энергиями электромагнитной волны, распространяющейся в космической плазме поперек слабого магнитного поля. Амплитуда электрического поля волны превышала на 50 % пороговое (для реализации серфotronного механизма ускорения) значение. Задача сведена к численному анализу нелинейного уравнения второго порядка для фазы волны на траектории частицы $\Psi(\tau)$.

Рассмотрены зависимость динамики компонент импульса, скорости и энергии частицы, структуры фазовой плоскости $(\Psi, d\Psi/d\tau)$, а также времени захвата заряда волной τ_c от величины начальной фазы $\Psi(0)$. Установлено, что примерно для 20 % значений $\Psi(0)$ захват протонов волной в эффективную потенциальную яму происходит сразу либо спустя некоторое, сравнительно небольшое время. На интервале времени численного счета $\tau \leq \tau_m = 7 \cdot 10^4$ наблюдается ультрарелятивистское ускорение частиц с относительно небольшим разбросом по приобретаемым ими энергиями. Это ускорение и наблюдается на интервалах счета до $5 \cdot 10^6$. По оценкам серфotronный механизм ускорения электромагнитными волнами в плазме местных межзвездных облаков может обеспечить ускорение протонов с начальной энергией порядка десятков ГэВ до уровня 10^{15} эВ и более [10].

Выше описаны варианты серфotronного ускорения протонов с отрицательным начальным значением импульса частицы вдоль волнового фронта (ось y). В обратном случае – положительных начальных значений импульса протона вдоль волнового фронта происходит следующее. Частица с $\beta_x \approx \beta_p$ захватывается волной и начинает тормозиться уменьшающая компоненту скорости β_y . Оставаясь захваченной частица меняет знак компоненты скорости β_y на отрицательный и только затем происходит серфotronное ускорение.

Для больших начальных энергий частиц на этапах торможения-ускорения для релятивистского фактора заряда $\gamma(\tau)$ получаются линейные аппроксимации.

Список литературы:

1. Katsouleas, N., J. M. Dawson. Unlimited electron acceleration in laser-driven plasma wave. *Physical Review Letters*, 1983, v. 51, № 5, pp. 392-395.
2. Грибов, Б. Э., Р. З. Сагдеев, В. Д. Шапиро, В. И. Шевченко. О затухании плазменных волн и ускорении резонансных электронов в поперечном магнитном поле. *Письма в ЖЭТФ*, 1985, т.42, вып.2, с. 54-58.
3. Ерохин, Н. С., А. А. Лазарев, С. С. Моисеев, Р. З. Сагдеев. Увлечение и ускорение заряженных частиц замедленной волной в неоднородной плазме. *ДАН СССР*, 1987, т. 295, № 4, с. 849-852.
4. Ерохин, Н. С., С. С. Моисеев, Р. З. Сагдеев. Релятивистский серфинг в неоднородной плазме и генерация космических лучей. - *Письма в Астрономический журнал*, 1989, т.15, № 1, с.3-10.
5. Кичигин, Г.Н. Серфotronный механизм ускорения космических лучей в галактической плазме. – *ЖЭТФ*, 2001, т. 119, вып. 6, с. 1038-1049.
6. Dieckmann, M. E., R. K. Shukla. *Plasma Phys. Control. Fusion*. 2006. V. 48. Issue 10. P. 1515.
7. Нейштадт, А. И., А. В. Артемьев, Л. М. Зеленый, Д. Л. Вайнштейн. *Письма в ЖЭТФ*. 2009. Т.89.Вып. 9. с. 528.
8. Ерохин, Н. С., Н. Н. Зольникова, Е. А. Кузнецова, Л. А. Михайлова. 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.
9. Erokhin, N. S., N. N., Zolnikova, R. Shkevov, L. A. Mikhailovskaya, P. Trenchev. C.R. Acad. Bulg. Sci. (Proceedings BAS), 60, 2007, No 9, p.p. 967-972.
10. Лозников, В .М., Н. С. Ерохин, Л. А. Михайлова. *Космические исследования*. 2013. Т.51. № 3. с.191-203.
11. Shkevov, R., N. S. Erokhin, L. A. Mikhailovskaya, N. N. Zolnikova. *JASTP*. 2013. V.99. pp. 73-77.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ВГВ ИЗ ТРОПОСФЕРЫ В ИОНОСФЕРУ ЧЕРЕЗ НЕОДНОРОДНЫЕ ЗОНАЛЬНЫЕ ВЕТРОВЫЕ ПОТОКИ

Николай Ерохин^{1,3}, Александр Суслов¹, Людмила Михайлова¹, Румен Шкевов²

¹Институт космических исследований – Российской академии наук

²Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

³ Российский университет дружбы народов

e-mail: nerokhin@mx.iki.rssi.ru, shkevov@space.bas.bg

Ключевые слова: Внутренние гравитационные волны, атмосфера, ионосфера, ветровые потоки, слои отражения, критический слой, групповая скорость, траектории лучей.

Аннотация: Рассмотрено прохождение внутренних гравитационных волн (ВГВ) из нижней атмосферы до ионосферных высот при наличии неоднородного зонального ветрового потока. Проведен анализ лучевых траекторий ВГВ с учетом неоднородности плотности атмосферы и ветрового потока. Исследованы возможности возникновения слоев отражения ВГВ в горизонтальном и вертикальном направлениях, появление критического слоя, который блокирует прохождение ВГВ в ионосферу и приводит к поглощению волны в его окрестности. Указано, что для достаточно длинноволновых волн максимальная скорость ветра будет ниже критического значения, критические слои отсутствуют и возможно (при отсутствии слоя вертикального отражения) прохождение ВГВ до ионосферных высот с генерацией возмущений в ионосферной плазме, что будет индикатором кризисного события в нижней тропосфере.

NUMERICAL CALCULATIONS OF IGW PASSAGE FROM THE TROPOSPHERE UP TO THE IONOSPHERE THROUGH INHOMOGENEOUS ZONAL WINDS

Nikolay Erokhin^{1,3}, Aleksandr Suslov¹, Ludmila Mikhailovskaya¹, Rumen Shkevov²

¹Space Research Institute – Russian Academy of Sciences

²Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

³People's Friendship University of Russia

e-mail: nerokhin@mx.iki.rssi.ru, shkevov@space.bas.bg

Abstract: The passage of internal gravity waves (IGW) from the lower atmosphere to ionospheric altitudes in the presence of an inhomogeneous zonal wind flow is considered. Analysis of the ray trajectories IGW taking into account the inhomogeneity of atmospheric density and wind flow was done. The possibility of occurrence of reflection layers IGW in the horizontal and vertical directions, the appearance of the critical layer that blocks the passage of IGW in the ionosphere and leads to the absorption of waves in its vicinity was investigated. In the work is pointed that for a sufficiently long-wavelength waves the maximum wind speed is below a critical value, the critical layers are missing and it is possible (in the absence of a vertical reflection layer) for IGW to pass thru to the ionospheric heights with the generation of perturbations in the ionospheric plasma, which is an indicator of the crisis events in the lower troposphere.

Введение

На основе численных расчетов лучевых траекторий рассмотрено прохождение внутренних гравитационных волн из тропосферы (высоты в несколько километров) через вертикально неоднородные ветровые структуры до ионосферных высот с учетом неоднородности частоты Брента-Вяйсяля. ВГВ могут возбуждаться в тропосфере за счет различных процессов, например, кризисных явлений типа сейсмической активности, струйных течений. При достижении ионосферных высот ВГВ могут (за счет сильного уменьшения плотности атмосферы) значительно усиливаться по амплитуде. В результате этого на

ионосферных высотах будут возникать предвестники и индикаторы как сейсмических событий, так и других кризисных явлений в приземной атмосфере, а также возможен нагрев атомов, в частности, кислорода, что приведет к наблюдаемому в ночное время свечению на зеленой и красной линиях кислорода.

Для нескольких вариантов выбора параметров ВГВ и ветровых структур проведен анализ особенностей лучевых траекторий этих волн, связанные с возникновением на трассе распространения ВГВ слоев горизонтального и вертикального отражений волн, а также критического слоя. В окрестности критического слоя происходит сильное уменьшение вертикальной компоненты групповой скорости ВГВ вследствие роста вертикальной компоненты волнового вектора и, соответственно, резко возрастает поглощение волны за счет вязкости.

Расчетами показано, что для коротковолновых внутренних гравитационных волн невозможно их прохождение из тропосферы до ионосферных высот поскольку возникают слои вертикального отражения и критические слои, возникающие при достаточно большой скорости ветрового потока. Для конкретного вертикального профиля скорости ветра и частоты Вяйсяля-Брента вычислены характерные значения длин волн ВГВ, при которых блокируется прохождение ВГВ в ионосферную плазму, величины горизонтального смещения ВГВ по достижении ими слоев вертикального отражения и критического слоя.

Необходимо отметить, что исследование процессов генерации возмущений ионосферной плазмы за счет кризисных процессов в тропосфере относится к числу актуальных задач физики околоземного пространства и представляет большой интерес, например, для наблюдений индикаторов и предвестников кризисных атмосферных явлений спутниковой аппаратурой, корректной интерпретации данных измерений характеристик возмущений ионосферной плазмы, развития современных методик их обработки (см., например, работы [1-8]).

Основные уравнения и численные расчеты

При исследовании распространения ВГВ в неоднородной атмосфере с зональным ветром анализ проще проводить на основе метода лучевых траекторий для групповой скорости ВГВ при заданных вертикальных профилях частоты Вяйсяля-Брента $N(z)$ и зонального потока $\mathbf{U} = U(z) \mathbf{e}_x$. Уравнения для лучевых траекторий волнового пакета в неоднородной среде имеют вид (Госкард, Хук, 1978; Миропольский, 1981)

$$(1) \quad d\mathbf{r} / dt = \mathbf{v}_g, \quad d\mathbf{k} / dt = -\partial \omega / \partial \mathbf{r}.$$

Здесь $\mathbf{v}_g = \partial \omega / \partial \mathbf{k}$ – групповая скорость; $\omega(\mathbf{k}, \mathbf{r}) = k_x U(z) + N(z) k_h / k$ частота ВГВ с учетом доплеровского сдвига, где $k_h = (k_x^2 + k_y^2)^{1/2} = \text{const}$ горизонтальная компонента волнового вектора. Согласно расчетам, прохождение ВГВ в ионосферу имеет место для достаточно крупномасштабных волн, когда выполняется условие $k_h \ll k_z$. Отметим, что для ВГВ групповая скорость и волновой вектор взаимно перпендикулярны.

Для удобства анализа введем безразмерные переменные $z = L_z \xi$, $x = L_x \eta$, $y = L_y \zeta$, где $L_z = 1$ км, $L_x = L_y = 5$ км. Для скорости ветра запишем $U(z) = u(\xi)$ м/с. Частоту Вяйсяля-Брента $N(z)$ нормируем на характерное значение: $N(z) = \mu(\xi) / 50$ с. Введем также безразмерные волновые числа $k_x = q_x / 5$ км, $k_y = q_y / 5$ км, $k_z = q_z / 1$ км и безразмерное время $\tau = t / 250$ с.

В результате уравнения для лучевых траекторий (1) принимают вид

$$(2) \quad \begin{aligned} d\xi / d\tau &= -(\mu q_h q_z) / p^3, \quad p = \left[q_z^2 + (q_h / 5)^2 \right]^{1/2}; \\ d\eta / d\tau &= (\mu q_z^2 q_x) / p^3 q_h + u(\xi) / 20; \\ d\zeta / d\tau &= (\mu q_z^2 q_y) / p^3 q_h; \\ dq_z / d\tau &= -(q_x / 20)(du / d\xi) - (q_h / p)(d\mu / d\xi) \end{aligned}$$

Здесь необходимо отметить, что для распространяющейся вверх ВГВ следует полагать $q_z < 0$, поскольку по вертикали компоненты фазовой и групповой скоростей направлены противоположно. Интеграл движения для системы уравнений выше (несущая частота пакета) запишем следующим образом:

$$\varepsilon = [q_x u(\xi) / 20] + \mu(\xi) q_h / p(\xi) \equiv \omega \cdot 250 \text{ сек} = T_0 / T_\omega,$$

где $T_0 = 500 \cdot \pi$ сек ≈ 26 мин 10 сек, а $T_\omega = T_0 / \varepsilon$ – период ВГВ. Величина интеграла ε определяется начальными значениями входящих в него функций ($\varepsilon = \text{const}$). Отметим также, что горизонтальные и вертикальная длины ВГВ равны:

$$\lambda_x = 10 \cdot \pi \text{ (км)} / q_x, \lambda_y = 10 \cdot \pi \text{ (км)} / q_y, \lambda_z = 2\pi \text{ (км)} / q_z.$$

Отметим главные особенности взаимодействия ВГВ с неоднородной фоновой ветровой структурой. Так при попутном (относительно ветра) распространении волны на некоторых высотах могут возникать критические слои z_c . В окрестности критического слоя согласно (2) в рассматриваемой модели вертикальная длина волн стремится к нулю поскольку на критическом уровне $q_z^2 \rightarrow \infty$ и $\omega \rightarrow k_x U(z_c)$. Следовательно, в критическом слое групповая скорость волны стремится к нулю. Поэтому ВГВ неограниченно замедляется и полностью поглощается в критическом слое за счет возросшей роли вязкости. Отсюда следует, что критические слои z_c блокируют распространение ВГВ на ионосферные высоты. При $q_z \rightarrow \infty$ критическая скорость потока равна $u_c = 20 \varepsilon / q_x$, т.е. $U = \omega / k_x$. Поскольку волна распространяется в попутном к ветру направлении величина u_c определяется значениями интеграла ε и компоненты волнового вектора q_x . Таким образом, если максимальная скорость потока $u_{\max} > u_c$, то в ветровой структуре на некоторой высоте имеется критический слой (при отсутствии на трассе распространения слоя вертикального отражения).

При встречном к ветру распространении ВГВ могут существовать слои горизонтального и вертикального отражений. Отражение по горизонтальному направлению x происходит в некотором слое ξ_{rx} , где горизонтальная групповая скорость пакета равна нулю $v_{gx} = 0$. Согласно (2) это дает следующее условие:

$$[u(\xi_{rx}) / 20] + \{ \mu(\xi_{rx}) q_x [q_z(\xi_{rx})]^2 / q_h p(\xi_{rx})^3 \} = 0,$$

которое определяет профиль $u_{rx}(\xi) = -20 \cdot \{ \mu(\xi) q_x [q_z(\xi)]^2 / q_h p(\xi)^3 \}$. Условие горизонтального (по оси x) отражения ВГВ встречным ветровым потоком можно записать в виде $u(\xi) = u_{rx}(\xi)$. Графически слои горизонтального отражения ВГВ встречным ветром z_{rx} (т.е. ξ_{rx}) определяются точками пересечения кривых $u(\xi)$ и $u_{rx}(\xi)$. В окрестности слоев ξ_{rx} происходит отражение пакета ВГВ назад, к источнику их генерации.

Слои вертикального отражения пакета ВГВ встречным ветром z_{rz} соответствуют условию $v_{gz} = 0$, т.е. $q_z(z) = 0$. На этой высоте $\varepsilon = 5 \mu(\xi_{rz}) + [q_x u(\xi_{rz}) / 20]$. Вводя функцию $u_{rz}(\xi) = 20 [\varepsilon - 5 \mu(\xi)] / q_x$, находим, что слои вертикального отражения ВГВ фоновой ветровой структурой z_{rz} определяются графически, как точки пересечения ξ_{rz} кривой $u(\xi)$ с кривой $u_{rz}(\xi)$. Важно отметить, что выполняется условие $u_{rz}(\xi) < u_c$. В слоях ξ_{rz} происходит отражение пакета ВГВ вниз. Следовательно, аналогично критическим уровням ξ_c эти слои тоже препятствуют прохождению ВГВ на ионосферные высоты. Один из вариантов расчетов с $q_z(0) = -1$, $q_x = 1.5$, $q_y = 0.5$ дан на рис.1, где по вертикали скорости в м/сек, а по горизонтали высота в км причем диапазон высот $18.8 < z / \text{km} < 86$.

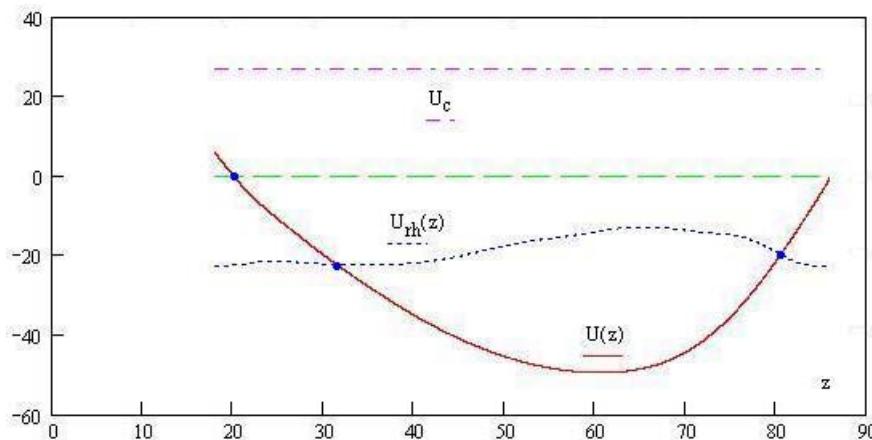


Рис. 1. Профили скоростей $U(z)$, $U_{rx}(z)$ при вариантах расчетов с $q_z(0) = -1$, $q_x = 1.5$, $q_y = 0.5$

Как видно из графиков, в данном случае нет критических слоев, но имеются два слоя горизонтального отражения ВГВ на высотах z порядка 32 и 82 км.

На рис.2 приведены профили скоростей $U(z)$, $U_{rz}(z)$. Пересечение кривых определяет высоты слоев вертикального отражения. В данном варианте есть два слоя вертикального

отражения. При распространении от земной поверхности ВГВ будет отражаться вниз от нижнего слоя, блокирующего ее прохождение в ионосферу. Если волна была возбуждена выше верхнего слоя z_{rz} и распространялась вниз, то верхний слой вертикального отражения отразит ее обратно т.е. он будет блокировать прохождение ВГВ к земной поверхности. В принципе волна может быть заперта между двумя слоями z_{rz} , что означает возникновение волновода в неоднородной атмосфере с зональным ветром.

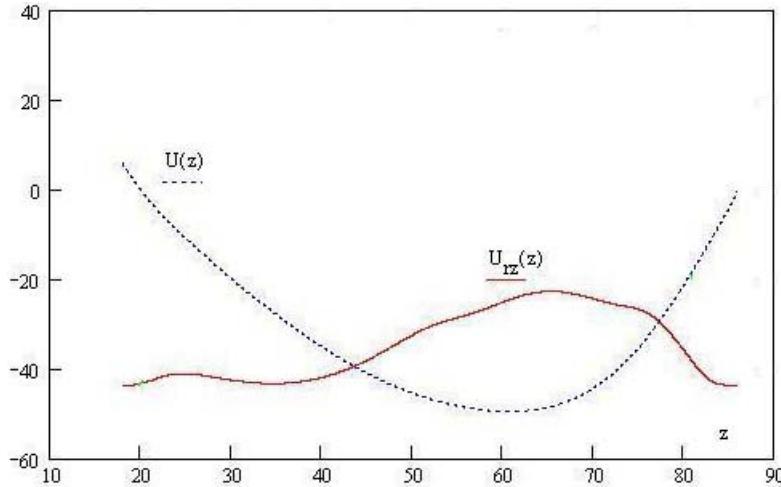


Рис. 2. Профили скоростей $U(z)$, $U_{rz}(z)$

Возможны и более сложные траектории лучей при наличии в системе ВГВ-ветровой поток слоев вертикального и горизонтального отражений. Такая ситуация продемонстрирована на рис.3. Здесь ВГВ от источника на высотах менее 18 км распространяется направо, затем она отражается обратно поднимаясь вверх, достигает слоя вертикального отражения и опускается вниз к слою горизонтального отражения.

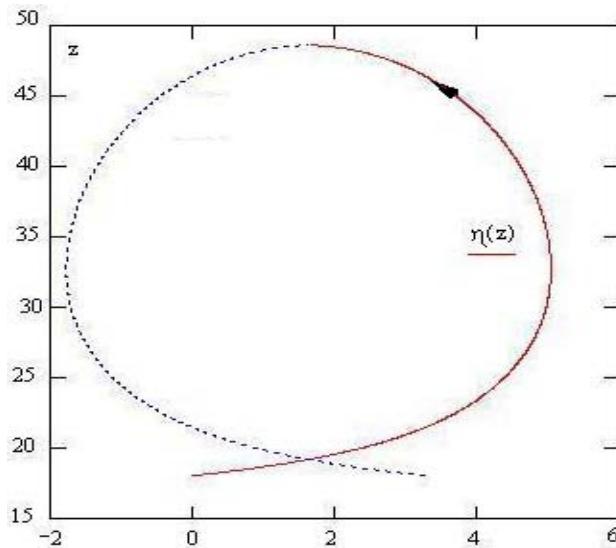


Рис. 3. Сложные траектории лучей при наличии в системе ВГВ-ветровой поток слоев вертикального и горизонтального отражений

Затем ВГВ распространяется снова направо и проходит над источником ее генерации у поверхности Земли. Здесь важно отметить, что горизонтальные смещения волны на этой траектории могут быть весьма большими, порядка тысяч км. Наконец, другой вариант высотного профиля зонального ветра для диапазона высот (0÷90) км приведен на рис.4 вместе с графиками критической скорости U_c и скорости горизонтального отражения U_{rx} для варианта $q_z(0) = -1$, $q_x = 1.5$, $q_y = 0.5$. Здесь имеются три критически слоя на высотах 1.445 км, 18.12 км и 87.439 км, которые будут блокировать прохождение ВГВ в ионосферу от источников, находящихся ниже 88 км. Имеются три слоя горизонтального отражения волны, а слоев

вертикального отражения нет поскольку график скорости U_{rz} расположен значительно ниже графика $U(z)$.

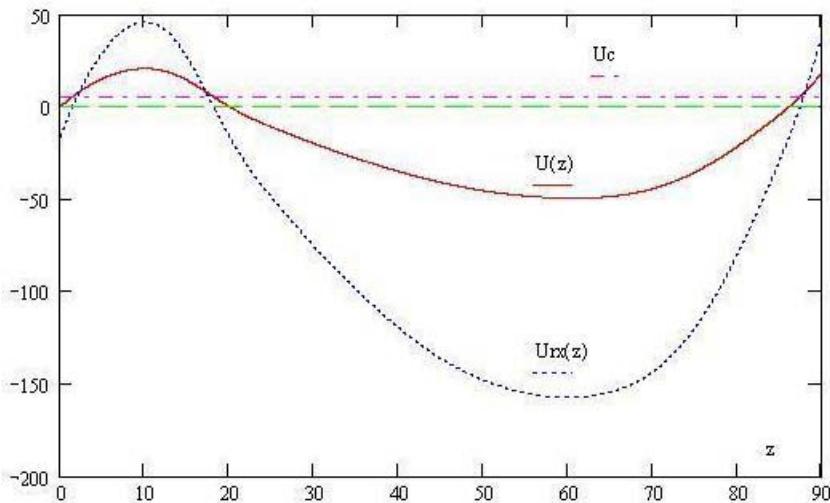


Рис. 4. Три критически слоя на высотах 1.445 км, 18.12 км и 87.439 км, которые будут блокировать прохождение ВГВ в ионосферу от источников, находящихся ниже 88 км

Заключение

В настоящей работе на основе численных расчетов лучевых траекторий проведен анализ ряда вариантов распространения внутренних гравитационных волн из приземной атмосферы до ионосферных высот в случае коротковолновых ВГВ с горизонтальными длинами волн порядка 100 км. Показано, что для рассмотренных вариантов выбора параметров задачи могут возникать слои вертикального отражения и критические слои, блокирующие прохождение ВГВ на ионосферные высоты (порядка 90 км и более). Имеются слои горизонтального отражения, что может привести к сложной структуре лучевых траекторий. Результаты расчетов показывают, что динамику лучевых траекторий необходимо учитывать при проведении экспериментов по регистрации откликов, создаваемых в ионосферной плазме приходящими из тропосферы ВГВ, для корректной интерпретации данных наблюдений ионосферных откликов на тропосферные возмущения. Такие исследования будут продолжены в последующих работах для других вариантов выбора характерных параметров задачи.

Список литературы:

1. Госсард, Э. Э., У. К. Хук. Волны в атмосфере. М.: Мир, 1978. 532 с.
2. Ерохин Н. С., Л. А. Михайловская, С. Л. Шалимов. Геофизические исследования. 2007. Вып. 7. с. 53–64.
3. Ерохин, Н.С., А. К. Некрасов, С. Л. Шалимов. Геомагнетизм и аэрономия. 1994. Т. 34, № 6. с. 150–160.
4. Миропольский, Ю. З. Динамика внутренних гравитационных волн в океане. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 302 с.
5. Липеровский, В. А., О. А. Похотелов, С. Л. Шалимов. Ионосферные предвестники землетрясений. М.: Наука, 1992. 304 с.
6. Buhler, O., M. E. McIntyre, J. Atm. Sci. 1999. V. 56. pp. 3749–3763.
7. Medvedev, A. S., N. M. Gavrilov. J. Atm. Terr. Phys. 1995. V. 57, N 11. p. 1221–1231.
8. Черный, И. В., Г. М. Чернявский, А. Б. Успенский, В. М. Пегасов. Исследование Земли из космоса. 2003. № 6. с. 1–15.

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СЪДЪРЖАНИЕ НА ОЗОНА ЧРЕЗ GUV 2511 В СТАРА ЗАГОРА

Ролф Вернер¹, Боян Петков², Димитър Вълев¹, Атанас Атанасов¹, Венета Гинева¹,
Андрей Кирилов³

¹Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

²Институт за атмосферните науки и климат, Съвет за Национални изследвания, Бologna, Италия

³Полярен геофизичен институт, Апатити, Русия

e-mail: rolwer52@yahoo.co.uk

Ключови думи: Озон, наземни измервания

Резюме: През февруари 2015 г. в Стара Загора беше инсталиран наземен ултравиолетов радиометър (GUV) 2511. Уредът GUV 2511 е предназначен за измерване на преминаващата през атмосферата слънчева радиация с дължина на вълната 305, 313, 320, 340, 380, 395 nm и на радиациите във видимата област 400-700 nm. Уредът позволява получаването на общото съдържание на озона (OCO) в атмосферата, определянето на UV индекса и пресмятането на оптичната дебелина на облачната покривка. В работата са представени първите резултати от измерванията. Методологията да се извлече OCO от измерванията се основава на изчисляването на отношението 314 nm/340 nm чрез тропосферния UV и VIS (TUV) модел за радиационния пренос. Получените за деня отношения 314 nm/340 nm са апроксимирани с полином, за да се намали влиянието на облачността при определянето на концентрацията на озона. Получените резултати са сравнени с OCO, определено по измервания на Ozone Monitoring Instrument (OMI) на борда на спътник Aura. Корелацията между стойностите на OCO, определени от OMI и GUV 2511 за местоположението на Стара Загора, е по-добра от 0.97.

OZONE DETERMINATION BY GUV 2511 MEASUREMENTS AT STARA ZAGORA

Rolf Werner¹, Boyan Petkov², Dimitar Valev¹, Atanas Atanassov¹, Veneta Guineva¹,
Andrey Kirillov³

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²Institute of Atmospheric Sciences and Climate (ISAC), CNR, Bologna, Italy

³Polar Geophysical Institute (PGI), Apatity, Russia

Keywords: Ozone, ground-based measurements

Abstract: In February 2015 a Ground-based Ultraviolet Radiometer (GUV) 2511 was installed in Stara Zagora. The GUV 2511 instrument is designed for measurements of the downwelling global irradiances at 305, 313, 320, 340, 380, 395 nm and of the irradiance in the visible range of 400-700 nm. The instrument allows obtaining of the total column ozone (TCO) in the atmosphere, the determination of the UV-index and the retrieval of cloud optical thickness. In the paper the first measurements results are presented. The methodology to retrieve TCO from the measurements is based on the 313/340 nm ratio simulations by radiation transfer Tropospheric Ultraviolet and Visible (TUV) model. The daily obtained 313/340 nm ratios were approximated by a polynom determined by trimed regression to reduce the cloudiness impact on the determination of ozone. The obtained results were compared with TCO determined by the Ozone monitoring instrument (OMI) onboard Aura satellite. The correlation between the OMI Aura TCO values and the TCO GUV 2511 values both for the Stara Zagora location is better than 0.97.

Въведение

Регулярните наблюдения на UV радиация за определяне на общото съдържание на озона (OCO) във вертикален атмосферен стълб с единица площ започва със създаването на Добър спектрометър през 1924 г. [1]. След Международната Геофизична година 1957 е изградена глобална мрежа за наземни измервания на озона, състояща се главно от Добър и

Брюър спектрометри с типична спектрална разделителна способност около 1 нм. Добсън и Брюър спектрометрите са използвани широко за калибровка на други наземни инструменти и за валидация на спътникови измервания на озона. Добсън спектрометрите позволяват определянето на ОСО с точност 1% при директни наблюдения на слънцето и 2-3% при наблюдения в зенит [2]. Грешката при извлечането на озона с Брюър инструменти е около 1% [3]. Balis et al., 2007 [4], са получили средно съвпадение по-добро от 1% за данните от OMITOMS и по-добро от 2% за данните от OMIDOAS с наземни наблюдения. Starnes et al. [5] показват, че с помощта на спектрометри с висока разделителна способност от около 0.5 nm ОСО и абсорбционните свойства на облаците могат да се определят много точно. През 90-те бяха разработени широкофилтърни инструменти, за да се увеличи общото покритие на измерванията. Широко-филтърните инструменти само с няколко филтри позволяват също и определянето на биологичната UV доза, общото количество на озона и оптичната дебелина на облаците [6]. През февруари 2015 г. един наземен ултравиолетов радиометър (GUV) 2511 беше инсталиран в Стара Загора. Инструментът GUV 2511 е предназначен за измервания на преминаващата през атмосферата слънчева радиация в шест широкоизвивчни канала и на радиацията във видимата област от 400 до 700 nm. Инструментът позволява получаването на ОСО в стълб на атмосферата, определянето на UV-индекса и пресмятането на оптичната дебелина на облачната покривка. В работата е описана методологията на извлечение на ОСО и са представени първите резултати.

Основни оптико-технически характеристики на инструмента GUV 2511

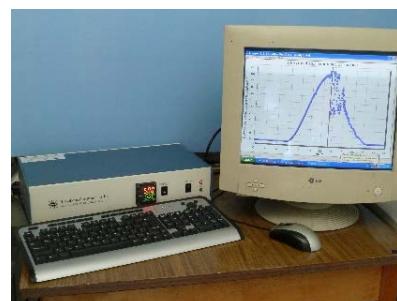
Инструментът GUV измерва глобалната радиация на 305, 313, 320, 340, 380 и 395 nm с ширина на ивицата на пропускане при $\frac{1}{2}$ от максимума 10 nm, както и биологично активната радиация във видимата спектрална област от 400 до 700 nm. Филтърът при 313 nm е добавен в инструмента GUV тип 2511 за разлика от предишния GUV тип 511, за да се осигури определянето на озона при по-големи зенитни ъгли (около 80°), при които абсорбцията при 305 nm е много силна. Всички канали имат собствен фотодиод с усилвател. Входното прозорче на инструмента се състои от тefлонов разсейвател на кварцова основа. Косинусовата грешка на инструмента е по-малка от 3% за зенитни ъгли до 65° и от 7.5% за зенитни ъгли до 82° [7]. Нагряваща покривка, поставена в главата на инструмента, стабилизира фотодиодите, филтрите и усилвателите при температура 50°C. Част от топлината се използва за затопляне на разсейвателя и за да го пази чист от лед и сняг. Разтопеният сняг или дъждовните капки върху разсейвателя и придържащия го пръстен се отвеждат настрани през дренажни каналчета.

Работата на инструмента се осъществява от контролер, включващ управление на захранването, контрол и регулиране на температурата и предаване на данните чрез сериен интерфейс RS232.

Главното преимущество на инструментите GUV е, че те нямат движещи се компоненти и следователно работят много стабилно. Освен това измерванията се извършват много бързо. Инструментът GUV беше инсталиран през декември 2014 г. на покрива на Обсерваторията в Стара Загора (Фиг.1). В периода от декември 2014 г. до януари 2015 г. бяха извършени тестови измервания, а регулярните измервания започнаха през февруари 2015 г. Обсерваторията е разположена на 3 km от гр. тара Загора на височина 430 m, около 250 m по-високо от централните части на града. Наоколо няма високи сгради, така че е осигурена пряка видимост към небето. Инструментът е свързан с компютър през RS232 с кабел, дълъг 50 m. Фиг.2 представя контролера и монитора, показващ хода на измерванията в контролната стая.



Фиг.1. Инструментът GUV 2511 на покрива на обсерваторията.



Фиг.2. Контролерът на инструмента и мониторът в контролната стая.

започнаха през февруари 2015 г. Обсерваторията е разположена на 3 km от гр. тара Загора на височина 430 m, около 250 m по-високо от централните части на града. Наоколо няма високи сгради, така че е осигурена пряка видимост към небето. Инструментът е свързан с компютър през RS232 с кабел, дълъг 50 m. Фиг.2 представя контролера и монитора, показващ хода на измерванията в контролната стая.

Основни принципи на измерванията на OMI-Aura

Инструментът за мониторинг на озона (OMI) е инсталиран заедно с други уреди на платформата за системата за наблюдение на Земята (EOS) на спътника Aura. Синхронизираната със слънцето орбита на Aura позволява извършването на измервания над едно и също място на земята приблизително по едно и също средно слънчево време всеки ден. OMI е спектрометър за измерване на обратното разсейване на слънчевата радиация в надир в ултравиолетовата и видимата област (UV/VIS) със спектрална разделителна способност 0.42 нм в канала UV-1 (270 нм ÷ 310 нм) и 0.45 нм в канала UV-2 (310 нм ÷ 365 нм). Спектрометърът предоставя за един ден почти пълно покритие от измервания над Земята с пространствена разделителна способност 13 км x 24 км [8].

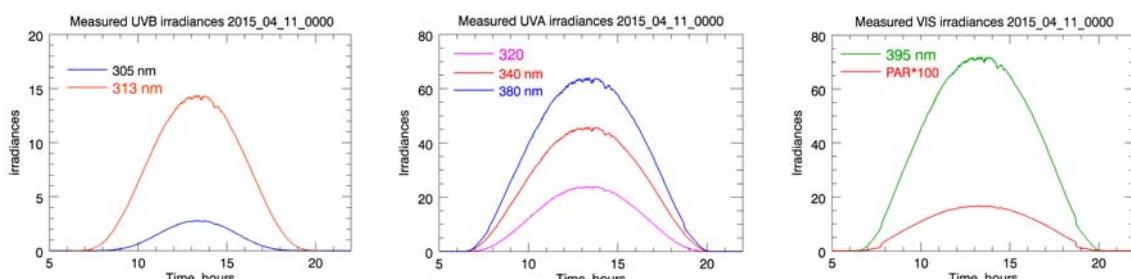
За да се извлече OCO от измерванията на OMI са използвани два различни алгоритъма. Единият от тях се основава на алгоритъма TOMS Версия 8, разработен за извличане на озона от данните от Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) (озонови данни OMI-TOMS). Вторият е базиран на техниката Differential Optical Absorption Spectroscopy (DOAS) (озонови данни OMI-DOAS). Спътниковите данни за озона от OMI са валидирани с помощта на наземни Брюър и Добсън спектрометри. Намерени са значителни несъответствия между озоновите данни OMI-DOAS и наземните данни в зависимост от зенитния ъгъл [4, 9]. За разлика от това Ialongo et al. [10] не са намерили несъответствия с наземните данни нито за озоновите данни OMI-TOMS, нито за OMI-DOAS данните.

В настоящата работа като първо приближение използваме данните OMI-TOMS за сравнение с резултатите от нашите измервания. OMI-TOMS данните за озона (OMTO3) са достъпни със стъпка $1^\circ \times 1^\circ$ на <https://ozoneqaq.gsfc.nasa.gov/data/ozone/> (OMI-Aura Global Ozone Data). Тези данни са интерполирани билинейно за местоположението на Обсерватория Стара Загора (северна геогр. шир. 42.413° , източна геогр. дълж. 25.633°). В случаите, когато местоположението на Стара Загора се оказва близо до границата на зрителното поле на OMI, разпределението на озона се интерполира за допълнително местоположение в близост до Стара Загора, позволяващо да се използват данните от съседния пиксел на мрежата. Обикновено когато местоположенията не са в края на зрителното поле, разликите в стойностите на озона за двете местоположения не са по-големи от 2 DU. В края на зрителното поле обаче тези разлики се оказват по-големи от 30 DU и в тези случаи се взема по-високата стойност на озона. Спътникът Aura преминава над България около 13:30 ч. местно време с отклонение до около 50 мин. поради пертурбацията на спътниковата орбита и отклоненията на истинското слънчево време от средното слънчево време. Допълнителна разлика във времето от около 40 мин. се получава и поради отклонението на ъгъла на наблюдение от надир.

Aura е част от така наречената A-свита (A-train), състояща се от 5 спътника с близки орбити, които преминават през едно място в пространството за 8 мин., което позволява да се използва допълнителна информация.

Предварителни резултати

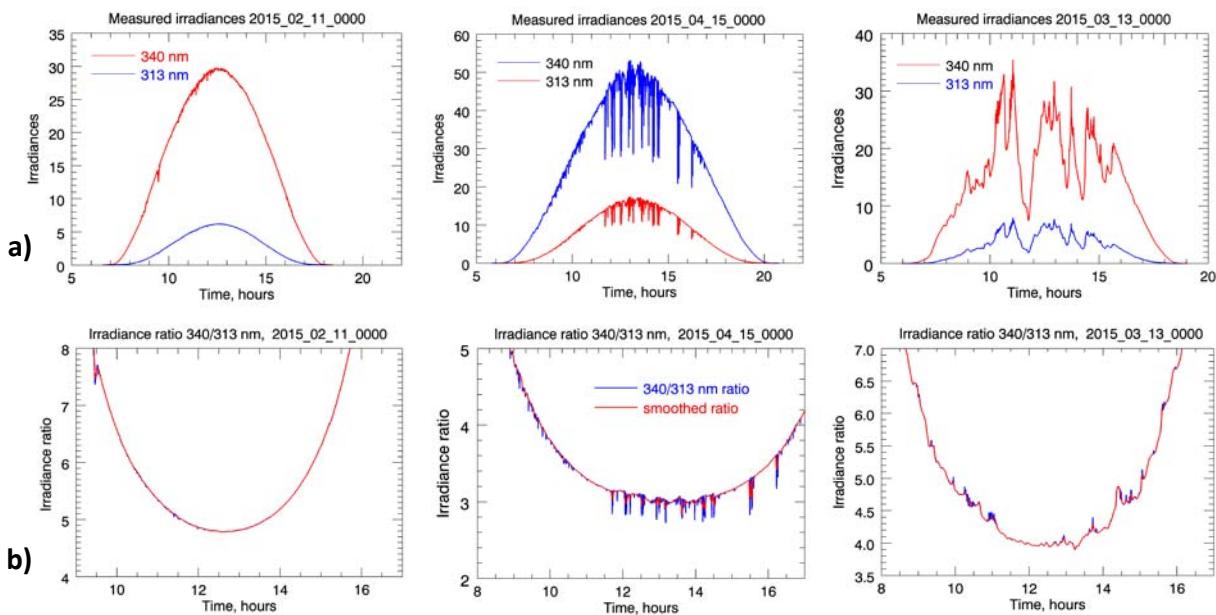
От февруари до средата на юни 2015 г. бяха проведени ежедневни измервания със



Фиг. 3. Измерени излъчвания (дадени в $\mu\text{МВт}/\text{см}^2\cdot\text{нм}$) от всички канали на GUV 2511

стъпка 10 сек. с някои прекъсвания по технически причини. На Фиг.3 е представен един пример от измерванията от всички канали на GUV 2511 през един ясен ден (11 април 2015 г.). Максимумите на радиацията се наблюдават на обяд около 12:30 ч. местно време или 13:30 ч. местно лятно време. Дневните максимуми на радиацията се изменят в зависимост от зенитния ъгъл. Минималният зенитен ъгъл при лятно слънцестояние е 19.25° и при зимно слънцестоянен зенитният ъгъл не надвишава 66.12° за географската ширина на Стара Загора.

Около 70% от измерената радиация е концентрирана във времевия интервал от 3 часа преди обяд до 3 часа след обяд.



Фиг.4.а) Измерени излъчвания при 313 нм и 340 нм, дадени в $\mu\text{W}/(\text{cm}^2\text{nm})$, за дни с различна облачност; б) отношения на излъчванията (вж текста).

Фиг. 4а показва наблюдаваното излъчване през дни с различна облачност: през един почти ясен ден (в ляво), през един ден с бързо изменение на облачната покривка пред слънчевия диск (в средата) и през един ден с висока облачност (в дясно). Фиг.4.б представя отношенията на радиациите за същите дни. Наблюдаваната радиация е много по-чувствителна към изменения в облачността от получените отношения на радиациите. Високо честотни изменения са получени за дни с много бързо изменение на облачността, вероятно свързано с наличието на перести облаци (цируси) (в средата на Фиг.4.б). Измененията на радиацията на 340 нм са малко повече от 40% от максималната ѝ стойност. При 313 нм измененията достигат около една трета от максималната стойност по обяд. А полученото отношение на тези радиации е много стабилно. То варира само около 10%, а след изглаждане вариацията намалява до стойности по-малки от 5%. В случая на силна облачност измененията са с по-нискочестотен характер и отношенията на радиацията намаляват приблизително с 0.5, което води до голяма грешка при определяне на ОСО. Силната облачност често е свързана с ниски облаци и валежи.

Методология на определянето на ОСО

Предварителна обработка на данните

За да се намали влиянието на облачността, е приложена следната предварителна обработка на данните:

1. Ако средната радиация при 340 нм между 10:30 и 14:30 локално време е по-ниска от пресметнатата приблизително месечна стойност (около 1/3 от средната месечна стойност за ясни дни) допускаме, че определянето на озона ще бъде погрешно поради силна облачност.
2. Отношенията са изгладени допълнително с пълзяща правоъгълна функция за 17 стойности, т.е. за 170 сек. Изгладените отношения са показани с червена линия на Фиг.4.б на фона на синята линия на оригиналните отношения. Най-голям ефект има изглаждането в случаи на бързо изменение на облачната покривка (Фиг.4.б, по средата). След прилагането на изглаждането по 17 точки (съответстващи на 170 сек.) максималното изменение на отношенията на излъчванията намалява до 0.1, което би довело до грешка от 10 DU при определянето на озона (сравни с таблицата на Стамнес – Фиг.5).

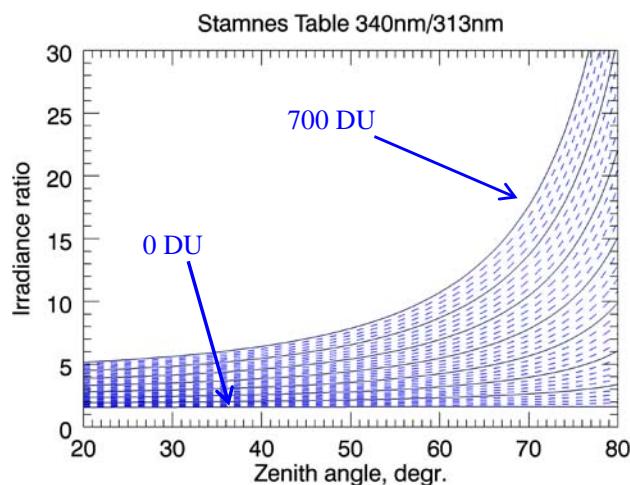
3. При силна облачност измененията на отношенията на радиациите в пиковете варираят до 0.5 (виж напр. дясната част на Фиг.4б), което води до значими грешки при определянето на ОСО. Поради това за дневния ход на всяко отношение е определена една горна обвивка по следната процедура: Първо дневните наблюдения са разделени на интервали с дължина 1000 сек. (т.е. около 16.7 мин.) и във всеки интервал са определени максималната стойност и нейното положение. Развитието на максимумите във времето се апроксимира с полином от нисък ред и регресия, като се изключват трите максимума с най-голямо квадратично отклонение от полинома (trimmed regression).

Бяха проведени измервания през 244 дни от изучавания период. При прилагане на процедурата, описана по-горе в т.1, силна облачност беше установена за 27 дни и тези измервания не са включени при по-нататъшните разглеждания. За 6 дни полиномът показва силни осцилации, които не позволяват определянето на ОСО с висока точност. Броят на почти ясните дни беше получен чрез преглед на дневния ход на излъчването при 340 nm. По тази субективна оценка 77 дни бяха определени като почти безоблачни. За 139 дни бяха установени съпадения с измерванията на OMI. 56 от тях са на безоблачни дни.

Пресмятане на таблицата на Стамнес за местоположението на Стара Загора

С инструментите GUV се измерват общата, дифузната и пряката радиация. Отношението на радиациите на различни дължини на вълната зависи от свойствата на разсейване на частиците и молекулите във въздуха, а също и от елевацията на слънцето, т.е. от дълчината на пътя за абсорбция през атмосферата. Затова ОСО не може да бъде определено директно от получените от наблюденията отношения на радиациите, както е възможно при Добсън и Брюър спектрометрите за директни слънчеви измервания. За да се определи ОСО от отношения UVA/UVB е необходимо моделиране с помощта на модели за радиационния пренос, включващи UV спектралната област. Тук ние използваме Тропосферния модел за ултравиолетовата и видимата област (Tropospheric Ultraviolet and Visible (TUV) radiation model), версия 4.1, разработен от Madronich [11], в който параметрите на Релеевското разсейване се пресмятат чрез подобрен алгоритъм за стандартни атмосферни условия [12, 13]. Спектрите са пресметнати за географското местоположение (виж горе) на Обсерватория Стара Загора за различни ОСО от 0 до 700 DU със стъпка 20 DU и зенитни ъгли от 20° до 90° със стъпка 1°. Използвано е албедо на земната повърхност 0.2 като входен параметър. Използваме средния озонов профил от U.S. Standard Atmosphere 1976, тъй като реалният озонов профил има забележимо влияние върху извлечането на озона само за големи зенитни ъгли [4]. Средният озонов профил е част от библиотеката на модела TUV. Получените спектри са умножени с относителните функции на филтрите, апроксимирани с Гаусова функция с ширина на $\frac{1}{2}$ от максимума 10 nm. Отношенията на радиациите на 340 nm и 313 nm са пресметнати за обелязаните по-горе ОСО и зенитни ъгли (таблица на Стамнес, виж Фиг.5). Съдържанието на озона е определено чрез интерполяция на пресметнатите таблици за отношенията, получени от измерванията на радиациите и за зенитни ъгли, каквито са били по време на измерванията. Зенитните ъгли са пресметнати по астрономически алгоритъм (виж [14]).

За извлечането на ОСО чрез интерполяция на таблицата на Стамнес за съответните зенитни ъгли в 13:30 ч. местно време се използват отношенията от обвивките. Отношенията на радиациите (с точност до константа) зависят от реалните функции на филтрите (по-коректни от спектралната апаратна функция). Нашият инструмент GUV не е калибриран по стандартен Добсън или Брюър спектрометър. Затова правим регресия на нашите резултати за ОСО с тези от спътника OMI, като използваме различни положения на максимумите относно дължините на

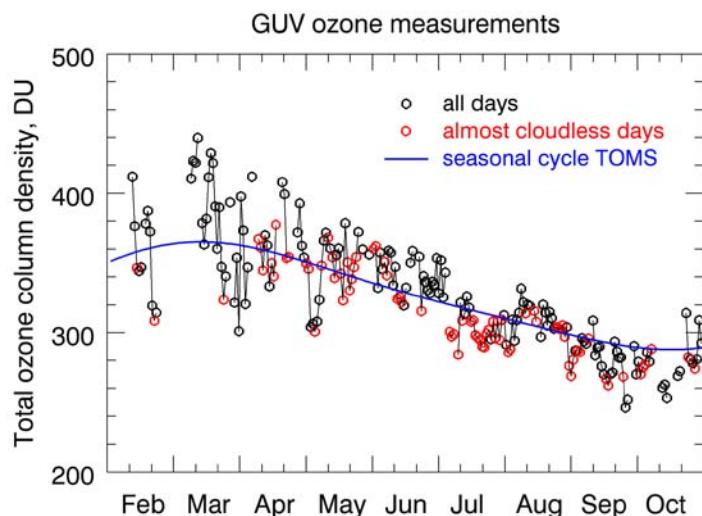


Фиг. 5. Пресметната таблица на Стамнес за Стара Загора (албедо на земната повърхност 0.2)

вълната за функциите на филтрите при 313 нм и 340 нм в процедурата за пресмятане по таблицата на Стамнес. Най-добри резултати за ОСО се получават с филтри, центрирани на 340 нм и 313.55 нм. Този подход не ни позволява да установим наличието на систематична грешка между двете измервания – от GUV и OMI. Balis et al., 2007 [4], са намерили систематична грешка между продуктите OMI-TOMS и ОСО на средни ширини по наземни измервания по-малка от 1%. Не е установена чувствителност на резултатите спрямо различни стойности на албедото в интервала от 0.05 до 0.5.

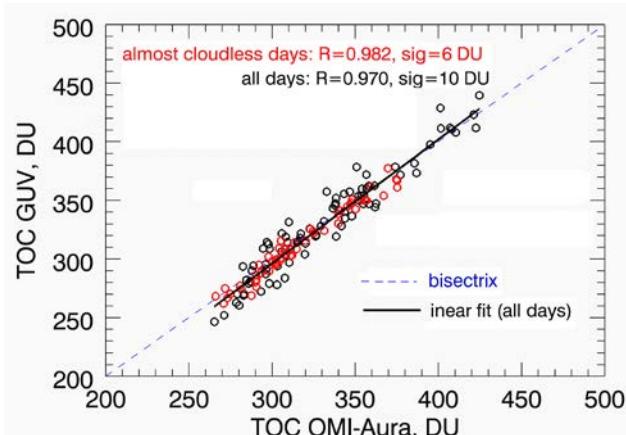
Резултати

Определеният времеви ред за ОСО за периода от инсталацията на GUV 2511 през февруари 2015 г. до края на октомври 2015 г. е показан на Фиг.6. Последователните дневни стойности на озона от GUV са свързани с линия. Дългите прекъсвания бележат периоди без данни поради технически причини. Полученото ОСО (Фиг.6) следва пътно многогодишните сезонни средни стойности, дадени със зелена уделбена непрекъсната линия, определени по измерванията на TOMS, като се наблюдава типичния за средни ширини максимум на озона през март и по-големи вариации през пролетта. ОСО за почти безоблачни дни, показвани с червени кръгчета, са много близо до сезонните средни стойности на TOMS. При облачни дни, първо, се наблюдават по-големи отклонения, и второ, тези стойности обикновено са по-големи от стойностите за ясни дни.



Фиг. 6. ОСО за Стара Загора, определено за наблюдателния период февруари-юли 2015 (черни кръгчета, свързани с непрекъсната линия при непрекъснати измервания). Стойностите на ОСО за Стара Загора за ясни дни са показвани с червени кръгчета. Сезонните средни стойности на ОСО от TOMS са представени с дебела синя непрекъсната линия.

Фиг. 7 показва нашите наземни измервания и данните за озона от спътника OMI за дни, в които са проведени измервания и с двата инструмента. Фигурата представя резултата от линейната регресия на нашите ОСО данни от GUV 2511 спрямо OMI ОСО. Ясно се вижда, че наблюдаваните от нас стойности на ОСО съвпадат много добре с ОСО от спътника OMI.

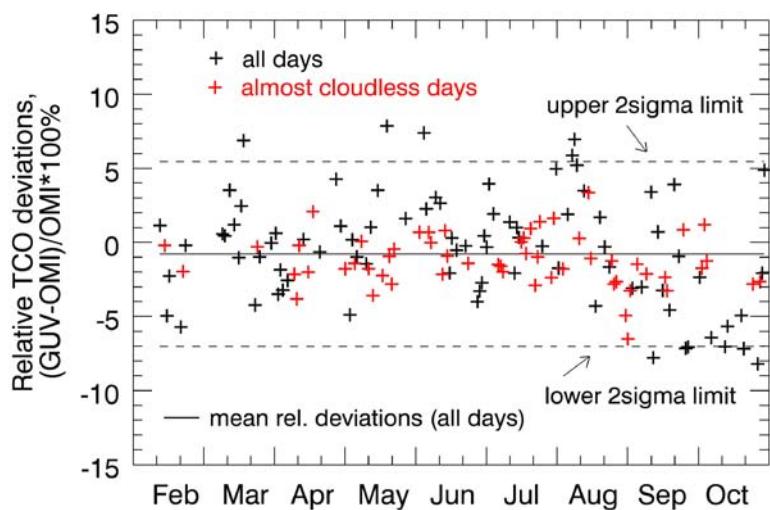


Фиг.7. Линейна връзка между данните за ОСО от GUV и OMI. Дебелата линия представлява регресионната права.

Наклонът на линията на най-добро напасване между ОСО от GUV и OMI за всички дни е 1.057 и

грешката е $\sigma = 0.023$. За ниво на значимост 0.05 този наклон се различава от 1. Намерен е коефициент на корелация 0.970, което означава, че обяснената девиация на отклоненията на стойностите на озона от GUV от тези от OMI е около 0.941. Този резултат е сравним с намерената корелация 0.97 между ОСО от Брюър спектрометър в станция Рим и OMI-TOMS ОСО за 574 едновременни наблюдения [10]. Наблюдаваните ОСО в почти безоблачни дни, показвани с червени кръгчета, корелират по-добре с OMI ОСО и обяснената девиация е 0.964. Макар и съответствието между GUV и OMI ОСО да е много добро, очевидно е, че при нашата процедура на извлечане на озона остава влияние от облачността. Bogeat et al., 2012 [15], съобщават за надценяване на стойностите на озона по измервания от GUV инструмент в облачни дни през април 2010 г.

Относителните грешки на определените от нас ОСО по отношение на OMI ОСО са



Фиг. 8. Получени относителни отклонения на ОСО по данните от инструмента GUV от резултатите от OMI. Непрекъснатата хоризонтална линия представлява средната грешка, която се очаква да е близка до 0. С пунктираните линии е отбелязан доверителният интервал 2σ .

показани на Фиг.8. Максималните грешки не надвишават 9%. Средното стандартно отклонение е около 3.1%. Това означава, че 95% от грешките при дневните стойности на ОСО са по-малки от 6.2%. Средната грешка не е точно нула, но това не е систематична грешка. Причината е поради не съвсем точно определеното положение на максимума на филътър, с който се измерва радиацията около 313 nm.

Заключения

Данните за ОСО, извлечени от наземни UV измервания с инструмента GUV 2511 в Стара Загора, са в добро съгласие с данните от OMI на спътника Aura, получени посредством алгоритъма TOMS v.8. Получена е корелация 0.97 между нашите ОСО от наземни измервания и ОСО от спътниковите измервания от OMI. Все пак не може да бъде установено наличието на систематично отклонение между резултатите от двата прибора, понеже нашият уред не е калибриран по Добър спектрометър или Брюър инструмент. Въпреки всичко нашите измервания позволяват определянето на дневния ОСО с грешка 3.1%, съответстваща на около 10 DU. Установено е влияние на облачността върху точността на определяне на ОСО. Предвиждаме подобряване на процедурата на извлечане на озона. За да се подобри качеството на резултатите за ОСО, е необходим и по-подробен анализ за прецизно определяне на функциите на пропускане на филтрите. Също така предвиждаме тестване на извлечането на ОСО с други комбинации от филтри. Необходимо е нашият инструмент да бъде калибриран с помощта на еталонни озонови спектрометри. Като цяло можем да направим заключението, че в бъдеще могат да се очакват наземни данни за озона с високо качество за местоположението на Стара Загора.

Благодарности

Инструментът GUV 2511 беше осигурен по проекта BG161PO003-1.2.04-0053 "Information Complex for Aerospace Monitoring of the Environment" (ICASME), реализиран с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на конкурентоспособността на българската икономика 2007-2013“, съфинансиран Европейския фонд за регионално развитие и националния бюджет на Република България.

Литература:

1. Dobson, G. M. B. Forty Years' Research on Atmospheric Ozone at Oxford: A History, *Appl.Optics*, 7(3), 387-405, 1968.
2. Basher, R. E. Review of the Dobson spectrophotometer and its accuracy, *Global Ozone Res. Monit. Proj. Rep.* 13, World Meteorol. Organ., Geneva, Switzerland, Dec. 1982, (Available at <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ozwv/dobson/papers/report13/report13.html>)
3. Kerr, J. B., Asbridge, I. A. and W. F. J. Evans. Intercomparison of total ozone measured by the Brewer and Dobson of Ozone Monitoring Instrument total ozone column measurements using Brewer and Dobson spectrophotometer ground-based observations, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 112, D24S46, doi:10.1029/2007JD008796, 2007.
4. Starnes, K., Slusser, J. and M. Bowen, Derivation of total ozone abundances and cloud effects from spectral irradiance measurements, *Appl. Optics*, 30(30), 4418-4426, 1991.
5. Dahlbeck, A. Measurements of biologically effective UV doses, total ozone, and cloud effects with multichannel, moderate bandwidth filter instruments, *Appl. Optics*, 35(33), 6514-6521, 1996.
6. Bernard, G., Booth, Ch. R. and J. C. Ehramjian. Real-time ultraviolet and column ozone from multichannel ultraviolet radiometers deployed in the National Science Foundation's uktraviolet monitoring network, *Optical Engineering* 44(4), 041011-1 - 041011-12, 2005.
7. Levelt, P. F., van den Oord, G. H. J., Dobber, M. R., Mälkki, A., Visser, H., de Vries, J., Starnes, P., Lundell, J. and H. Saari. The Ozone Monitoring Instrument, *IEEE Trans. Geo. Rem. Sens.*, 44, 5, 1093–1101, 2006.
8. Buchard, V., Brogniez, C. Auriol, F., Bonnel, B., Lenoble, J., Tanskanen, A., Bojkov, B., and P. Veefkind. Comparison of OMI ozone and UV irradiance data with ground-based measurements at two French sites. *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 4517–4528, 2008.
9. Ialongo, I., Casale, G. R. and A. M. Siani. Comparison of total ozone and erythemal UV data from OMI with ground-based measurements at Rome station, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 3283–3289, 2008.
10. Madronich, S. UV radiation in the natural and perturbed atmosphere, in *Environmental Effects of UV (Ultraviolet) Radiation*, M. Tevini, ed., Lewis, Boca Raton,, 17–69, 1993.
11. Tomasi, C., Vitale, V., Petkov, B., Lupi, A. and A. Cacciari. Improved algorithm for calculations of Rayleigh-scattering optical depth in standard atmospheres, *Appl. Opt.*, 44, 3320–3341, 2005.
12. Petkov, B., Vitale, V., Tomasi, C., Bonafé, U., Scaglione, S., Flori, D., Santaguida, R., Gausa, M., Hansen, G. and T. Colombo. Narrowband filter radiometer for ground-based measurements of global ultraviolet solar irradiance and total ozone, *Appl. Optics*, 45(18), 4383-4395, 2006.
13. Meeus, J. *Astronomische Algorithmen*, Johann Ambrosius BarthVerlag, Leipzig-Berlin-Heidelberg, 1993
14. Bogeat, J. A ., Piedehierro, A. A., Serrano, A., Cancillo, M. L., Obregón, M. A. and R. Benítez. Measurements of total ozone amount over Badajoz (Southwestern Spain) by means of a GUV multiband radiometer, *Opt. Pura Apl.* 45 (1) 39-43, 2012.

СУББУРИ НАД АПАТИТИ ПО ВРЕМЕ НА СИЛНИ ГЕОМАГНИТНИ БУРИ ПРЕЗ СЛЪНЧЕВ ЦИКЪЛ 24

Венета Гинева¹, Ирина Деспирарак², Борис Козелов², Ролф Вернер¹

¹*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*

²*Полярен геофизически институт, ФАНО, Апатити, Русия*

e-мейл: v_guineva@yahoo.com

Ключови думи: аурорални емисии, суббури, геомагнитни бури

Резюме: Разгледани са три периода с висока геомагнитна активност: 8-10 март 2012, 17-18 март 2013 и 17-21 март 2015 гг., през които са регистрирани геомагнитни бури със SYM/H индекс по-малък от -100 нТ. Изследвани са суббурите, възникнали през тези периоди. За тази цел са използвани данните от системата камери *Multiscale Aurora Imaging Network (MAIN)* в Апатити. За параметрите на слънчевия вятър и междупланетното магнитно поле е използвана базата данни OMNI. Определени са различните потоци в слънчевия вятър, свързани с възникването на геомагнитни бури. Началото на суббурите и последвалото им развитие е потвърдено по данните от all-sky камерата в Апатити и мрежата магнитометри IMAGE. Сравнени са суббурите по време на различните фази на геомагнитните бури.

SUBSTORMS OVER APATITY DURING STRONG GEOMAGNETIC STORMS IN SOLAR CYCLE 24

Veneta Guineva¹, Irina Despirak², Boris Kozelov², Rolf Werner¹

¹*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*

²*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

e-mail: v_guineva@yahoo.com

Keywords: aurora emissions, substorms, geomagnetic storms

Abstract: In this paper three periods of high geomagnetic activity: 8-10 March 2012, 17-18 March 2013 and 17-21 March 2015 are examined. During these periods geomagnetic storms with SYM/H index less than -100 nT were registered. The substorms generated during the storms are studied. For this purpose data from the Multiscale Aurora Imaging Network (MAIN) in Apatity were used. The OMNI data base was used for the solar wind and interplanetary magnetic field data. The different streams in the solar wind associated with the occurrence of geomagnetic storms were specified. The substorms onset and further development were verified by Apatity all-sky camera and IMAGE magnetometers network data. Substorms developed during different storm phases were compared.

Увод

Изучаването на явленията при висока геомагнитна активност е от голямо значение, понеже геомагнитните бури могат да засегнат енергийните системи на спътниците или на Земята. За да се разберат и прогнозират възможните последици от такива явления е необходимо да се натрупат наблюдения, да се създадат модели на цялата верига от процеси от Слънцето до Земята. Така ще могат да се правят успешни прогнози за космическото време и да се предотвратяват повреди в технологичната инфраструктура при силни геомагнитни бури [1]. Настоящият 24 Слънчев цикъл се отличава със сравнително ниска слънчева активност. За периода 2011-2015 г. са регистрирани 14 геомагнитни бури, при които SYM/H индексът достига стойности, по-малки от -100 нТ, и само при една (денят на св. Патрик – 17.03.2015 г.) SYM/H става по-малък от -200 нТ [2].

Целта на тази работа е да се изучат суббури, възникнали по време на силни геомагнитни бури, с минимален SYM/H индекс по-малък от -100 нТ. Ние разполагаме с данни от системата камери MAIN (Multiscale Aurora Imaging Network) в Апатити, описана подробно в [3]. С нея са реализирани наблюдения през три периода с такава висока геомагнитна активност, през ясни зимни нощи: 8-10 март 2012 г., 17-18 март 2013 г. и 17-21 март 2015 г. За изучаване на развитието на суббурите са използвани данни от all-sky камерата (изображения и кеограми) и от Guppy F-044C (GC) със зрително поле около 67° (кеограми). В кеограмите магнитният север е нагоре, а нулата съвпада със зенита. Параметрите на слънчевия вятър и междупланетното магнитно поле са взети от база данните OMNI (http://sdaweb.gsfc.nasa.gov/cdaweb/istp_public/). Наличието на суббури е потвърдено и по данни от меридионалната верига Tartu – Ny Ålesund (Tartu (TAR), CGM Lat.= 54.47° – Ny Ålesund (NAL), CGM Lat.= 75.25°) от мрежата магнитометри IMAGE. Регистрирани са общо 12 суббури при ясни условия през тези периоди, по 2 през първия и втория и 8 през третия. Тези суббури се развиват през различни фази на геомагнитните бури. Направено е сравнение на характеристиките на суббурите в зависимост от фазата на геомагнитната буря.

Общ преглед на междупланетните условия

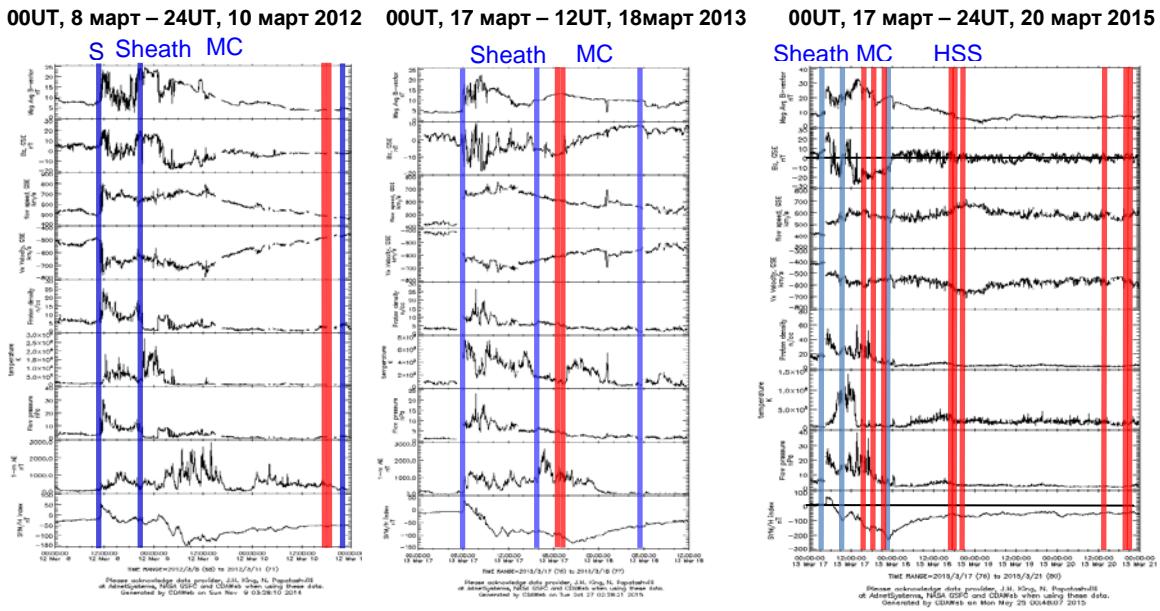
Известно е, че геомагнитните бури възникват при наличието на определени структури в слънчевия вятър, най-вече изхвърляния на коронална маса (CME) и коротиращи области на взаимодействие (CIR) (напр. [4, 5]). Трябва да се отбележи, че бурите, генериирани от различни структури в слънчевия вятър, се различават по интензивност, продължителност на фазата на възстановяване и т.н. (напр. [6, 7, 8]). По време на слънчев максимум преобладават спорадичните потоци, свързани с коронални изхвърляния на маса [9]. Близо до земята те се наблюдават като магнитни облаци (MC) (напр. [10]). MC се характеризират като области, в които силата на магнитното поле е по-голяма от средната, плътността на частиците е сравнително ниска и магнитното налягане силно превишава йонното топлинно налягане; посоката на магнитното поле се мени през облака, като се върти успоредно на равнина, която е силно наклонена спрямо еклиптиката [10]. Пред магнитния облак се формира област на взаимодействие с несмутения слънчев вятър (Sheath), която се характеризира с висока плътност, нарастващо налягане и силна променливост на ММП.

Разглежданите от нас силни геомагнитни бури възникват по време на преминаване на MC покрай земята. От една страна, времената на тези бури (8-10 март 2012 г., 17-18 март 2013 г. и 17-20 март 2015 г.) са близо до слънчевия максимум, получен през април 2014 г. [2]. От друга страна, установено е, че геомагнитните бури, генериирани от Sheath и MC, обикновено са с по-висока интензивност от тези, генериирани от CIR (напр. [11]). Всичко това потвърждава досегашните изследвания. На Фиг.1 са представени междупланетните условия и геомагнитната реакция за трите интервала: 8-10 март 2012 г. (в ляво), 17-18 март 2013 г. (в средата) и 17-20 март 2015 г. (в дясно). И в трите панела от горе надолу са показани: големината на ММП B , B_z компонентата на ММП, скоростта на слънчевия вятър v , нейната x -компонентата v_x , плътността на протоните, температурата на протоните, налягането на потока, и два индекса на геомагнитната активност, AE и SYM/H. Границите на Sheath и MC са означени с вертикални сини линии. Времената на наблюдаваните суббури са отбелзани с червени вертикални линии.

Първата от разглежданите бури е част от един от първите силно геомагнитно активни периоди през възходящата фаза на настоящия слънчев цикъл 24, описан в редица изследвания (напр. [12, 13, 14]). Тя е втората и най-силна от поредица от 4 последователни геомагнитни бури. Генерирана е от MC. SYM/H индексът достига минимална стойност -148 нТ (Фиг.1, в ляво).

Втората геомагнитна буря е генерирана от Sheath на 17 март 2013 г. (средният панел на Фиг.1). Минималната стойност на SYM/H е -140 нТ.

Третата геомагнитна буря, започнала на 17 март 2015 г., т. нар. „Ден на свети Патрик“, е най-силната през 24SC. Тя също е генерирана от ударната вълна, формирана от CME на границата на Sheath областта и SYM/H достига -235 нТ (Фиг.1, в дясно). След магнитния облак покрай земята преминава и високоскоростен поток (HSS), наложен частично върху MC, което допринася за продължителността на възстановителната фаза на бурята.



Фиг. 1. Междупланетни и геомагнитни условия в периодите 8-10 март 2012 г. (в ляво), 17-18 март 2013 г. (в средата), и 17-20 март 2015 г. (в дясно)

Наблюдения

Разгледани са измерванията при ясно небе по време трите силни геомагнитни бури. По време на първата буря са идентифицирани 3 суббури, възникнали през късната възстановителна фаза на бурята; при втората буря – 2 последователни суббури по време на главната фаза на бурята, и при третата буря – 8 суббури, 2 от които през главната фаза на бурята, една – в непосредствена близост до минимума на SYM/H (във фазата на възстановяване), на 17 март 2015 г., и 5 – във фазата на възстановяване и късната възстановителна фаза, на 18 и 20 март 2015 г. Моментите на началото на суббурите са указанi с червени вертикални линии във Фиг. 1.

Като примери са представени четири типични случая на развитие на суббури над Апатити през трите геомагнитни бури.

Случай 1. Суббурята в 18:26 UT на 17 март 2013 г.

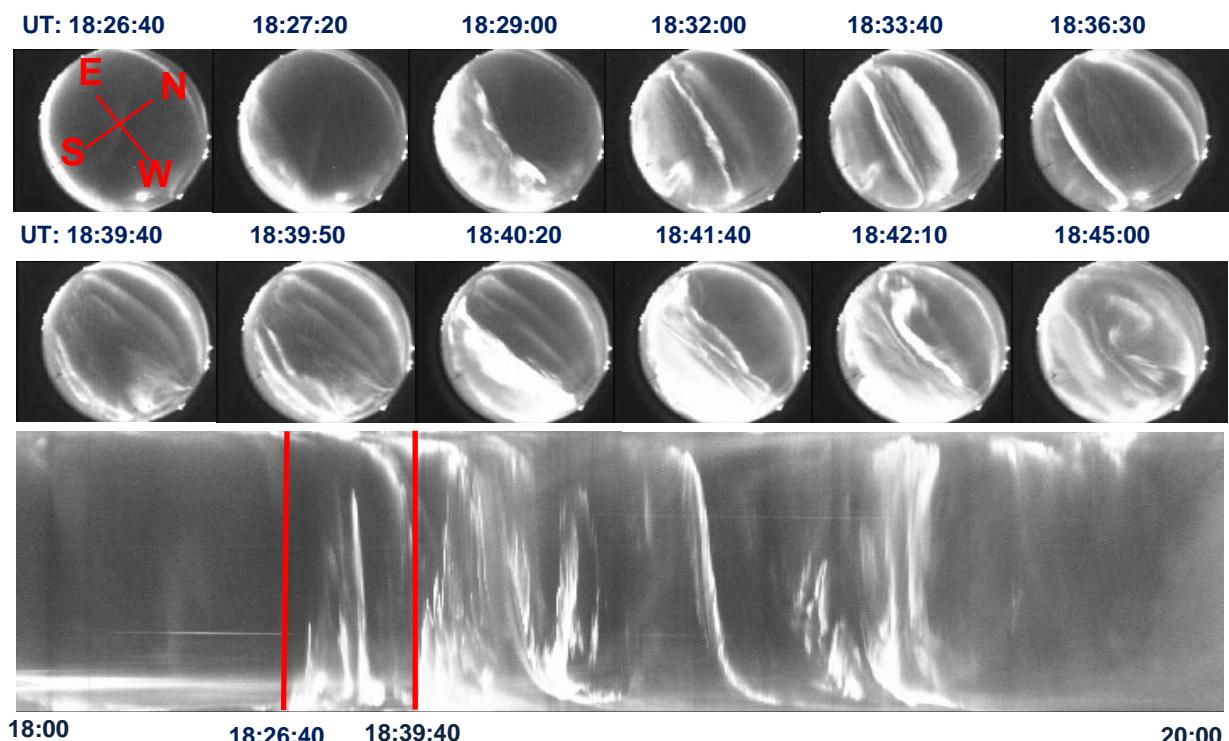
Суббурята на 17 март 2013 г. започва в 18:26 UT (универсално време), по време на главната фаза на геомагнитната буря (Фиг. 1, в средата). В началото на суббурята SYM/H индексът е около -98 nT. Нейното развитие по данни от системата камери MAIN в Апатити е дадено на Фиг. 2. Горните 2 реда представляват избрани изображения от all-sky камерата. Над всяко изображение е времето на регистрирането му. Върху първото изображение са показани посоките (в зависимост от ориентацията на all-sky камерата по време на измерванията). В долната част на Фиг. 2 е показана all-sky кеограмата. Силните магнитни смущения започват от най-южната станция от IMAGE – Tartu (TAR) на 54.47°N CGM Lat. (коригирана геомагнитна ширина) и се простират до Sørøya (SOR) на 67.34°N CGM Lat. По изображенията на all-sky камерата суббурята започва в 18:26:40 UT на юг от станцията Апатити. Наблюдава се разширение на сиянията на север и те преминават над зенита в 18:32 UT. В 18:39:40 UT се наблюдава втора интензификация от юг, която също се разширява на север и сиянията обхващат цялото зрително поле. Началото на суббурята и втората интензификация са отбелязани с червени вертикални линии върху кеограмата (долната част на Фиг. 2).

Случай 2. Суббурята в 19:59 UT на 17 март 2015 г.

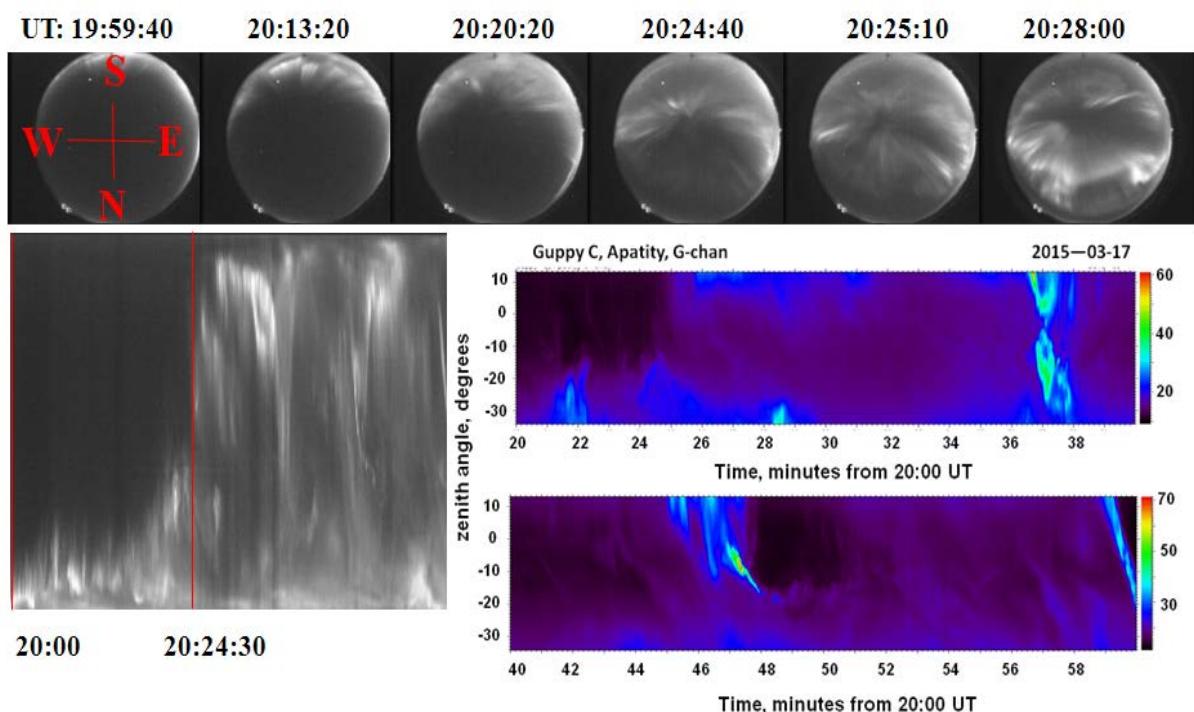
Развитието на суббурята в 19:59 UT на 17 март 2015 г. е показано на Фиг.3. Горният панел представя избрани изображения от all-sky камерата. Универсалното време (UT) е указано над всяко изображение, а посоките са показани върху първото изображение. В долната част на фигурата са кеограмите на all-sky камерата (в ляво) и на GC камерата (в дясно).

Тази суббуря е наблюдавана по време на главната фаза на геомагнитната буря на деня на св. Патрик (Фиг.1 в дясно). SYM/H индексът в началото на суббурята е около -160 nT. По магнитни данни магнитното смущение започва от станцията Tartu (TAR) на 54.47°N CGM Lat. и се придвижва до Ny Ålesund (NAL) на 75.25°N CGM Lat. По данни от all-sky камерата суббурята започва в 19:59:40 UT. Първоначално сиянията остават на юг от зенита на станцията. В

20:24:30 UT се наблюдава бързо разширение на сиянието на север и те заемат цялото зрително поле. Това време е отбелязано на all-sky кеограмата с червена вертикална линия. По данни от GC камерата сиянието в 19:59:40 UT са на около 25° южно от зенита. Бликът в 20:24:30 UT е ясно изразен (горната GC кеограма във Фиг. 2). Максималната относителна интензивност на сиянието в зрителното поле на GC камерата е 70 отн. единици.



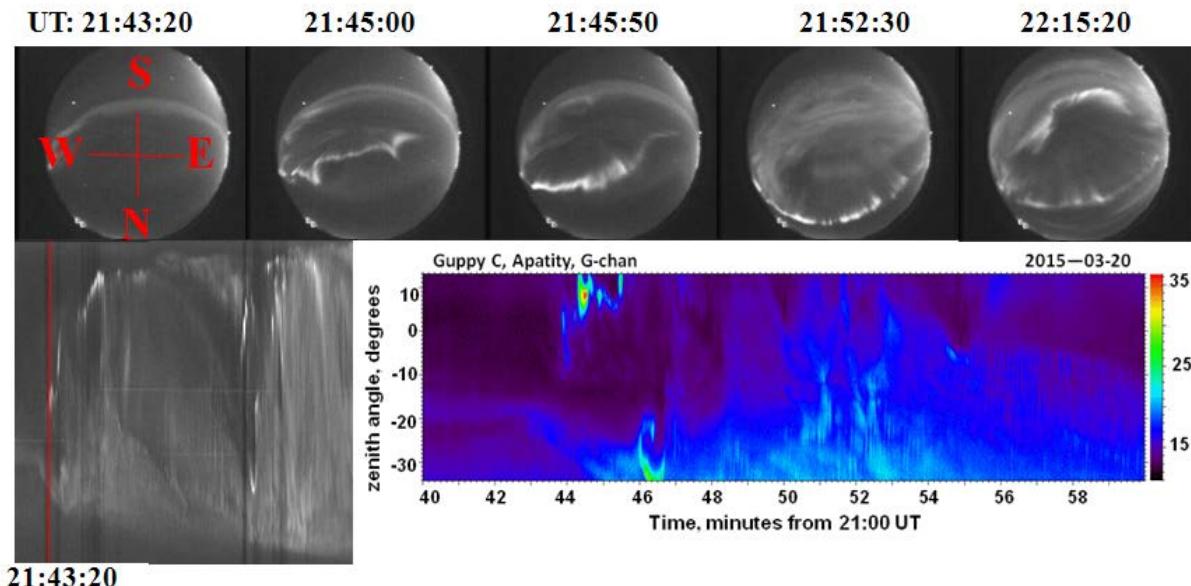
Фиг. 2. Избрани изображения от развитието на суббурята на 17 март 2013 г. в 18:26:40 UT (горе) и all-sky кеограма (долу). Началото на суббурята е по време на главната фаза на геомагнитната буря, на юг от зенита на станцията



Фиг. 3. Развитие на суббурята в 19:59:40 UT на 17 март 2015 г. по избрани изображения от all-sky камерата (горе), all-sky кеограма (долу вляво) и GC кеограми (долу в дясно)

Случай 3. Суббурята в 21:43 UT на 20 март 2015 г.

Развитието на суббурята в 21:43 UT на 20 март 2015 г. по измервания на системата MAIN е представено на Фиг.4. Форматът на Фиг.4 е като на Фиг.3. Тази суббуря е наблюдавана по време на късната фаза на възстановяване на геомагнитната буря в деня на св. Патрик 17 март 2015 г. (Фиг.1 в дясно). SYM/H индексът в началото на суббурята е ~ 45 nT. По данните от магнитометрите магнитното смущение започва от Oulu (OUJ) на 60.99° CGM Lat. и се придвижва до Ny Ålesund (NAL) at 75.25° CGM Lat. Началото на суббурята по изображенията на all-sky камерата е в 21:43:20 UT близо до зенита на станцията. То е отбелязано в кеограмата с червена вертикална линия. Сиянието се разрастват много бързо, обхващат цялото зрително поле около 22:16 UT и станцията остава в авроралната изпъкналост. В GC кеограмата началото на суббурята се наблюдава в зенита на станцията в 21:43:50 UT. Максималната относителна интензивност е 36 отн. единици.



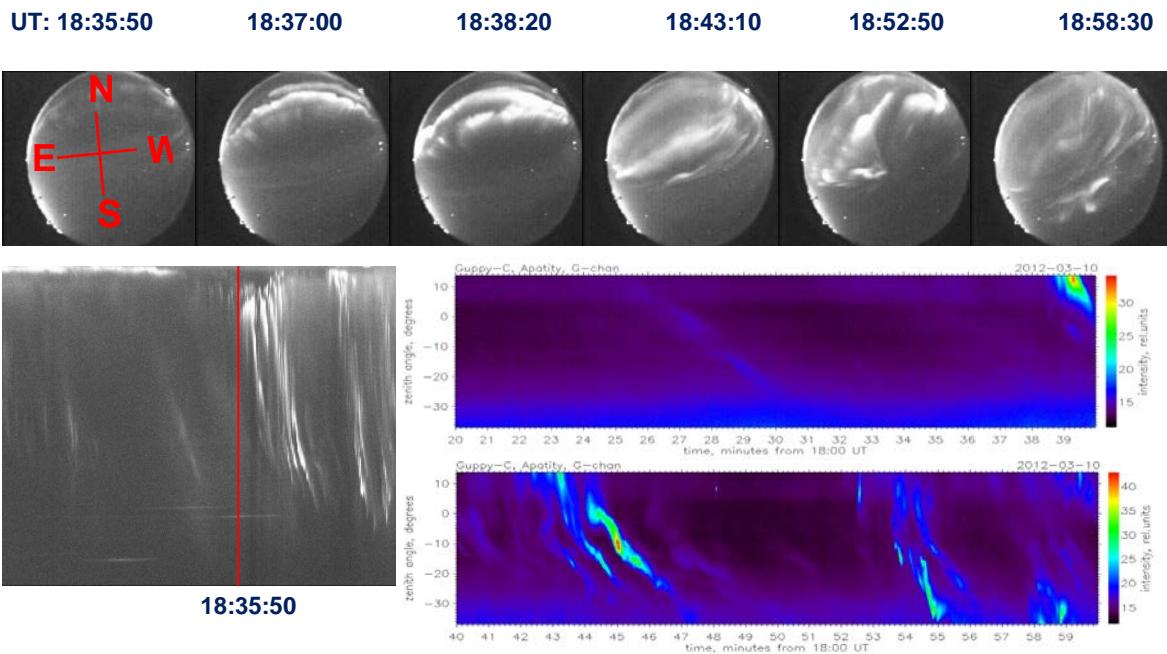
Фиг. 4. Развитие на суббурята в 21:43:20 UT по данни от системата камери MAIN: избрани изображения на all-sky камерата (горе), all-sky кеограма (долу вляво) и GC кеограма (долу в дясно)

Случай 4. Суббурята в 18:35 UT на 10 март 2012 г.

Суббурята в 18:35 UT на 10 март 2012 г. възниква през късната фаза на възстановяване на силната геомагнитна буря, започната на 8 март. SYM/H индексът в началото на суббурята е ~ 50 nT (Фиг.1 в ляво). Магнитното смущение започва от Pello (PEL) на 63.55° CGM lat. и се разпростира до Longyearbyen (LYR) на 75.12° CGM lat. Развитието на суббурята е показано на Фиг.5 (форматът ѝ е като на Фиг.3). Началото на суббурята по данни на all-sky камерата е в 18:35:50 UT на север от Апатити. Сиянието се разширяват на юг, достигат зенита в 18:39 UT и продължават да се движат на юг. В по-детайлните GC кеограми сиянието се наблюдават от 18:38:30 UT на около 15° на север от зенита (горната кеограма). Вижда се бързото движение на юг. Максималната интензивност в границите на зрителното поле е 34 отн. единици.

Дискусия

Изследвано е развитието на суббурите, възникнали по време на 3 силни геомагнитни бури със SYM/H индекс по-малък от -100 nT по данни от системата камери MAIN в Апатити: 8-10 март 2012 г., 17-18 март 2012 г. и 17-20 март 2015 г. Нашите изследвания потвърждават появата на сиянието съгласно динамиката на авроралния oval (напр. [15]. При смутени условия, по време на главната фаза на геомагнитна буря или във фазата на възстановяване близо до максималното развитие на бурята (минималната стойност на SYM/H индекса) авроралният oval е разширен, и началото на суббурите в приекваториалния му край е на юг от Апатити. В този случай наблюдаваме разширяването на сиянието на север. В по-късната фаза на възстановяване на бурята, когато авроралният oval е „нормален“ или „компресиран“, началото на суббурите е на север от Апатити. Тогава виждаме движението на сиянието от север на юг.



Фиг. 5. Развитие на една суббуря на 10 март 2012 г. по избрани изображения на all-sky камерата (горе), и кеограми на all-sky камерата (долу в ляво) и GC камерата (долу в дясно)

Границата между суббурите, започнали на юг и на север от ширината на Апатити (63.86°N CGM Lat.) по стойността на SYM/H индекса в началото на суббурята, е между -40 и -50 нТ. Както изглежда, тя зависи най-вече от степента на геомагнитното смущение (което може да се изрази чрез минималната стойност, достигната от индекса SYM/H) и от отдалечеността по време на началото на суббурята от него. Вероятно влияние оказва и продължителността на фазата на възстановяване.

Максималната относителна интензивност в зрителното поле на GC камерата е по-голяма за суббури, възникнали на юг от Апатити, и значително по-малка за суббури, започнали около зенита или на север от станцията.

Заключения

На основата на тези резултати и разсъждения достигаме до следните заключения:

- Суббурите, възникващи през главната фаза на геомагнитната буря или близо до максималното й развитие във фазата на възстановяване, започват на юг от Апатити (63.86°N CGM lat.) и се наблюдава движението на полярния край на суббуровата изпъкналост на север.
- При суббури през фазата на възстановяване на геомагнитната буря или през късната фаза на възстановяване, началото е около зенита на станцията или на север от нея, и се вижда движението на сиянието от север на юг.
- Границата между двата типа суббури по стойността на SYM/H индекса е в областта 40-50 nT, и зависи от силата на геомагнитната буря и разликата между времето на началото на суббурята и времето на максималното развитие на бурята.
- Максималната относителна интензивност на суббуровите дъги в зрителното поле на камерата е значително по-висока при суббурите, възникнали на юг от Апатити.

Благодарности

Тази работа беше осъществена с подкрепата на Програма №9 на Президиума на РАН. Тя е част от работата по съвместен проект 1.2.10 между ПГИ-РАН и ИКИТ-БАН по програмата за фундаментални космически изследвания.

Благодарни сме на J. N. King и N. Papitashvili при AdnetSystems, NASA GSFC и CDAweb за предоставянето на данните от OMNI.

Литература:

1. Schrijver, C. J. et al. Understanding space weather to shield society: A global road map for 2015-2025 commissioned by COSPAR and ILWS, *Adv. Space Res.*, v. 55, 2015, pp. 2745-2807.
2. Watari, S., M. Den, Y. Kubo. Booklet of SCOSTEP-WDS Workshop on Global Data Activities for the study of Solar-Terrestrial Variability, 28-30 September 2015, [2-4], p. 22.
3. Kozelov, B.V., S.V. Pilgaev, L.P.Borovkov, V.E. Yurov. Multi-scale auroral observations in Apatity: winter 2010-2011, *Geosci. Insrum. Method. Data Syst.*, v.1, 2012, pp.1-6.
4. Gonzalez, W. D., A. L. C. Gonzalez, B. T. Tsurutani. Dual-peak solar cycle distribution of intense geomagnetic storms, *Planet. Space Sci.*, v. 38, 1990, pp. 181-187.
5. Tsurutani, B. T., W. D. Gonzalez, A. L. C. Gonzalez, F. L. Guarnieri, N. Gopalswamy, M. Grande, Y. Kamide, Y. Kasahara, G. Lu, I. Mann, R. Mc Pherron, F. Soraas, V. Vasylunas, Corotating solar wind streams and recurrent geomagnetic activity: A review. *J. Geophys. Res.*, v. 111, 2006, A07S01, doi:10.1029/2005JA011273.
6. Huttunen, K. E. J., H. E. J. Koskinen, A. Karinen, K. Mursula, Asymmetric development of magnetospheric storms during magnetic clouds and sheath regions, *Geophys. Res. Lett.*, v. 33, 2006, L06107, doi: 10.1029/2005GL024894.
7. Pulkkinen, T. I., N. Y. Ganushkina, E. I. Tanskanen, M. Kubyshkina, G. D. Reeves, M. F. Thomsen, C. T. Russel, H. J. Singer, J. A. Slavin, J. Gjerloev, Magnetospheric current systems during stormtime sawtooth events, *J. Geophys. Res.*, v. 111, 2006, A11S17, doi: 10.1029/2006JA011627,.
8. Yermolaev, Yu. I., M. Yu. Yermolaev, Statistic study on the geomagnetic storm effectiveness of solar and interplanetary events, *Adv. Space Res.*, v.37, 2006, pp. 1175-1181.
9. Webb, D. F., R. A. Howard, The solar cycle variation of coronal mass ejections and the solar wind mass flux, *J. Geophys. Res.*, v. 99, 1994, pp. 4201-4220.
10. Burlaga, L. F., L. F. Klein, L. Sheeley, N. R. Michels, D. J. Howard, R. A. Koomen, M. J. Schwenn, H. Rosenbauer, A magnetic cloud and a coronal mass ejection, *Geophys. Res. Lett.*, v. 9, 1982, pp. 1317-1320.
11. Despirak, I. V., A. A. Lubchich, A. G. Yahnnin, B. V. Kozelov, H. K. Biernat. Development of substorm bulges during different solar wind structures. *Ann. Geophys.*, v.27, 2009, pp.1951-1960.
12. Tsurutani, B. T., E. Echer, K. Shibata, O. P. Verkhoglyadova, A. J. Mannucci, W. D. Gonzalez, J. U. Kozyra, M. Pätzold. The interplanetary causes of geomagnetic activity during the 7-17 March 2012 interval: a CAWSES II overview, *J. Space Weather Space Clim.*, 4, 2014, A02, doi: 10.1051/swsc/2013056.
13. Valchuk, T. E. Solar wind and magnetic storms in the 24th Solar Activity Cycle, *Astron. Tsirkulyar*, N1585, 2013, ISSN 0236-2457.
14. Guineva, V., I. Despirak, B. Kozelov, R. Werner. Substorms over Apatity during the period of enhanced geomagnetic activity 7-17 March 2012, *Aerospace research in Bulgaria*, v. 27, 2015, pp. 43-52.
15. Starkov, G. V., Feldshtein, Ya.I. Substorms in aurorae, *Geomag. and Aeron.*, v. 11, 1971, pp. 560-562.

POSSIBLE PREDICTORS OF TYPICAL MAGNETIC STORMS DURING SOLAR CYCLE 24

**Yordan Tashev¹, Lachezar Mateev¹, Peter Velinov¹, Dimitrinka Tomova², Aleksander Bochev¹,
Anatoly Belov³, Sergey Gaidash³, Maria Abunina³, Artiom Abunin³**

¹*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*

²*Sofia University "St. Kliment Ohridsky"*

³*IZMIRAN, Troitsk, Moscow – Russian Academy of Sciences*

e-mail:yktassev@bas.bg

Keywords: Space weather, Geomagnetic storms, Magnetic clouds.

Abstract: Based on five strong geomagnetic storms with $Dst \leq -100 nT$ and five weak geomagnetic storms with $Dst > -100nT$ we studied the behavior of the basic parameters of the solar plasma: the speed, density and temperature of the solar wind, and the four components of the interplanetary magnetic field: Bx , By , Bz and Bt . The behavior has been studied for ten days before geomagnetic storms. Morphological analysis shows that before the onset of geomagnetic storms there is a change of 2 to 3 days in the field of temperature, which during strong geomagnetic storm is a sharply delineated large and sudden decline. After it the temperature remains approximately constant two to three days before the start of the storm itself. During weak geomagnetic storms such change is absent and there is a gradual decrease in temperature. So it is more difficult to determine a starting point for the stationing of temperature, which leads to more difficult determination of the onset of geomagnetic storm.

The reduction in speed may also be used as a predictor for 2 to 3 days, but there the form of the drop is even more complicated due to the exponential form of the distribution of the values of velocity in time.

These are initial studies which can not readily predict whether or not there will be a geomagnetic storm. But the fact that there is a change in the basic parameters of solar plasma before geomagnetic storms, could serve as a precursor in forecast space weather. This requires the continuation of this kind of research.

ВЪЗМОЖНИ ПРЕДВЕСТНИЦИ НА ХАРАКТЕРНИ МАГНИТНИ БУРИ ПРЕЗ 24-ТИ СЛЪНЧЕВ ЦИКЪЛ

**Йордан Тасев¹, Лъчезар Mateев¹, Петър Велинов¹, Димитринка Томова², Александър
Бочев¹, Анатолий Белов³, Сергей Гайдаш³, Артьом Абунин³, Мария Абунина³**

¹*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*

²*Софийски университет „Св. Кл. Охридски“*

³*ИЗМИРАН, Троицк – Москва, Руска Академия на Науките*

e-mail: yktassev@bas.bg

Ключови думи: Космическо време, Геомагнитни бури, Магнитни облаци.

Резюме: На базата на пет силни геомагнитни бури с $Dst \leq -100nT$ и пет слаби геомагнитни бури с $Dst > -100nT$ е изследвано поведението на основните параметри на слънчевата плазма: скорост, плътност и температура на слънчевия вятър, и четирите компоненти на междупланетното магнитно поле: Bx , By , Bz и Bt . Това поведение е изследвано за десет дни преди геомагнитните бури. Морфологичният анализ показва, че 2-3 дена преди настъпване на геомагнитните бури има изменение в полето на температурата, което при силни геомагнитни бури е рязко очертано със скок спад, след който температурата стационарира от 2 до 3 дни преди започване на самата буря. При слаби геомагнитни бури липсва такъв рязък скок, а има постепенно понижение на температурата и по-трудно може да бъде определен началния момент на стационариране на температурата, което води до по-трудно определяне на появата на геомагнитна буря.

Понижението на скоростта също може да бъде използвано като предвестник с 2 до 3 дена, но там формата на спада е още по-сложнена поради експоненциалната форма на разпределение на стойностите на скоростта във времето.

Тоев са начални изследвания, от които не може еднозначно да се предскаже дали ще има или няма да има геомагнитна буря. Но фактът, че се наблюдава изменение в основните параметри на слънчевата плазма преди геомагнитни бури, би могъл да послужи като предвестник в прогнозата на космическото време. Това изисква продължаването на този вид изследвания.

Introduction

In the contemporary conditions of the space weather study special attention is made on the sources of the Sun, the parameters of space plasma (mainly solar wind) and the magnetosphere. The sources on the Sun, such as Coronal Mass Ejections (CME), Coronal Holes (CH), Solar Flares (SF), Corotating Interaction Regions (CIR), etc. [1, 2, 3] are the main disturbances in the interplanetary medium. The interplanetary medium is characterized by the speed of the solar wind (SW) [4], the density and temperature of the space plasma, and the components of interplanetary magnetic field, respectively [5].

When studying and forecasting of the space weather a basic information is obtained from the spacecrafts SOHO and ACE, which are located in the Lagrange point L1 [6], one of the equilibrium points between the Sun and Earth, which is located at a distance of 1.5 million kilometers from Earth. In fact, the data from both satellites are the only information for prediction of the interplanetary medium, which is used in real time, in particular of the plasma flow before it interacts with the Earth's magnetosphere and forms the magnetopause. The solar plasma travels the distance between Lagrange point and magnetopause for about 1 - 1.5 hours, depending on its velocity [7]. It is too soon to predict the response of the magnetosphere and the effects in Earth's magnetic field, i.e. the geomagnetic storms.

But even in the short-term prognosis, such as one-hour forecast of geomagnetic activity, the accuracy is not always enough, and we can say it is unsatisfactory in most cases, especially during geomagnetic storms. As for the short-term forecast (of the order of three to eight days) the accuracy is more related (in most cases) with the appearance of geomagnetic storms, than to the magnitude of geomagnetic disturbances. Therefore, the monitoring of overall state of the above mentioned parameters of interplanetary medium appears an important element of its forecasting.

The task, that at first step we set ourselves, is to follow these interplanetary parameters known to us before a geomagnetic storm and to determine how they relate to each other, i.e. before geomagnetic storm, what was the behavior in SW speed, density and temperature and in the magnetic field components at the point of Lagrange L1. For this purpose we used some geomagnetic storms observed by us in the 24-th solar cycle. We made a conditional separation of geomagnetic storms into two main categories: strong geomagnetic storms with Dst index (which has a reasonable physical assessment) ≤ -100 nT and weak geomagnetic storms with $Dst > -100$ nT.

Here the storms that are examined are the following:

(1) strong geomagnetic storms on:

7-8 October 2015, 17 March 2015, 17 March 2013, 9 March 2012 and 24 October 2011;

(2) weak geomagnetic storms on:

27 August 2015, 16 August 2015, 04 July 2015, 10 and 15 July 2013.

Analysis

What does morphological analysis of graphs describe at least ten days before geomagnetic storms? First we must emphasize that all the hourly values of the interplanetary medium have been taken. Smoothing was not done because our aim is to register every change in every hour, not to track averaged behavior of the parameters.

1. Strong geomagnetic storms $Dst \leq -100$ nT

7-8 October 2015: $Ap = 65/44$, $v = 936$ km/s, $Dst = -100 / 110$ nT, $Bz = -14$ nT, $By = + 14$ nT. The most important parameter with a special behavior is ion temperature. The behavior of the temperature is characterized by sharp decrease of T from 3×10^5 to 1×10^5 K°. Then for 2.5 days the value of T oscillates around 1×10^5 K°. Such behavior has the SW velocity: from 480 km/sec it drops below 400 km/sec. This behavior change is more gradual. In our opinion, two parameters, ion temperature and velocity of SW, are connected to a common physical process. The proton flux density has a significant decrease 3 days before the geomagnetic storms - on 4 October, according the storms on October 7-8. The source which provoked the geomagnetic storm is a co-rotating interaction region with coronal holes. It causes the solar wind (SW) acceleration. A gradual decrease of the SW velocity from 500 to 390 km/s two days before the geomagnetic storm is measured. After that a jumping increase of the SW velocity appears (Fig.1).

17 March 2015: This storm is preceded by calm values of Dst, which are around 0. Bz component of 17.03. has a characteristic oscillating behavior and reaches -22 nT. The behavior of the other two components is not remarkable. The speed of the solar plasma starts to fall from 420 km/s (March 13) and reaches its minimum at 15.03. evening - about 300 km/s. This behavior of the SW flow is smooth for 2.5 days. After the minimum the velocity starts incrementally to increase. The new maximum is reached on March 17 at the beginning of the geomagnetic storm - 600 km/s. The temperature behavior of protons is interesting. On March 13 there is a sudden drop in temperature, not as in the previous days, when there are sinus-oscillations. Then for 3 days, 14-16 and at the beginning of 17 March, the temperature was kept constant low, such as it has been decreased on 13 March. Only after the onset of geomagnetic storm the temperature jumps sharply from 0.5 to 5×10^5 K°. The characteristic values are the following: Dst = -223 nT, Ap = 10⁸. The storm was triggered by CME on 15.03.2015 as a consequence of magnetic thread breaking. There are two coronal holes in the northern and southern solar hemispheres. The time interval where a temperature and velocity decrease appears, correspond probably to magnetic cloud transport [8] (Fig.2). In dependence on the magnetic cloud structure there is different behavior of the solar plasma parameters.

17 March 2013: Values of Dst = -130 nT and Ap = 72. It is caused by CME of 15 March and by coronal hole in the southern hemisphere. Solar wind speed is in the range 300-700 km / s. Before the geomagnetic storm Dst values oscillate around 0 over 6 days. Bz has a typical decrease to more than -10 nT. By has a particular behavior three days before the geomagnetic storm - there is an increase of oscillating values around 0 to 5 nT, and then there are oscillations around zero at the rate of 10 nT and even more. The change of the speed of solar wind with this storm is radically different from that in previous cases. Two days before the geomagnetic storms the speed increases stepwise, and during the storm itself increases significantly from 400 to 720 km/s. The temperature Tp of protons despite of many data gaps, emerged the following picture: from March 10 to March 14 Tp oscillates around the absolute zero. On March 14, it leaps and reaches 1×10^5 K and again on March 15 it increases to 2×10^5 K. Tp then falls back to 1×10^5 K and lasts almost two days. Despite the changed behavior of Tp with the initial jump 1.5 days before the geomagnetic storm, the scenario remains and the temperature keeps a similar behaviour as that during the previous geomagnetic storms, i.e. there is still a relative decrease in T before the geomagnetic storm. Regarding the proton flux density, we could not comment it because of lack of data and the fragmentation of their plotting.(Fig. 3).

9 March 2012: We look at the geomagnetic storm which has two stages: the first is on March 7, 2012 with Dst = -70 nT and the second geomagnetic storm is on March 9 with Dst = -130 nT. At the maximum of the storm Ap = 87. On 6.03. a frontally directed CME to Earth is observed. Bz component during the first geomagnetic storm from 7.03. jumped with +5 nT and with +10 nT and oscillated with -4 nT around 0. During the second geomagnetic storm from 9.03. there is an even greater increase in Bz from +5 nT to +25 nT. Ultimately Bz behavior is not typical but it is a problem for another study. Tp behavior of protons is similar to that, during previous geomagnetic storms, with a sharp drop of 1.5 days before the first geomagnetic storm of 7.03. For the second geomagnetic storm there are missing data. The same applies to the flux density of protons. The storm is caused by a great sunspot (Fig. 4).

24 October 2011: The minimum value of Dst is Dst = -150 nT. 7 days before the geomagnetic storm Dst values oscillate around 0 and a little below it. Bz has typical behavior with a fall during the geomagnetic storm with values -10 nT. Unfortunately, the speed and temperature of the proton flow are not full prior to and during the geomagnetic storm, so we can not do any interpretations.(Fig. 5).

Minor geomagnetic storms: Dst > -100 nT

23 and 26 August 2015: Two small geomagnetic storms are considered: weaker from 23.08.2015 with Dst = -50 nT and from 26.08.2015 with Dst = -90 nT. Bz component has standard behavior. At the first storm the decrease is 10 nT, at the second it is 11 nT. The solar plasma speed behavior shows a decrease from 450 to 350 km/s. It is continuous like by the strong geomagnetic storms. Now the duration is smaller, it is 1.5 days. After that the speed increases up to 590-600 km/s as during the first weaker storm.

The behavior of the other parameter, the ion temperature, shows a decrease, which continues 2 days but this decrease is not sharp, it is gradual. That is different from the case of strong geomagnetic storms. For the second geomagnetic storm on 26.08.15 we cannot make conclusions because the solar wind parameters – speed and temperature – are influenced by the previous storm. It is caused by coronal hole in the Southern hemisphere (Fig. 6).

16 August 2015. The next geomagnetic storm begins on 15.08.2015 and reaches maximum of development on 16.08.2015 with values Dst = -84 nT, Ap=31. It is a result of transequatorial coronal hole. The Dst values before the geomagnetic storm oscillate between 0 and -20 nT. The Bz

component behavior of the interplanetary magnetic field is standard and the decrease reaches -18 nT. It is interesting that 1 day before the storm the Bx component decreases gradually during 1 day from -2 to -8 nT.

The temperature rapidly decreases 3 days before the geomagnetic storm and oscillates near the value of 5×10^4 K. The other parameter which characterizes the interplanetary environment is the solar wind speed. It decreases gradually 2 days before the geomagnetic storm. This decrease has small gradient but it is with stable trend almost without oscillations (Fig. 7).

4 July 2015. The next relatively weak geomagnetic storm begins on 4.07.2015 and reaches its maximum on 5.07.2015. The second geomagnetic storm in relatively short time interval is on 11.07.2015 and continues with second deeper minimum on 13.07.2015. The value of Dst=-60 nT. Bz component of interplanetary geomagnetic field shows classical behavior with decrease of -10 nT for the first geomagnetic storm and -7 nT for the second. Bx and By have respectively increase and decrease and mark both geomagnetic storms.

The solar wind speed behavior is clearly expressed with decrease and stable trend without oscillations in an interval longer than 2 days before the geomagnetic storm. Before and during the first geomagnetic storm there is rapid increase of speed from 300 to 550 km/s. Similar behavior is observed also by the second geomagnetic storm in the solar wind speed. Concerning the ion temperature by the first and by the second storm there is 2-3 days decrease. But it is with smaller gradient in comparison with the strong geomagnetic storms (Fig. 8). The geomagnetic storm is generated by co-rotating interaction region coronal hole.

We consider the last two geomagnetic storms from July 2013.

10 July 2013. The first geomagnetic storm is from 10.07.2013 with minimal value of Dst = -45 nT. This geomagnetic storm is caused by slowly moving coronal mass ejection from 6.07.2013 which reaches the terrestrial magnetosphere on 10 July. The Bz behavior is not standard. There is an increase with 10 nT before the storm. The other geomagnetic field components have stochastic character and it is difficult to make concrete conclusions. Some conclusions for solar wind temperature and speed cannot be made because of lack of data (Fig.9).

15 July 2013. The second geomagnetic storm appears on 13.07. and reaches minimal values of Dst = -75 nT on 15.07.13. This storm is a result from CME shock wave periphery which passes on 13.07 near the Earth. By that storm also Bz component has not standard behavior as its values increase with more than 10 nT. The solar wind speed increases rapidly from 400 to 500 km/s 1 day before the storm.

After that the velocity decreases gradually in the period of geomagnetic storm development. One day before the geomagnetic storm begin the proton temperature decreases rapidly from 2×10^5 K to 2×10^4 K. After that the temperature remains almost constant until the geomagnetic storm maximum. The proton flux density cannot be analyzed because of lack of data during investigated period.(Fig 9).

Analysis and conclusions

In the analyzes made of the two types of magnetic storms we can make some conclusions about the three main parameters of the solar wind - speed, temperature and density. Each of them has a similar, yet differing behavior depending on whether it is strong or weak geomagnetic storm.

By strong geomagnetic storms it is clearly seen that the temperature decreased by a sharp rise by 2 to 3 days before the beginning of the storm. While the weak geomagnetic storms have again lower temperatures, but it becomes a smooth transition and the time before the storm is reduced by 1 to 1.5 days.

As regards the velocity of the solar wind - also a decrease in speed is observed, which, however, is expressed in a continuous steady trend of decrease, which may last 1-2 days before the geomagnetic storm. There are also cases of elevated speed, which has the same kind of trend, but with a rise up. Following our opinion, it depends on the magnetic cloud field whether an increase or a decrease of the velocity appears. The kind of the source of the disturbance is not so important for it. The time interval where the temperature and the velocity are decreased probably corresponds to magnetic cloud transfer. In dependence on the structure of the magnetic cloud there is different behavior of the solar plasma parameters [8].

Such temperature decreases in the solar plasma have been investigated yet in the 90s of the previous century [9]. Usually they are related to CME and the duration of these regions is 1 to 80 hours. Approximately one third of the cases present a meeting with the heliospheric plasma sheet

(HPS). Such events are observed more often at solar activity increases when HPS lies near the ecliptic. The irregular low temperatures could be related to HPS.

With respect to the SW density, it also has a similar course as the temperature, but with much internal oscillations and it can be hardly defined the start and the end of density variation of the interplanetary environment compared to the beginning of the geomagnetic storm.

The morphological analysis showed that before the onset of geomagnetic storm there is a change of 2 to 3 days in the field of temperature, which by strong geomagnetic storm is sharply outlined jump-shaped drop, after which the temperature stationed two to three days before the start of the storm itself.

In weak geomagnetic storm the surge is absent and there is a gradual decrease in temperature and it is more difficult to define a starting point for the stationing of temperature, which leads to more difficult determination of the onset of geomagnetic storm.

The reduction in velocity may also be used as a predictor of 2 to 3 days, but there the form of a drop is even more complicated due to the exponential form of the distribution of the values of velocity in time.

So established before geomagnetic storms histories of SW temperature and velocity indicate the presence of certain space-time structures that are crucial for the impact on the Earth's magnetosphere and on the Earth in general.

These structures are important also for the impact of such cosmological factors as galactic cosmic rays and solar energetic particles on the Earth environment. They can play the role of a lens for focus and defocus of the above mentioned factors [10, 11].

References:

1. Плазменная Гелиогеофизика, под ред. Л.М. Зеленного и И.С. Веселовского, Москва, Физматлит, 2008, т.1 и т.2.
2. Heliophysics, Space Storms and Radiation: Causes and Effects, Edited by Carolus J. Schrijver and George L. Siscoe, Cambridge University Press, 2010.
3. Heliophysics, Evolving Solar Activity and the Climates of Space and Earth, Edited by Carolus J. Schrijver, George L. Siscoe, Cambridge University Press, 2010.
4. Suzuki, T.K., 2006, Forecasting solar wind speeds, *The Astrophysical Journal*, March 20, 640: L75-L78,
5. Koskinen, H.E.J.. Physics of Space Storms from the Solar Surface to the Earth, Published in association with Praxis Publishing, Chichester, UK, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011.
6. <http://www.space.com/30302-lagrange-points.html>
7. Bothmer, V., I. Daglis, Space Weather – Physics and Effects, Springer, Praxis Publ., Chichester, UK, 2007.
8. Bothmer, V., R. Schwenn. The Structure and Origin of Magnetic Clouds in the Solar Wind. *Ann. Geophysicae* 16, 1-24 (1998) , EGS , Springer-Verlag, 1998.
9. Richardson, I.G., H.V. Cane , 1995. Regions of Abnormally Low Proton Temperature in the Solar Wind (1965–1991) and their Association with Ejecta. *J. Geophys. Res.*,100 (A12):23397-23412.
10. Singh, S., A. Pandey, K. Singh, A.P .Mishra. Characteristic Features of Geomagnetic Storms Observed During Maxima of Solar Cycle 24, 2013. *International J. Physics and Astronomy*, 26, 1, 1103-1110.
11. Echer, E., W. D. Gonzalez, B. T. Tsurutani, A. L. C. Gonzalez, 2008. Interplanetary Conditions Causing Intense Geomagnetic Storms ($Dst \leq -100$ nT) during Solar Cycle 23 (1996–2006). *J. Geophys. Res.*, 113, A05221, doi:10.1029/2007JA012744

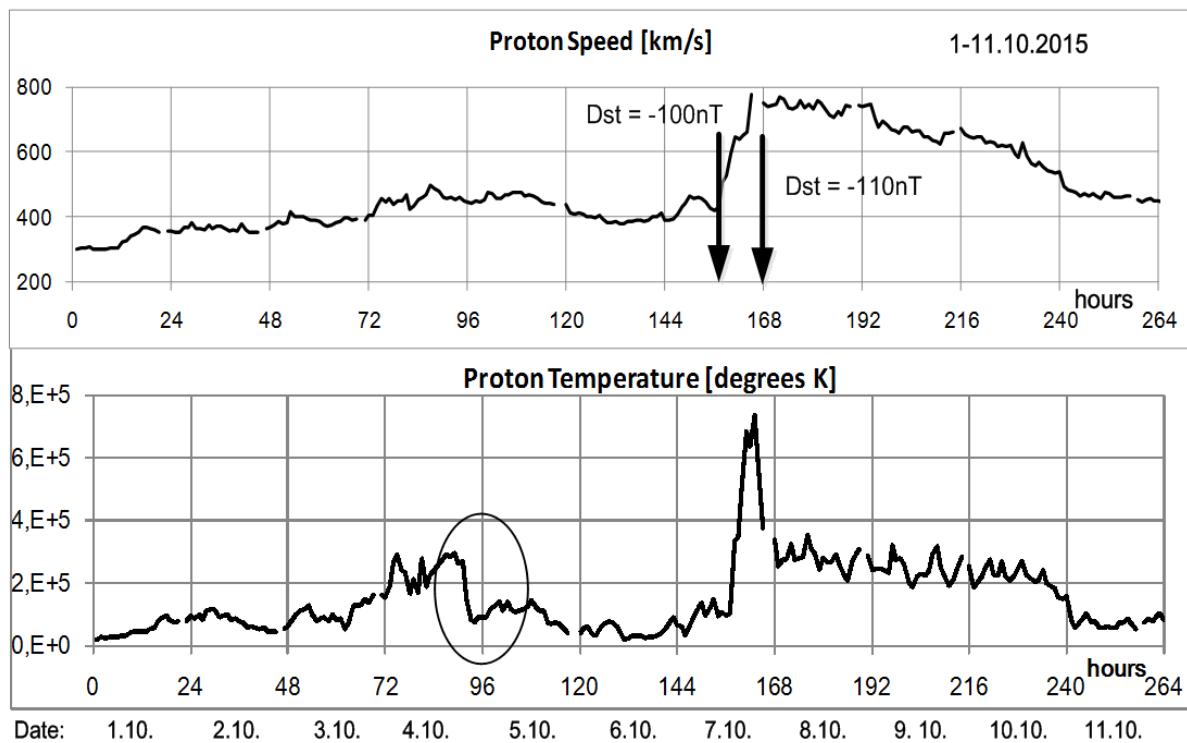


Fig. 1. Behavior of both basic solar wind characteristics, velocity and temperature, before and during the geomagnetic storm from 7 and 8 October 2015 with minimal $Dst = -110$ nT. Most evident is the sudden decrease of temperature, for hours (it is shown with ellipse over the temperature course), and after that almost permanent keeping of low T values. All values are measured every one hour.

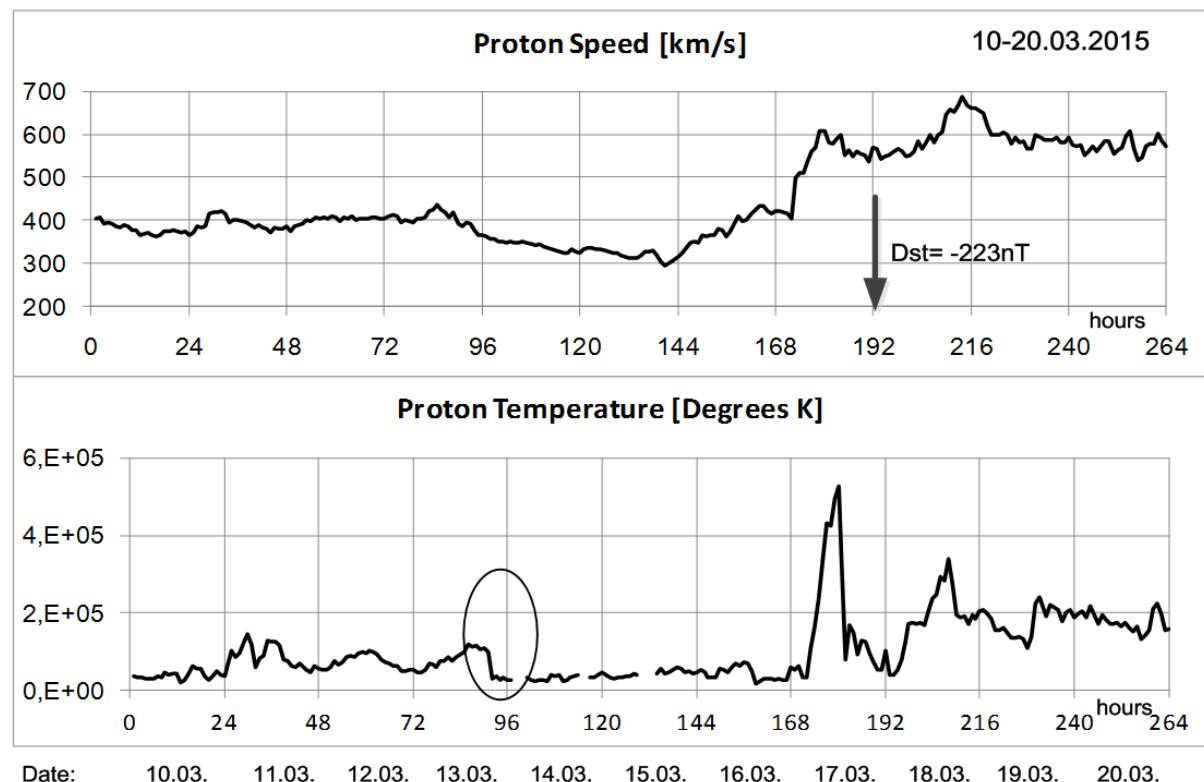


Fig. 2. Behavior of both basic solar wind characteristics, velocity and temperature, before and during the geomagnetic storm from 17 March 2015 with minimal $Dst = -223$ nT. Most evident is the sudden decrease of temperature, for hours (it is shown with ellipse over the temperature course), and after that almost permanent keeping of low T values. All values are measured every one hour.

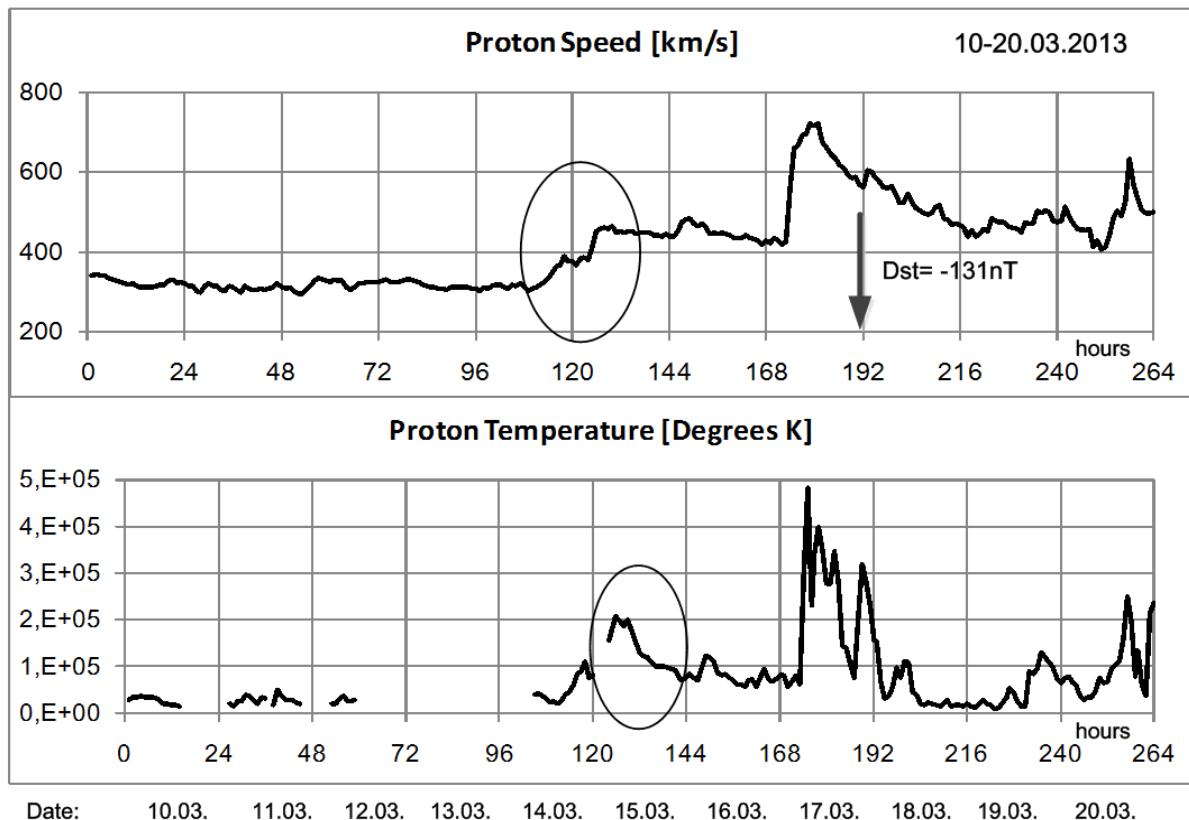


Fig. 3. Behavior of both basic solar wind characteristics, velocity and temperature, before and during the geomagnetic storm from 17 March 2013 with minimal $Dst = -131$ nT. Most evident is the sudden decrease of temperature, for hours (it is shown with ellipse over the temperature course), and after that almost permanent keeping of low T values. All values are measured every one hour.

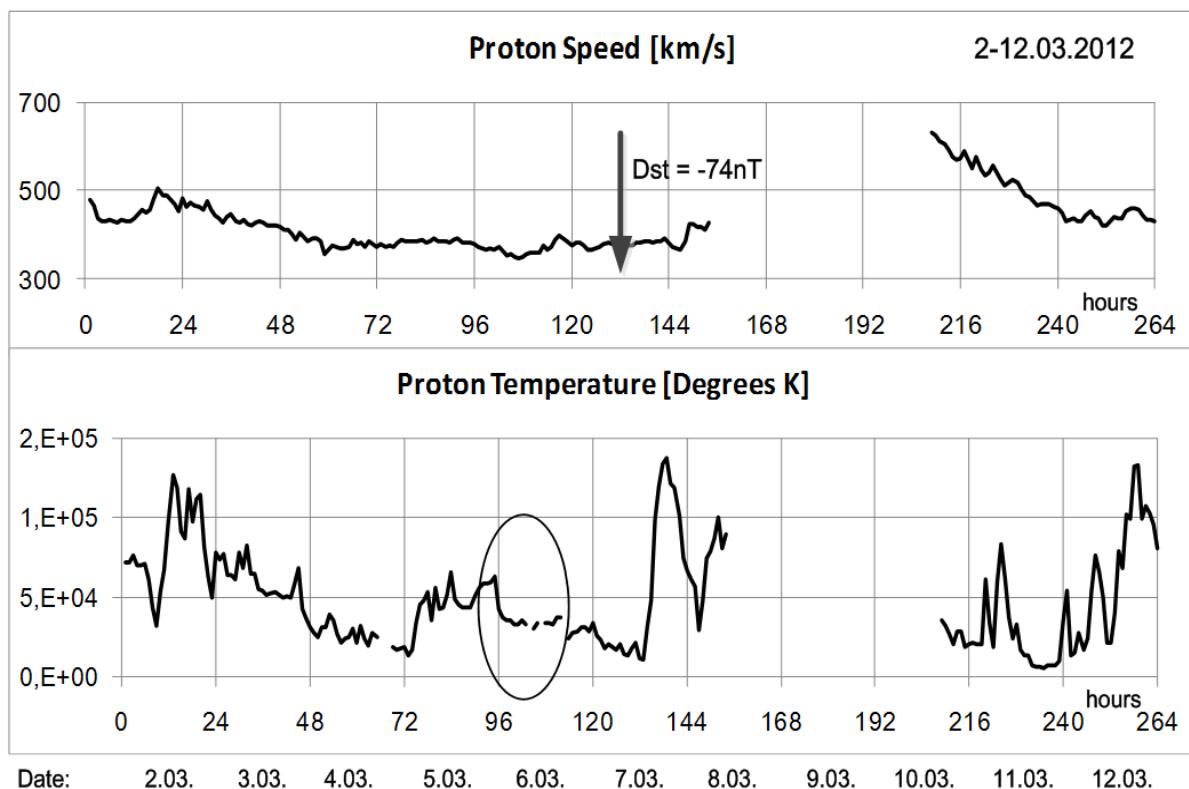


Fig. 4. Behavior of both basic solar wind characteristics, velocity and temperature, before and during the geomagnetic storm from 7 March 2012 with minimal $Dst = -74$ nT. In the temperature course the decrease is observable (it is drawn with ellipse).

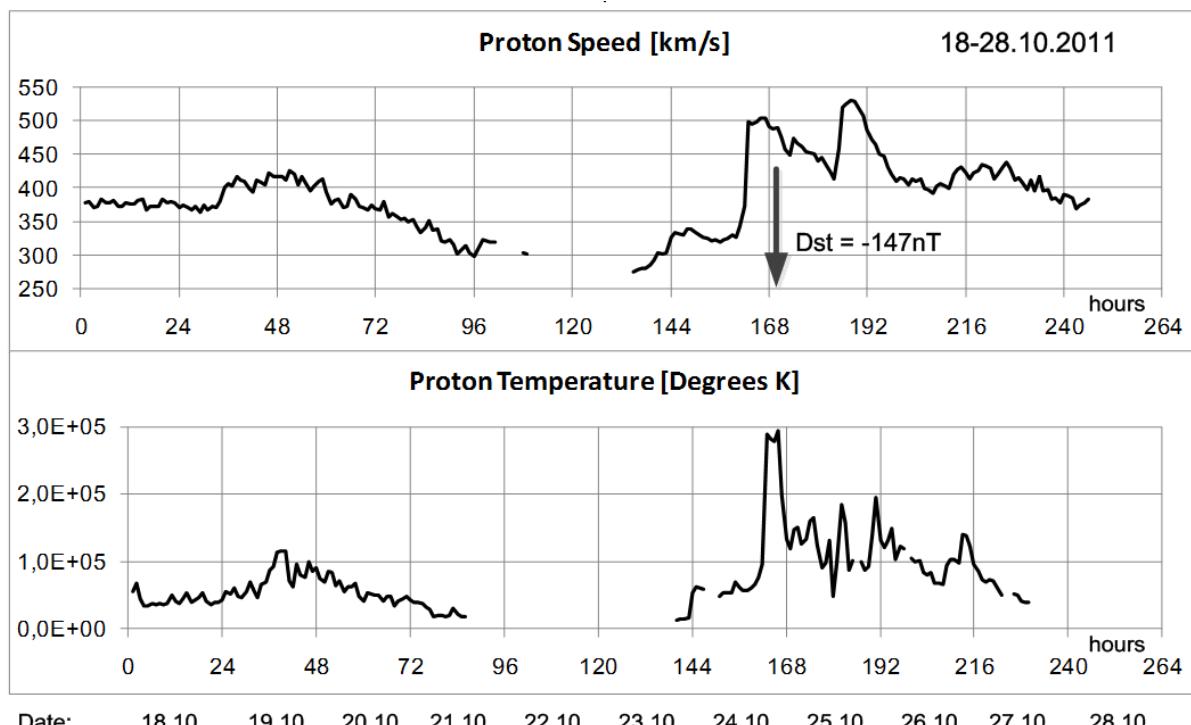


Fig. 5. Behavior of both basic solar wind characteristics, velocity and temperature, before and during the geomagnetic storm from 24 October 2011 with minimal $Dst = -147$ nT. In both parameters some decreased values before the storm are observed. Because of lack of data it can not be affirmed categorically.

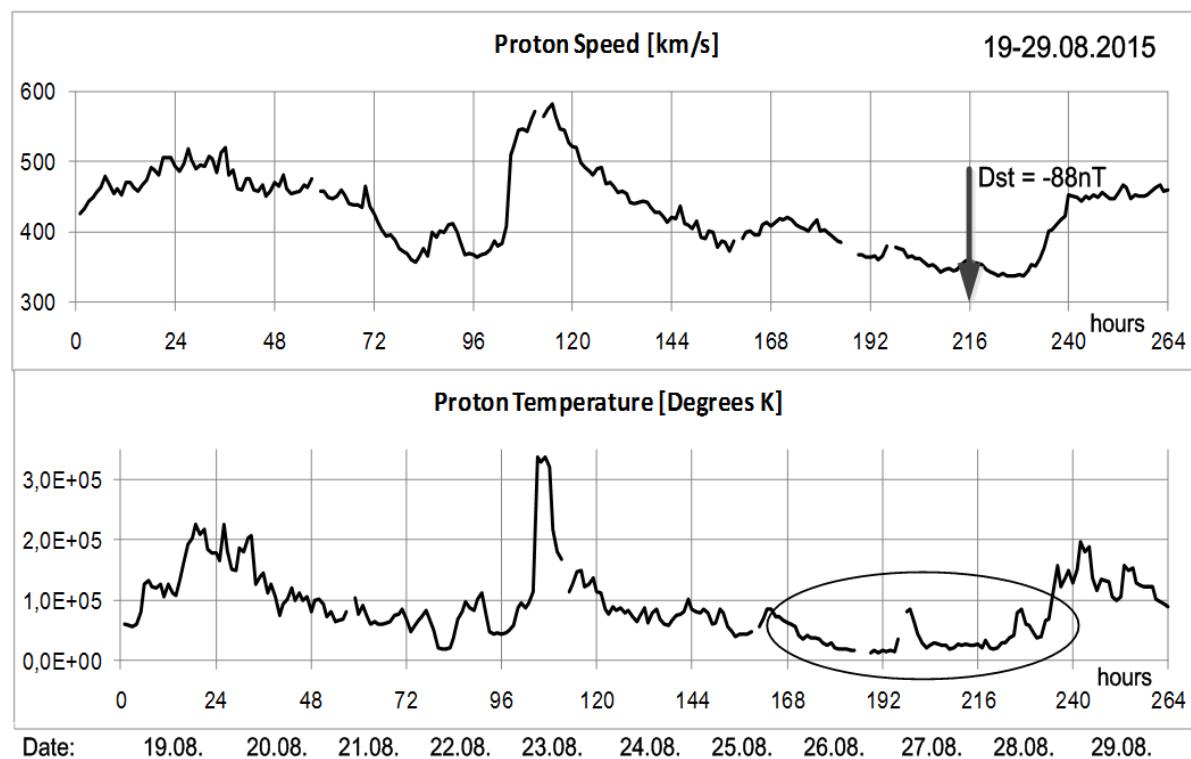


Fig. 6. Behavior of both basic solar wind characteristics, velocity and temperature, before and during the geomagnetic storm from 27 August 2015 with minimal $Dst = -88$ nT. This is a weak geomagnetic storm, but before the storm some low temperature values are also observed (drawn with ellipse).

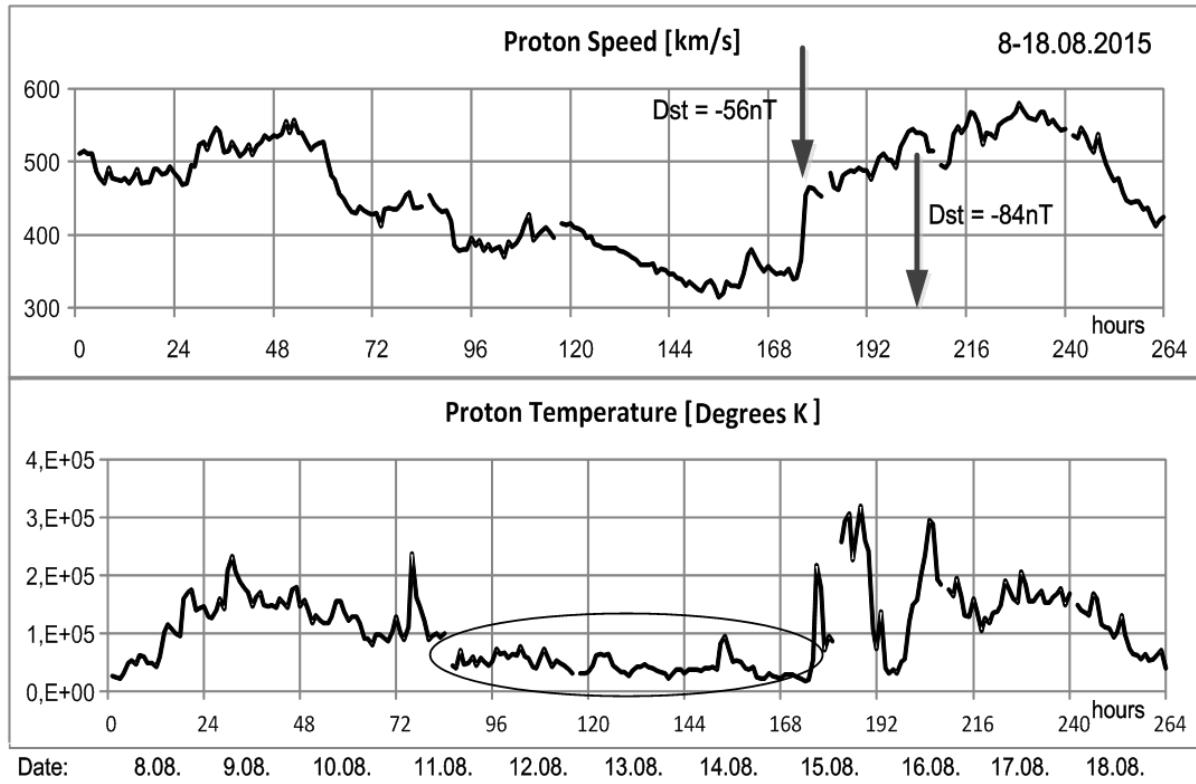


Fig. 7. Behavior of both basic solar wind characteristics, velocity and temperature, before and during the geomagnetic storm from 15 August 2015 with first minimum $Dst = -50$ nT and second minimum on 16.08. with $Dst = -84$ nT. The low temperature values are clearly seen three days before the geomagnetic storm (drawn with ellipse).

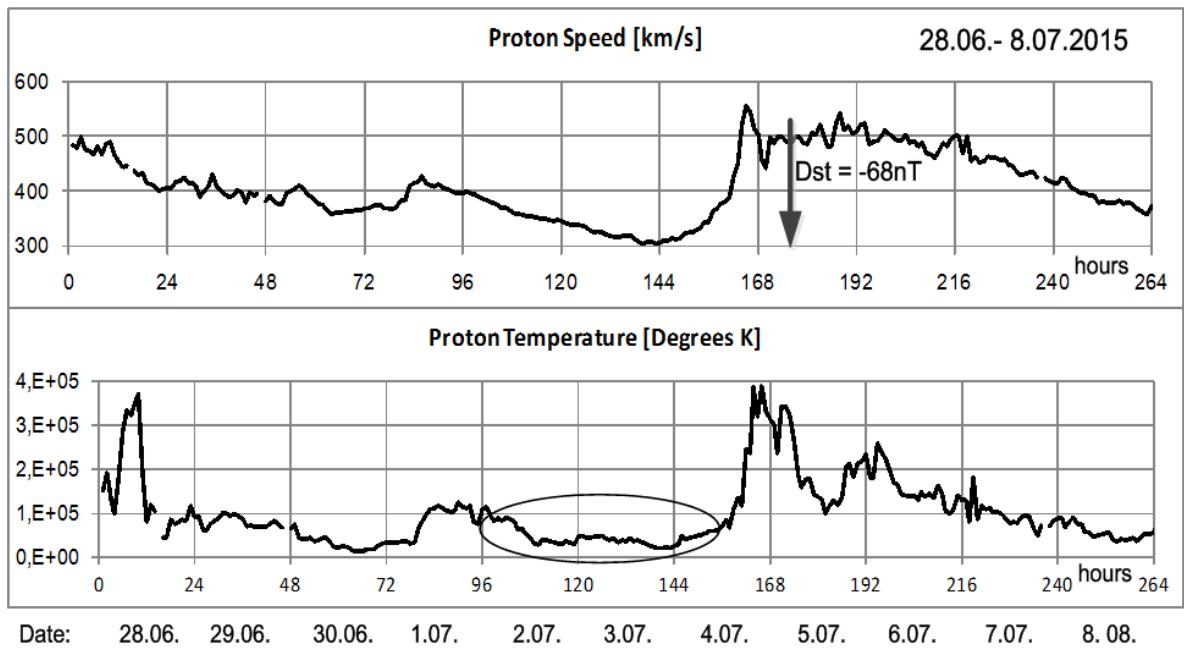


Fig. 8. Behavior of both basic solar wind characteristics, velocity and temperature, before and during the geomagnetic storm from 04 July 2015 with minimum of $Dst = -68$ nT. The low temperature values are clearly seen two and a half days before the geomagnetic storm (drawn with ellipse).

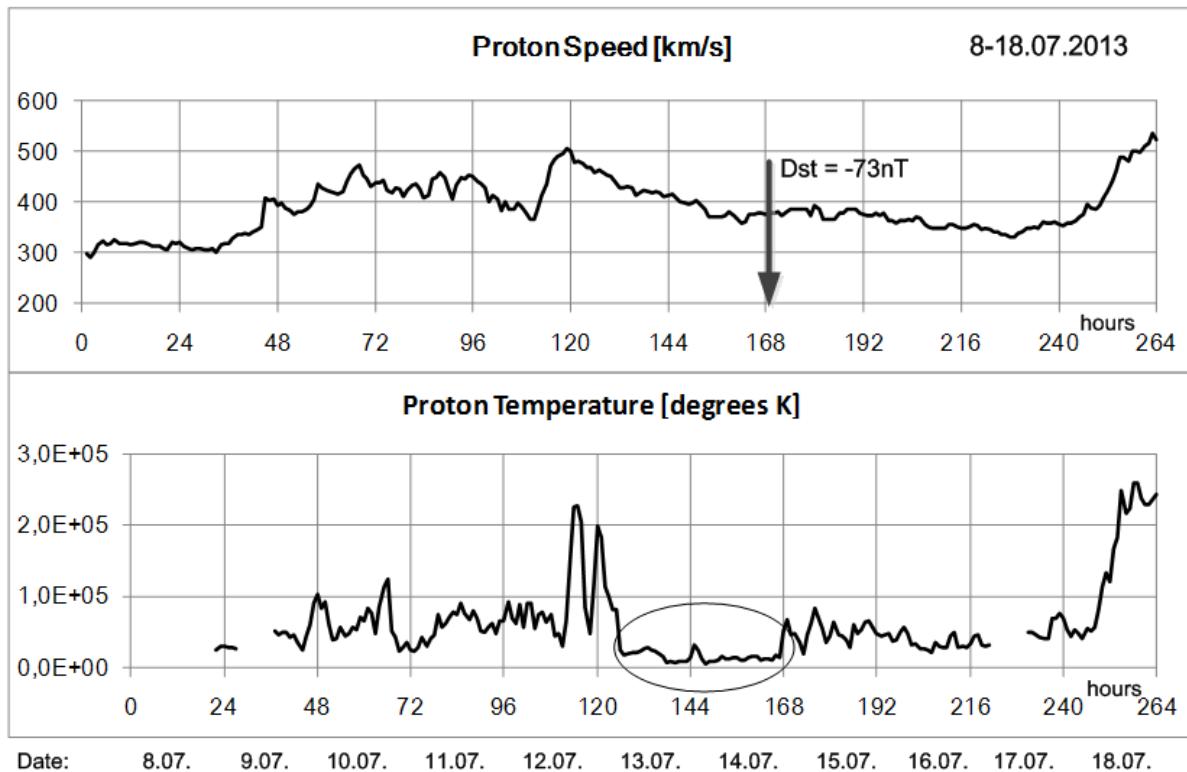


Fig. 9. Behavior of both basic solar wind characteristics, velocity and temperature, before and during the geomagnetic storm from 15 July 2013. A more complex behavior is shown because before that there is also one weak geomagnetic storm on 10. July. However there is a temperature decrease and stationing two days before the geomagnetic storm from 15.07. (drawn with ellipse).

ПОЛЯРИМЕТРИЯТА КАТО ИНСТРУМЕНТ ЗА АНАЛИЗ НА НЕЛИНЕЙНОТО ПОВЕДЕНИЕ НА АКРЕЦИОННИ СИСТЕМИ

Красимира Янкова

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

Ключови думи: Акреционен диск, Магнито-хидродинамиката (MHD), Поляриметрия

Резюме: В поредица от статии е разработен MHD модел на нестационарен акреционен диск [4]. В тази статия проучваме методите на поляризация подходящи за нашето теоретичното изследване на намагнитизиран диск. Целта да се използва поляризацията на светлината на източника за инструмент за интерпретация на наблюденията и определяне на механизмите и процесите в тези източници. Дискутира се как се използва поляриметрията в анализа на структурата на акреционния поток.

POLARIMETRY AS A TOOL FOR ANALYZING NONLINEAR BEHAVIOR ON THE ACCRETION SYSTEMS

Krasimira Yankova

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

Keywords: Accretion disc, MHD, Polarimetry

Abstract: In series of papers we have developed MHD model of non-stationary accretion disc. In this paper we are exploring methods polarization suitable for us theoretical investigation of the magnetizing disk. Aim is to use the polarization of the sources, to instrument for interpret the observations, and defining the mechanisms and the processes in these sources. Discussed how we do used polarimetry to analyze the accretion flow structure.

Въведение

От известно време има добра тенденция да се търси обединен модел на AGN. Микролещите са удобни за изследване на отдалечени източници и в комбинация с неатмосферни обсерватории предоставят изключително мощен метод за изучаване на въртенето на дисковете и картиране на компактния региона в ядрата на галактиките. Група от 140 (сто и четиридесет) [1] автори стартирала програма за наблюдение, чито основни изводи са, че без значение от приемащата галактика, ядрото квазар показва една и съща структура и подобен механизъм на развитие и различията са резултат от различните нива на акреция, маса и посока на наблюдение.

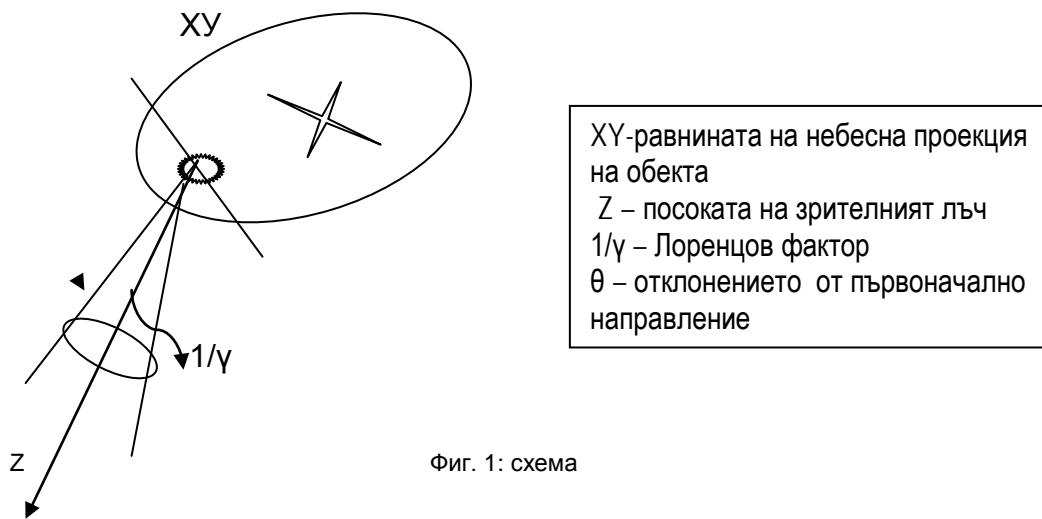
Съвременната астрономия е позволила да се регистрират квазари в ядрото на всички известни спирални галактики, включително нашата собствена (спящ). Тези източници показват изключително сходна структура: инфрачеврвения централен тор заедно с черната дупка с високо магнитно поле (до 30 гауса) и дисипативна област в непосредствена близост – акреционния диск (~ 650 Швардцшилдови радиуса).

Области на интерес: микроструктури и мащабна геометрия

Бъдещо развитие на модела, адаптация за числено изследване във връзка с новия инструментариум.

Теория на Метода на поляриметрията

Поляриметрията се базира на измерване на ефектите от поляризацията на светлината в наблюденията на космическите обекти. В основата на методите на измерване стои схемата показана на фиг 1. За реализиране на измерването, е необходимо да се изчислят параметрите на Стокс (1) за да се определи вида и степента на поляризация (%).



Фиг. 1: схема

Основните видове поляризация са линейна и кръгова, но най-често в наблюденията е смес от тези състояния, което означава елептична и частично поляризирана светлина:

$$(1) \quad I = \langle E_x^2 \rangle + \langle E_y^2 \rangle$$

$$Q = \langle E_x^2 \rangle - \langle E_y^2 \rangle$$

$$U = 2 \langle E_x E_y \cos \delta \rangle$$

$$V = 2 \langle E_x E_y \sin \delta \rangle$$

Ако приеме че е в сила връзката между амплитудите $I=E^2$ за интензитета и полето [3]. Ориентацията на елипсата може да се оцени и от амплитудната връзка на полетата $B=E/c$. Където B и E са магнитното и електрично поле съответно, ($I Q U V$) – параметрите на Стокс, а δ е фазовата разлика.

За степента на поляризация P може да се определи като мярка за изменение от пълния интензитет

$$(2) \quad m_p = \frac{I_p}{I}$$

За микроскопична поляризация (оптично плътна среда) $I^2=Q^2+U^2+V^2$ и могат да се определят от параметрите на Стокс степените на кръгова и линейна поляризация, съответно:

$$(3) \quad m_L = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I}, \quad m_C = \frac{V}{I}$$

В астрофизични системи те не надвишават $m_L \leq 20\%$ $m_c \approx 1\%$.

Анализ на теоретичният инструментариум

AGN има качеството да излъчва в целия спектър от радиодиапазона до γ -ray, емисиите са силно променливи и съответно богато информативни.

- В различните части на спектъра наблюденията позволяват различен подход за анализ:
- В радио спектъра поляризационният компонент се конвертира в електро напрежение и може да се обработват по електронен път изменениета в пълната амплитуда и фазата на радио-светлината.
- В оптичните наблюдения изследването се концентрира върху интензитета на светлината, като в детектора се ползват спомагателни оптични елементи.
- Във високите енергии е възможно предимно фото електронно проследяване за отделни линии или ограничени енергийни ленти. Поляризацията от разсейване на Томсън (оптично пътна среда), прав и обратен ефект на Компън (оптично тънки среди).

Спектрополяриметрията може да се използва по целия спектър, тъй като тя борави с конкретна дължина на вълната. Тя особено ефективно експлоатира ефекта на Зееман понеже компонентите на разцепената линия имат различна степен на поляризация, понякога и различен вид на поляризация.

В случаи на външно магнитно поле по ротацията на Фарадей може да се съди за строежа на плазмата в него.

Изменението на степента на поляризация е сигнал за изменение на структурата на обекта от които идва поляризационната картина.

Поляриметрията дава качествена информация за границите между елементите на квазара чрез вариациите в степента на поляризация там.

Спектрополяриметрията може да оцени дори разпределението и размерите на елементи (вихрови частици) от вътрешния строеж на акреционния компонент и да локализира относителното им движение в потока, чрез разликите в степените на поляризация в различните линии.

Заключение

В заключение можем да отбележим че полариметрията е мощен инструментариум с множество приложения. Резултатите могат да бъдат тълкувани лесно което е съществено предимство. Развитието на модела [4] в бъдеще ще е съгласувано с възможностите които метода предоставя за разгръщане на нашето изследване.

Литература:

1. Abdo, A. A. *et al.* 2009, The Astrophysical Journal Letters, Volume 707, Issue 2, pp. L142-L147 (2009).
2. Stecker, F.W., Astroparticle Physics 35 (2011) 95-97, <http://arxiv.org/abs/1102.2784v6>
3. Trippe, S., Department of Physics and Astronomy, Seoul National University, Seoul 151-742, South Korea <http://arxiv.org/abs/1401.1911v1>
4. Yankova, Kr., MHD of accretion-disk flows, <http://www.astro.bas.bg/AIJ/issues/n22/KYankova.pdf> Bulgarian Astronomical Journal, Yankova Kr., Vol. 22, p. 83, 2015. (Review)

MEASUREMENT THE POLARIZATION PARAMETERS OF HIGH - ENERGY PROCESSES IN BINARY STARS

Daniela Boneva, Lachezar Filipov

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: danvasan@space.bas.bg, lfilipov@space.bas.bg

Keywords: Stars; Binary stars; Accretion; polarization;

Abstract: We presented high-energy processes in two binary stars. Flares are detected by analysing the corresponding light curves. The energy spectrum is received for the duration of active states in these stars.

We have studied the emission properties, as applying polarimetry methods on the high-energy events.

The results reveal significant variations in the polarization parameters of selected binaries for the period of flares activity.

ОЦЕНЯВАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ПОЛЯРИЗАЦИЯ ПРИ ВИСОКО ЕНЕРГЕТИЧНИ ПРОЦЕСИ В ДВОЙНИ ЗВЕЗДНИ СИСТЕМИ

Даниела Бонева, Лъчезар Филипов

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

Ключови думи: Звезди; Двойни звезди; Акреция; Поляризация;

Резюме: В настоящата работа представяме високо-енергетични процеси при две двойни звездни системи. След анализиране на кривите на блясъка на изучаваните двойни, се разкрива активиране на проблясъци в резултат на изхвърляния на материя. Получени са енергетичните спектри на тези звезди за периодите на активно състояние.

Чрез прилагане на методи на поляриметрията са изследвани свойствата на излъчването на високо-енергетичните процеси.

Резултатите показват значителни изменения в поляризационните параметри по време на активиране на избухвания при двойни звезди.

Introduction

High-energy processes in astrophysical objects are associated with the phenomena, which include for example the acceleration of charged particles to very-high energies in flares or jets (from protoplanets to active galactic nuclei), or the scattering of radiation in highly aspherical distributions of matter, resulting from the effects of strong magnetic and/or gravitational fields.

Binary stars are dynamically active systems and it is related to tidally interacting processes between two stars, as well as the following mass transfer, structural transformations, flickerings and bursts. In this survey we investigate the features of flares and bursts by polarization modeling on the flares emission properties in binary stars. The flares appear ordinarily in systems with accretion discs in time scales of hours to days, with amplitudes in a range of 1 - 3 magnitudes. On the other hand, van Paradijs, van Amerongen and Kraakman [10], performed five-colour observation and demonstrated that the flares occur throughout the whole orbital period with the rise time ~ 100-200 s. AE Aqr and they found that the light curve of this CV exhibits large flares on timescales of about 10 minutes. Bruch and Grutter [3] found that the strong flares could be also phase dependent.

A repeated variability in the brightness could affect to the degree of polarization. Churazov et al. [4] proposed X-ray polarization as a mechanism to probe the flarings and the resulting, reprocessed X-ray should be polarized. The polarisation could appear as patterns in all of the above cases, as it depends mainly on the properties of radiation and geometry of the source. We investigate

the polarized emission properties of accreting binary star systems. The observational data of γCas and SS Syg are applied.

Models and methods of polarimetry

The known relations of Poincare-Stokes vectors are applied in the current calculation. Four Stokes parameters S_0 , S_1 , S_2 , S_3 and Poincare vector P , of polarization - characterize the intensity and polarization of the emission [4], [8], [9]. For measurement of Stokes parameters a Cartesian coordinate system (x , y , z) is used where x and y are perpendicular to the direction of light propagation z . If E_x , and E_y are the electric field components in the x and y directions, and $I(\phi)$ is the intensity of light polarized in the direction ϕ to the x axis (see Eqs. 1 – 4).

$$(1) \quad I = S_0 = I(0^\circ) + I(90^\circ) = \langle |E_x|^2 \rangle + \langle |E_y|^2 \rangle$$

$$(2) \quad Q = S_1 = I(0^\circ) - I(90^\circ) = \langle |E_x|^2 \rangle - \langle |E_y|^2 \rangle$$

$$(3) \quad U = S_2 = I(45^\circ) - I(135^\circ) = \text{Re} \langle E_x E_y \rangle$$

$$(4) \quad V = S_3 = I_{RHC} - I_{LHC} = \text{Im} \langle E_x E_y \rangle$$

However, the polarization state is completely determined by the three ratios S_1/S_0 , S_2/S_0 , S_3/S_0 which are known as the relative Stokes parameters. They have possible values between -1 and +1.

The following equations are used for calculation the degree of polarization (the ratio of polarized to total intensity). Degree of polarization P :

$$(5) \quad P = \sqrt{(S_1^2 + S_2^2 + S_3^2)/S_0}$$

Degree of circular polarization P_C :

$$(6) \quad P_C = S_3 / S_0,$$

where P_C is positive for right-handed circular polarization and negative for left-handed circular polarization.

The Poincare vector of polarization is given by:

$$(7) \quad P_i = S_i / S_0, \text{ where } i = 1,2,3$$

We also employ the modeling and code of Goosman and Gaskell [6], and Marin et al. [8] on the estimation of polarization properties of the flares emission. Their code is based on the Monte Carlo method for modeling polarization produced by absorption, reemission and scattering in many astrophysical situations. They have studied the relation between spectral flux, polarization in percentage P [%] and the polarization position angle and the photon energy. They have considered those as a function of the observer's inclination and the dependence of disc inclination i . In the case, when the viewing angle i is increasing, the reflected radiation coming from perpendicular surfaces is produced by scattering. This leads to decreasing the Stokes flux for the perpendicular polarization component.

To make a clearer view, attached to the modeling, we suggest a schematic algorithm of the processes. The flares-up activity in the selected binary is in a relation with variations in the flow density level. The transformed flux structure gives rise to polarization variations in the optical and near-infrared bands and the polarization degree could change significantly.

By the initial conditions the variable polarization's states could be the result of synchrotron radiation from the forming bursts. Then an elliptical or circular polarization is established there.

In the high-energy processes the stronger emission intensity is observed. The measurement of this intensity is associated with the calculation of Stokes parameters. In the next step we can define the degree of polarization.

Results of observational and theoretical considerations.

An expression of the flow dynamics could be detected as the brightness variability of some CVs and Be/X stars. A small number of systems, including γ Cas, MV Lyr, SS Cyg, GK Per and AE Aqr, exhibit stochastic brightness fluctuations. Flares could be detected at the light curve shapes of these binaries. The modeling prediction gives the polarization degree of the next two binaries, according to their light curves and energy spectrum.

There is strong evidence in the light curve's shape for the production of bursts in SS Cyg. SS Cyg is one of the optically brightest DN (dwarf nova). This can be the result of dynamically unstable processes in accreting flow around the primary. Its energy spectrum is expressed at (Fig.1a). During the bursts activity of this binary, the degree of polarization varies and at the higher rate of P this value is normalized to 1 (Fig.1b). The variations of P are in a relation with the maximum energy value of the burst's emission, inclination and the polarization position angle.

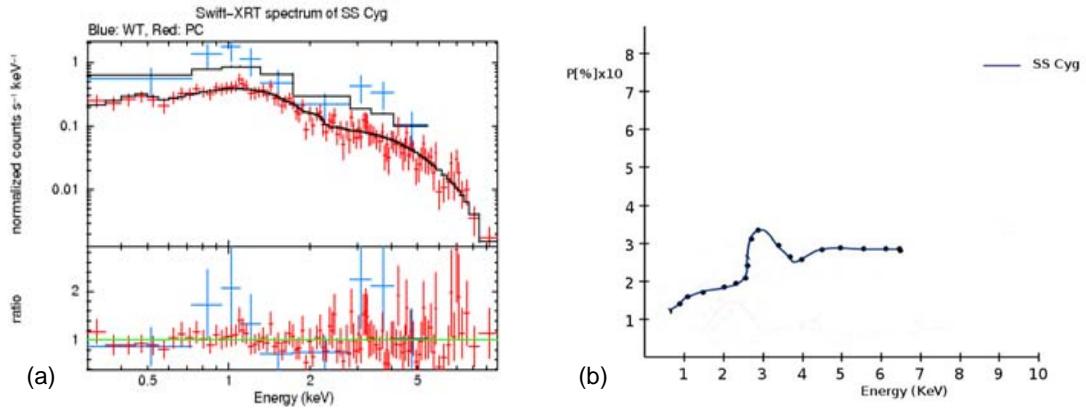


Fig. 1. Energy spectrum, PC mode of SS Cyg (Swift-XRT generator, Evans et al. 2009)) (1a). Polarization degree (P) during the bursts activity of SS Cyg (1b) [1].

The accumulation of mass transferred to the surface of the white dwarf from the giant star through an accretion disc eventually triggers an outburst activity.

Further, we develop our study of the binary star γ Cas (Cassiopeia), which is of Be/X stars type. Typical X-ray luminosities of Be/X-stars are $\sim 10^{34} \div 10^{39}$ erg/s. The most common suggestion is that the emission comes from accretion from the Be star wind or disk [11]. In Kaygarodov et al. [7] we make an assumption that the X-ray emission is due to the accretion of matter by neutron star with mass $\sim 1 M_{\odot}$. There the relationship between X-ray luminosity and accretion rate is determined. As we have already said in [2], the higher luminosity rate, in the result of flares could affect on the polarization degree. This suggestion is shown at Figures 2 (a,b).

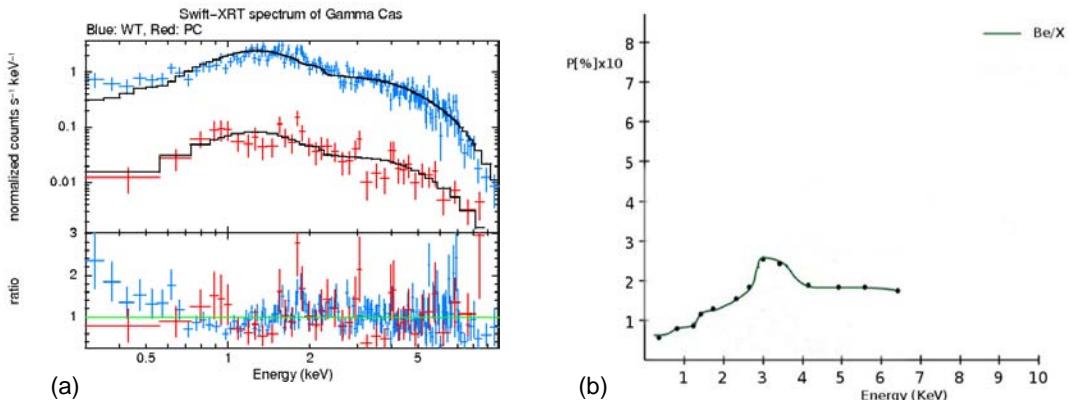


Fig. 2. Swift-XRT energy spectrum, PC mode of γ Cas (Be/X) (Swift-XRT generator, Evans et al. 2009 [5]) (2a). The high accretion rate here could give rise to the X-ray luminosity ($10^{34} \div 10^{39}$ erg/s). Polarization degree (P) variations during the flares activity of γ Cas (Be/X) (2b) [1].

The high-energy peculiarities include an X-ray light curve that varies on several timescales ranging from seconds to 2–3 months. We have already shown this in [1] and [2].

Conclusion

We report observations of the flare-ups and burst activity as seen at the light curve's shape of the studied binaries. Each of the events, which we have identified as flares, has a characteristic stellar flare profile. This means a sharp rapid rise to maximum followed by a quasi - exponential decay. In these two classes of compact binaries, presented in the section “Results”, some difference between the flickering is detected. The difference could be caused by physical properties of the accreting flow, as well as by the dominating flickering mechanism or their orbital periods.

The polarimetry methods to detect the active emission processes in binaries are applied. It is revealed a high polarized emission and the polarization degree variations during the high-energy processes in the studied binaries

Acknowledgments:

- Part of the results are presented at the COST action MP1104 by the COST support
- This work made use of data supplied by the UK Swift Science Data Centre at the University of Leicester.
- The authors thank the AAVSO (American Association of Variable Star Observers) to provide the data of Light Curve Generator, contributed by observers worldwide and used in this research.

References:

1. Boneva, D., 2014, COST workshop: X-Ray polarization in astrophysics, <http://ttt.astro.su.se/groups/head/cost14/talks/Boneva.pdf>
2. Boneva, D., 2015, Methods for exploring the dynamical processes in binary stars systems, Proceeding of 10th SENS, pp.
3. Bruch, A., & Grutter, M. 1997, AcA, 47, 30
4. Churazov, E., Sunyaev, R., & Sazonov, S. 2002, MNRAS, 330, 817
5. Evanse, P. A. et al., 2009, MNRAS, 397, 3, p.1177
6. Goosmann, R. W. & Gaskell, C. M. 2007, A&A, 465, 129
7. Kaygarodov, P.V., Bisikalo, D.V., Kononov, D.A., Boneva, D.V.: 2013, AIPC, 1551, pp. 46-52
8. Marin, F., Karas V., Kunneriath D., and Muleri F., 2014, MNRAS, 441, 3170
9. Molinari, S., Bally, J., Noriega-Crespo, A., et al. 2011, ApJL, 735, L33
10. van Paradijs J., van Amerongen S., Kraakman H., 1989, AASS, vol. 79, 2, p. 205-215
11. White, N. E., Swank, J., et al. 1982, ApJ, 263, 277W

DEVELOPMENT CLASSES OF OBJECTS' DESCRIPTORS FOR SPACE MISSIONS SIMULATION

Atanas Atanassov

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: At_M_Atanassov@yahoo.com

Keywords: parallel calculations, pool of threads model; multi-physic models simulations.

Abstract: Object-oriented programming is powerfull modern approach for development of flexible programming tools. Some classes of objects applied in program system for space mission and simulation of experiments are presented. The aim of development of such classes of objects is approaching flexibility related to calculation's organization. Every class represents pattern for creation of objects' descriptors. Code fragments and application of developed classes of objects are shown. Classes of objects for description of ordinary differential equation systems integrators, situation problems solvers, initial values problems union of parallel tools and other are developed on the present stage.

РАЗРАБОТКА НА КЛАСОВЕ ОТ ДЕСКРИПТОРИ НА ОБЕКТИ ЗА СИМУЛИРАНЕ НА КОСМИЧЕСКИ МИСИИ

Атанас Атанасов

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: At_M_Atanassov@yahoo.com

Резюме: Обектното програмиране е мощен съвременен подход за разработка на гъвкави програмни средства. Разгледани са няколко класа обекти използвани в рамките на програмна система за симулации на космически мисии и експерименти. Целта на разработката на тези обекти е да се постигне гъвкавост по отношение на организацията на изчисленията. В случая всеки клас представлява шаблон за създаване на дескриптори на обекти. Показани са кодови фрагменти и реализации за използване на разгледаните обекти. На този етап са разработени класове за описание на интегратори на системи от диференциални уравнения, процесори за решаване на ситуационни задачи, обединения на паралелни инструменти и други.

Introduction

Technological developments of computers provide more calculation powers for scientist-designer in field of space investigation. This allows development of more complex models and execution in details of simulations without necessities from special deduced computer architectures.

One modern concept for complex and reusable software development is based on object oriented programing approach. Object programing offers possibilities for broader abstractions related to new user-defined data types and applied appropriate data processing methods. Every object has specific properties which distinguishes it from other objects. These properties could be described through complex user-defined type. A simulation model formed on the base of some types of objects is possible to be executed numerous times through different changeable scenarios.

The better using of growing calculation power could be achieved through increasing flexibility of developing software and development of possibilities for easily definition of new tasks in the frames of appropriated objects field.

Algorithms and program system for multi-satellite missions simulation is under development in STIL-BAS, branch in Stara Zagora. The recently improving of the system flexibility and possibilities for simulations based on complex physical-mathematical models are shown in the present report.

Basic tasks in the frame of the program system for space experiments' simulation

The basic tasks provided for solving was [1]:

- Numerical integration of satellites motion equations.

- Calculation of different geometrical and physical parameters of the environment along the orbits.
- Situation analysis - calculation of time intervals appropriated for satellite measurements according to specific constraints.
- Active satellite experiments and physical processes simulation at appropriate parts of orbits, according to previously executed situation analysis.
- Satellite operations scheduling.
- Visualization of results and simulated scenes.
- Writing of obtained results.

The organization of calculations comprising different tasks from listed above types was based on static scheme, connected with consecutively execution of these one.

Two parallel tools- ordinary differential equations systems integrator [2] and situation problems solver [3] was developed in the course of space missions' simulation system development. Motion equation systems of one or more classes of space objects (satellites, space debris, charged particles and neutral or charged dust particles) could be solved through starting numerous of actual integrators.

For instance, a set of situation problems could be solved with group of satellite and other set of situation problems with space debris. The both sets of situation problems could be solved simultaneously in parallel trough starting more than one actual situation problem solver. These actual integrators and solvers could be executed simultaneously through "union of pools of threads" program model [4]. The applying of this model demands from application of more flexible schemes for calculation scenarios definition and control of their execution.

State of the problem

The aim of the present work is to present some user-defined types, which could be used for flexible definition of calculation tasks and their execution. Classes of objects- descriptors heaving such user-defined types could be created. Definition of complex and various versions of simulations are achieved via these classes of objects.

Development of some user-defined types

a). Type "parallel solvers"

This user-defined type serves as object-descriptors for creation of parallel calculation tools based on "pool of threads" program model. The definition of this type is shown on figure 1a.

<pre> type pool_par sequence UNION MAP integer num_threads integer ha_race integer counter_adr integer pool_par_adr integer granulation END MAP MAP ! integer union_atr(2) END MAP END UNION end type pool_par </pre>	<pre> type IVP_par character name*20 integer integ_index ! serial order in the class integer num_objects integer t_adr,dt_adr integer xvn_adr,xvk_adr,eps_adr integer adr_Grv_model,len_Grv_model integer transfer_data_adr,work_data_adr end type IVP_par </pre>
	(b)
(a)	

Fig. 1. (a) parallel solvers type definition; (b) Initial values problem type definition

The components of user-defined type **pool_par** are: **num_threads** - containing number of the threads, **ha_race** - handled of the event for synchronization between threads when tasks are got from input task queue, **counter_adr** - counter address for counting solved tasks, **pool_par_adr** - address of pool of threads parameters and **granulation** - control parameter pointing the rate of breaking up entire task into smaller tasks.

This **pool_par** type could be used for descriptors of different solvers – on this stage these are integrators of ordinary differential equation systems and processors for situation problems' solvers.

b). Type "initial values problems"

The type **IVP_par** contains various attributes describing an initial values problem (fig. 1b). Character type attribute "name" contains the name of IVP. The attribute **integ_index** contains serial

order of pool of threads which represents ordinary differential equation systems integrator among all objects in the class. The next variable **num_objects** indicate the number of all objects which motions could be integrated. Attributes **t_adr** and **dt_adr** contain addresses of variables, where time and step of time are stored. Analogously the next lines contain addresses of coordinates and tolerances data about all objects, address of array containing information about perturbations for each object and length of element of the array. The last line contains addresses of working arrays which are necessary for integrator.

c). Type "situation problems"

The type **SitProblems** contains different attributes related to situation problems solving (fig. 2). The first two attributes contain order numbers of situation processor and initial value problem as members in respective classes. **num_objects** present the number of objects (satellites), **max_num_sit** and **num_sci_prob** determine the size of array, **sit_prob** contains situation problems having address in **addr_sit_prob**.

```
type SitProblems
integer pool_index ! index of the pool in a descriptor - class
integer IVPs_index
integer num_objects ! number of objects in connected IVP
integer max_num_sit ! maximal number of situation conditions for all situation problems
integer num_sci_prob ! number of situation problems
integer addr_sit_prob ! address of situation 2D array containing situation problem
                      ! definitions- each column contains situation problem
integer addr_xvn,addr_xvk
integer TrParam_adr ! TrParam- contains calculated parameters along the orbit
end type SitProblems
```

Fig. 2. User-defined type **SitProblems** contains attributes for description of situation problems

d). Type "union of pools of threads"

The user defined type **PoolThUnion** (fig. 3a) represents template for descriptor of pools of threads union. The first attribute **num_threads** contains sum of threads for all pools. The second attribute **union_atr** contains address of array which contains all control parameters for union of pools [4].

<pre>type PoolThUnion integer num_threads integer union_atr(2) end type PoolThUnion</pre>	<pre>type TrajParam integer num_objects integer trj_par_ end type TrajParam</pre>
---	---

(a)

(b)

Fig. 3. (a) this user-defined type describe "pools of threads union" objects; (b) type for objects "trajectory calculations"

e). Type "trajectory calculations"

This type (fig. 3b) provides calculation of various quantities from geometric and physical nature along the orbit. These quantities are calculated on every step in the time, after objects motion integration. The obtained results could be used for situation analysis or simulations. The type **TrajParam** contains information about number of objects, address of calculations control structure and address of structure containing calculated quantities from models.

The access to classes' descriptors from random point of the program is ensured through common named areas. Every area contains current size and address of the respective class (fig. 4a, 4b).

Creation of classes of objects

When one structural variable from given user defined type receives values of his components we can accept that object is created. The members of given class are objects with same types.

All of above described user defined types serve for objects- descriptors creation, each of them belonging to respective class. An essential parts of descriptor's attributes contain meta-data addresses of the real data and their dimensions. These meta-data are determined in the course of tasks definition which will be solved and preceded inserting of particular data. When the values of all attributes of one structured variable are defined, these variables are submitted to subroutine for object creation and adding to corresponding class.

```

INTERFACE
SUBROUTINE add_object(dimension, Als_descriptor_adr, Als_descriptor_adr_new, Al_param, &
    IVPs_descriptor_adr, IVPs_descriptor_adr_new, IVP_param, &
    TrPas_descriptor_adr, TrPas_descriptor_adr_new, TrPar_param, &
    StPrb_descriptor_adr, StPrb_descriptor_adr_new, StPrb_param, &
    UsPTh_descriptor_adr, UsPTh_descriptor_adr_new, Union_param)
integer dimension
integer, optional :: Als_descriptor_adr, Als_descriptor_adr_new, &
    IVPs_descriptor_adr, IVPs_descriptor_adr_new, &
    TrPas_descriptor_adr, TrPas_descriptor_adr_new, &
    StPrb_descriptor_adr, StPrb_descriptor_adr_new, &
    UsPTh_descriptor_adr, UsPTh_descriptor_adr_new
type pool_par
integer num_threads, ha_race, counter_adr, thread_par_adr granulation
end type pool_par
type (pool_par), optional :: Al_param

type IVP_par
character name*20
integer integ_index, num_objects, t_adt, dt_adr,
integer xvn_adr, xvk_adr, eps_adr, adr_Grv_model, len_Grv_model
integer transfer_data_adr, work_data_adr
end type IVP_par
type (IVP_par), optional :: IVP_param

type TrajParam
integer num_objects ! number of objects
integer trj_par_adr ! address of trajectory parameters arry for one IVP
end type TrajParam
type (TrajParam), optional :: TrPar_param

type SitProblems
integer sit_solv_index, IVPs_index
integer num_objects, max_num_sit, num_sci_task, addr_sit_prob
integer addr_xvn, addr_xvk, TrParam_adr
end type SitProblems
type (SitProblems), optional :: StPrb_param

type PoolThUnion
integer num_threads
integer union_atr(2)
end type PoolThUnion
type (PoolThUnion), optional :: Union_param
END SUBROUTINE add_object
END INTERFACE

```

(a)

```

common /c_IVPs/num_IVPs, IVPs_descriptor_adr1
...
AI_1%num_threads = num_threads; AI_1%thread_par_adr= thread_par_adr;
AI_1% ha_race = ha_1; AI_1%counter_adr = LOC(AI_1_glb_counter)
AI_1%granulation = 1
CALL add_object(num_Als, Als_descriptor_adr, Als_descriptor_adr, AI_1)

```

(b)

```

common /c_StPrs/num_StPrs, StPrs_descriptor_adr1
...
CALL add_object(num_StPrs, StPrb_descriptor_adr=StPrs_descriptor_adr, &
    StPrb_descriptor_adr_new=StPrs_descriptor_adr, StPrb_param=StPrb_param);

```

(c)

Fig. 4. a). Interface of subroutine; b) and c). Variants for calling the subroutine according to object type. Illustration of polymorphism is shown.

The subroutine **add_object** (fig. 4b, c) accepts objects and inserts them in respective class. One new class of descriptors is created during the first call of the subroutine **add_object** with actual parameters - object of given type. The subroutine has polymorphic abilities and accepts all **different** objects according to their user-defined types. This is approached trough appropriate interface and description of actual parameters shown on figure 4.

Different relations and possible connections between separate/particular classes are shown on figure 5. For example, object-descriptors from class of parallel tools (integrators, situation solvers) are in connection with object-descriptors of initial value problems. Descriptors of integrators and situation solvers are connected too.

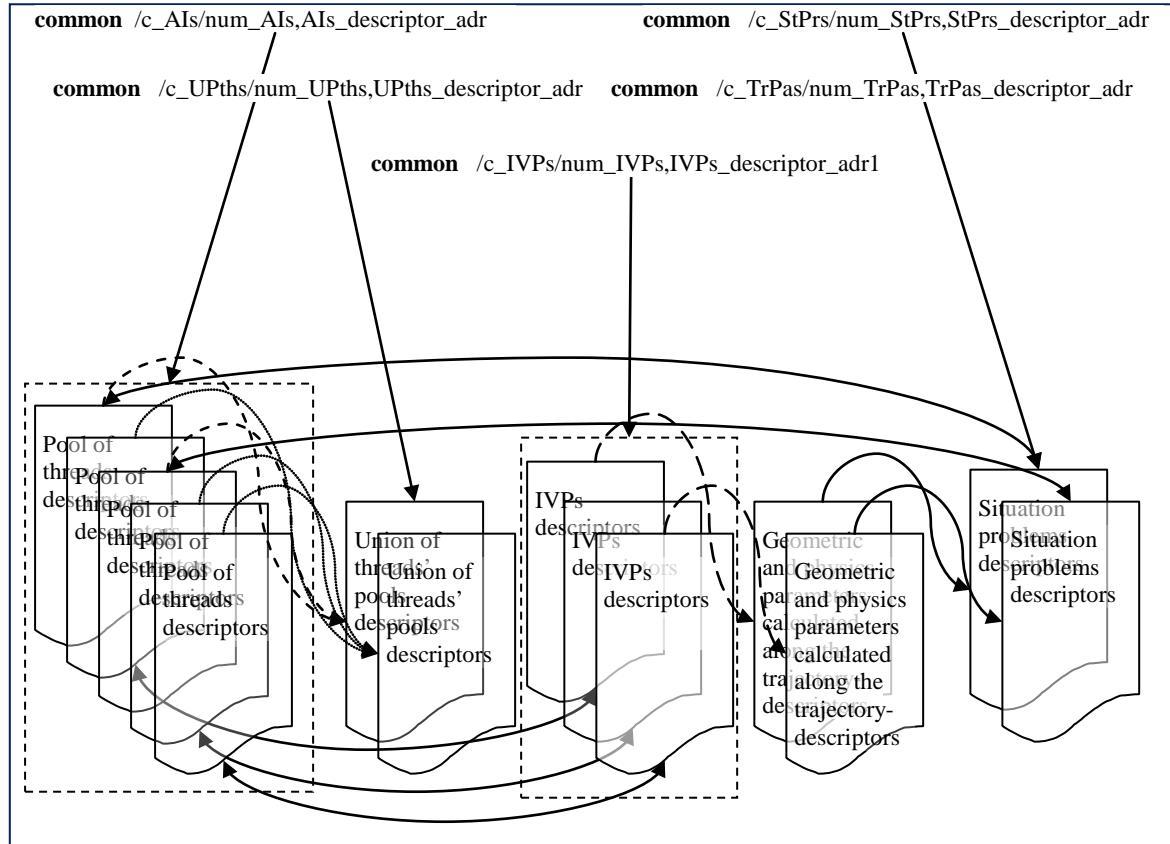


Fig. 5. Semantic model presenting relations between different classes

Conclusion and future work

Only five user-defined types are developed on this stage and some number of simulation problems could be defined. These types contain basic meta-data (address of the real data in the storage and dimensions) about described from them object. Two of explained types - **pool_par** and **PoolThUnion** describe abstract models for parallel calculations execution.

Developed types are used for development of new control of calculations and achieving a flexibility and freedom about definition and execution of the simulation tasks in the frame of Program System for Space Missions Simulation [5].

Reflection of relations and description of properties in given object field is the aim of the development of above explained and other user-defined types in future.

Explained approach for development of object-classes is different from these one which are used in object-oriented programing via fortran 95/2003.

References:

1. Atanassov, A., Program System for Space Missions Simulation – First Stages of Projecting and Realization, In Proceedings of SES 2012, 2013, pp. 209-214.
2. Atanassov, A.M., Parallel, adaptive, multi-object trajectory integrator for space simulation applications. Advances in Space Research 54, 2014, pp. 1581–1589.
3. Atanassov, A.M., Parallel Solving of Situational Problems for Space Mission Analysis and Design, proceedings of 9th scientific conference Space Ecology Safety, 2013, 2014, pp. 283–288.
4. Atanassov, A.M., Method of Thread Management in a Multi-Pool of Threads Environments, proceedings of 9th scientific conference Space Ecology Safety, 2014, 2015, pp. 241-246.
5. Atanassov, A.M., Approach and Development of Tools for Different Variants of Space Missions Simulation Definition and Execution, proceedings of 9th scientific conference Space Ecology Safety, 2015, 2016, pp.

APPROACH AND DEVELOPMENT OF TOOLS FOR DIFFERENT VARIANTS OF SPACE MISSIONS SIMULATION DEFINITION AND EXECUTION

Atanas Atanassov

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: At_M_Atanassov@yahoo.com

Keywords: space missions design; multi-physic models simulation; parallel calculations.

Abstract: Flexible approach for synthesis of complex simulation model containing different physical and mathematical models is presented. Different consequences of calculations in field of space mission design are based on some previously developed classes of objects. A simple command language for composition of cyclograms is presented. Execution of these cyclograms is based on developed interpreter.

Introduction

The development of flexible tools for space mission design and analysis has exclusive importance for decreasing of efforts, price and time [1]. The recent technological advances in the field of multicore processors and other components are challenges and good base for experiments in this direction.

Algorithms and program system for multi-satellite missions and experiments [2] are under development at STIL-BAS, branch in Stara Zagora. Improving flexibility and possibilities for multi-physics space simulations of the program system are shown in the present paper.

Programming system for multi-satellite mission design

The programming system for space mission design is under development. Execution of different types of tasks is possible. These tasks are related to orbital equations integration, geometric and physical quantities along the orbits, situation problems solving, satellite experiments simulation, visualization and etc. [2, 6].

Unfortunate, calculation scenarios, containing simultaneously application of more than one actual integrator [3] and situation problems solver [4] using special developed union of pools model [5] for parallelization, wasn't possible.

Problem statement

Logical mutually connected calculations will be treated as calculation flow. There are different levels of mutual connectivity. The higher level of connectivity demands mutual connection between results in the frame of one calculation flow. The low level of connectivity within the calculation flow is due to applying of unifying/common algorithms. Application of parallelization to one calculation flow depends from availability of appropriate platform and specifics of calculations. Two reasons are possible for calculation flows parallelization - possibilities for optimal use of computer system and development of complex multi-physic models and calculation algorithms.

Each calculation flow could consist from one or more consecutive stages. The parallelization between calculation flows is possible related to particular stages only. The different calculation flows are executed asynchronously until point of synchronization when exchange of results between them is necessary.

For instance, one calculation flow could contains orbital motion integration for set of satellites as first stage, calculation of different quantities having geometrical or physical nature as second stage, solving situation problems as third stage and etc. At the same time, a second calculation flow engaged with computation about other set of satellites is possible too. Other calculation flow could be related with space debris. Some exchange of results between separate flows after appropriated stages could be based on situation problems connected with mutual situations between objects

evolved in different flows. The realization of such scenarios demands synchronization between respective/relevant calculation stages from the calculation flows.

"Computation flows" is program model for presentation of complex multi-physics applications based on higher abstraction level. This is formal thinking approach which demands appropriate specific program models and tools.

The joining of some calculation flows put the question about effective use of multi-processor system. We will have in mind exclusively shared memory system below in this paper.

Control of calculations

Finite automata approach is applied for realization of flexible scheme of calculations' control. The algorithm is based on series of commands (cyclogram) execution. The algorithm reads and recognizes a series of commands and transits in the relevant state related to some code execution. Additional tasks are included for initialization of actual integrators and situation processors, in additional to the basic tasks listed above. The compilation of particular variant of calculation scheme consists of ordering appropriated commands. The list of commands developed at the present stage is presented in table 1.

Table 1.

Command name	First parameter	Second parameter	Third parameter
Init_Integ	p_AI_ind	p_IVP_ind	
Init_SitAnal	ini_AI_ind	ini_StPr_ind	
Init_Union			
Integ	s_AI_ind	s_IVP_ind	
'Integ Union'	Union_ind		
'Trajekt param'	t_IVP_ind		
'Sit anal'	run_StPr_ind		
'Display'	dsp_StPr_ind		
'Get_AI_result'	u_IVP_ind		
'Cycle'	begin_time	final_time	step_in_time
End_cycle			
END			

All commands are described by user-defined type **command** (fig. 1). This type contains different number of parameters/attributes and semantic specific for each command. The first parameter is common for all commands and contains the name. Other parameters of the commands are presented by integer or real types. Operator UNION is used for description of all variants of command types (fig. 1), because each command has individual format,

The couple of commands **Cycle** and **End_cycle** are important construction for repetition of entire cyclogram or subseries of commands closed between them. All commands which must be repeated are inserted between the **Cycle** and **End_cycle** commands. The commands for initialization are placed at the beginning, before the command **Cycle**.

```

type command           !
character*17 name
UNION
MAP
integer num_com      ! The zero element
! contain number of
! commands
END MAP
MAP           ! AI preparation
integer p_AI_ind ! (p)- za pointer
integer p_IVP_ind
END MAP
MAP           ! IVP initialization
integer s_AI_ind   ! index of integrator
integer s_IVP_ind  ! index of IVP
END MAP
MAP           ! Init_SitAnal
integer ini_StPr_ind ! index to solver
integer ini_AI_ind  ! index to intrgrator
END MAP
MAP           ! Creation and initialization of Union
integer ins_AI_ind ! index of the solver
integer com_ind_integ ! multiple integration
END MAP
MAP           ! Multiple IVPs integration
integer Union_ind   ! index of Union
integer index_IVP(0:10)
integer union_atr(2)
END MAP
MAP           ! Get data after Union execution
integer u_IVP_ind ! index of IVP
END MAP
MAP           ! Traject. param. calculation
integer t_IVP_ind
END MAP
MAP           ! Situation analysis
integer run_StPr_ind ! index of solver
integer run_AI
END MAP
MAP           ! command 'Disply'
integer dsp_StPr_ind
END MAP
MAP           ! Cycle
real*8 begin_time
real*8 current_time
real*8 final_time
real*8 step_in_time
real*8 shift_time
integer end
END MAP
MAP           ! End cycle
integer back ! counter return 'back' steps
END MAP
END UNION
end type command

```

Fig. 1. User-defined type used for cyclogram commands definition

The execution of the commands is based on object-descriptors heaving specific user-defined types [6]. These types appear as templates for description of objects which could be created and used for computational control. For instance, **pool_par** represents actual integrators and situation problem solvers. The type **IVP_par** represents the solving of initial value problems. The type **TrajParam** defines calculation of some parameters along the orbits. The types **SitProblems** and **PoolThUnion** are used for definition of situation problems and union of pools of threads.

Command interpreter

Finite automata approach is used for new version of the program system. Program fragment on figure 3 accepts series of commands and interprets them in sequent mode. The algorithm recognizes the current command and transit to the respective stage and call to corresponding solver or calculation code. Each command leads to calculation of portion of final results. Different primitive of calculations are used like elemental building units for assembling calculation models in one scientific field. A complex model can contains some objects from equal type. Every object could be presented through different characteristics or parameters. So each object is described through user-defined type. Such types are shown in [6]. Objects of the same type are united in class of objects. These classes are created by special polymorphic subroutine [6]. These types contain different specific attributes. Some of them represent geometric or physical quantities which accept values in some interval. Other attributes represent meta-data – addresses and sizes of data structures.

Five object-descriptors are defined through separate user-defined types at the present stage. The access to particular object at random point of the program is possible by global class-descriptor (named common area in fortran) (fig. 2a). This common area contains the number of objects in the class and address of the array in computer storage containing objects of the class (fig. 2a). For example, named common area /**c_AIs**/ contains descriptor of the class of parallel actual solvers based on pool of threads program model- integrators of ordinary differential equations and situation processor solvers. The class of “initial values problems” objects is accessible through named common area / **c_IVPs** / (fig. 2b). The class of situation problems is presented trough class-descriptor and common area / **c_StPrs** /. The class of “union of parallel solvers” could be accessed through common area / **c_UPths** /. Figure 2b illustrates the access to classes of objects based on pointers.

The object classes are dynamic objects. The addition of each new object to respective class is connected with changing of the address in the storage.

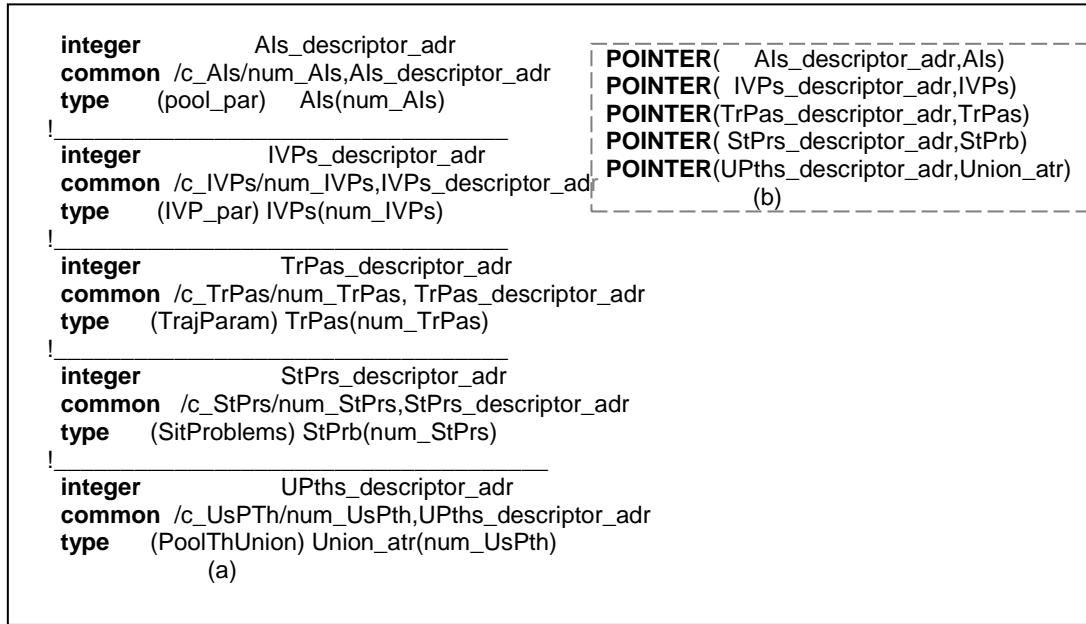


Fig. 2. An access to classes of objects is shown. (a) Description of object classes. (b) Allocation of object classes according to addresses.

The addresses of the real data, which are pointed as actual arguments, are contained in attributes of objects-descriptors. Each object-descriptor is used for simulations in the frame of one calculation flow.

Figure 3 represents fragment of the interpreter of command series (cyclograms). Actual arguments of the subroutines don't point directly to transmit data. The access to data addresses is provided. The data transmitting is provided through special developed object-descriptors [6]. Each command has specific parameters for synonymous access to necessary data.

Actual parameters of command **Integ** for multi satellites' orbits integration are presented on figure 3 in some details for illustration. Addresses of data passed as actual arguments to respective subroutines related to other commands are described through analogous approach.

The sophisticated description of actual parameters which is shown on figure 3 is result from application of object-descriptors and command parameters for assigning command to particular calculation flow. The commands initiate usually big portions of calculations and so the pointed sophistication doesn't decrease substantially the speedup.

The command parameters play important semantic role connected with building of calculation algorithm. Except parameters which are defined in the course of cyclogram compilation, there are other hidden parameters which are used for control of cyclogram execution. For instance, the values of the two parameters **End_cycle%back** and **End_cycle%end** are determined from preprocessor depending from their mutual disposition in the frame of cyclogram. The first parameter provides the return of command counter to beginning of the cycle, and the second of them – exiting from the cycle.

A preprocessor for preliminary command cyclogram analysis is under development. It checks the syntax of used commands and determines some of their parameters. The preprocessor executes an automatic adjustment of commands for cycle organization.

```

run:DO WHILE(cyc(counter)%name.NE.'END'.AND.cyc(counter)%name.NE.'end'.and.counter.LE.cyc(0)%num_com)
    SELECT CASE(TRIM(cyc(counter)%name))
        CASE('Init_Integ')
            CALL Data_AI(addresses of actual parameters)
            CALL Preparation_AI(addresses of actual parameters)
            counter= counter + 1
        CASE('Init_Union');
            CALL InitUnionPools(addresses of actual parameters)
            counter= counter + 1
        CASE('Init_SitAnal')
            CALL Data_Sit_Solver(addresses of actual parameters)
            CALL Preparation_Sit_Solver(addresses of actual parameters)
            counter= counter + 1
        CASE('Integ')
            CALL traekt_AI(AIs(cyc(counter)%s_AI_ind) %thread_par_adr, &
                AIs(cyc(counter)%s_AI_ind) %num_threads, &
                AIs(cyc(counter)%s_AI_ind) %counter_adr, &
                IVPs(cyc(counter)%s_AI_ind) %num_objects, &
                IVPs(StPrb(cyc(counter)%ini_StPr_ind)%IVPs_index)%t_adr, & !
                IVPs(StPrb(cyc(counter)%ini_StPr_ind)%IVPs_index)%dt_adr, &
                IVPs(cyc(counter)%s_AI_ind) %xvn_adr, &
                IVPs(cyc(counter)%s_AI_ind) %xvk_adr, &
                IVPs(cyc(counter)%s_IVP_ind)%transfer_data_adr)
            counter= counter + 1
        ...
        CASE('Cycle')
            counter= counter + 1
        CASE('End cycle')
            cyc(cyc(counter)%back)%current_time= cyc(cyc(counter)%back)%current_time + &
                cyc(cyc(counter)%back)%step_in_time
            cyc(cyc(counter)%back)%shift_time= cyc(cyc(counter)%back)%shift_time + &
                cyc(cyc(counter)%back)%step_in_time
            counter= cyc(counter)%back
        CASE DEFAULT
            ! WRONG command!!!
    END SELECT
END DO run

```

Fig. 3. Fragment of subroutine Drive_M. This fragment realizes interpretation of commands. The command **Integ** is presented in details.

Conclusion

A development of interpreter of commands' cyclogram is presented. The application of such interpreter allows more flexible and adaptable execution of computation scenarios when complex multi-physic model are simulated.

Further development of presented approach demands development of interactive tools (appropriated dialogue) for definition of objects' attributes and cyclogram compilation.

References:

1. Wertz, J.R., Larson, W.J., 1999. Space Mission Analysis and Design, third ed. Microcosm Press, Kluwer Academic Publishers.
2. Atanassov, A.M., 2013Program System for Space Missions Simulation - First Stages of Projecting and Realization. SES 2012, 209-214.
3. Atanassov, A.M., Parallel, adaptive, multi-object trajectory integrator for space simulation applications, Advances in Space Research, Volume 54, Issue 8, 15 October 2014, Pages 1581-1589.
4. Atanassov, A.M., 2014, Parallel Solving of Situational Problems for Space Mission Analysis and Design. SES 2013, 283-288.
5. Atanassov,A.M. Method of Thread Management in a Multi-Pool of Threads Environments, SES 2014, 12 – 14 November 2014, Sofia, Bulgaria.
6. Atanassov, A.M., DEVELOPMENT CLASSES OF OBJECTS' DESCRIPTORS FOR SPACE MISSIONS SIMULATION, proceedings of 9th scientific conference Space Ecology Safety, 2015, 2016, pp.

КОРЕЛАЦИЯ МЕЖДУ МАСАТА НА ЦЕНТРАЛНОТО ТЯЛО И ОРБИТНАТА РЕГУЛЯРНОСТ В СЛЪНЧЕВАТА СИСТЕМА

Цветан Георгиев^{1,2}

¹*Департамент по природни науки – Нов български университет*

²*Институт по астрономия – Българска академия на науките*
e-mail: ysgeorgiev@nbu.bg

Ключови думи: Слънчева система: строеж; Слънчева система: Закон на Тициус-Боде

Резюме: Определени са параметрите на главен и вторичен закон на Тициус-Боде за спътниките системи на Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон, както и за слънчевите планети в два случая – при 4 регулярен планети (само газовите гиганти) и при 8 регулярен планети. Намерена е статистически значима зависимост на коефициента на орбитална регулярност в закона на Тициус-Боде от масата на централното тяло. Коефициентът за орбиталния размер варира от около 1.3 за спътниците на Плутон до около 1.7 за планетите на Слънцето.

CORRELATION BETWEEN THE CENTRAL BODY MASS AND THE ORBITAL REGULARITY SCALE IN THE SOLAR SYSTEM

Tsvetan Georgiev^{1,2}

¹*Departament of Natural Sciences – New Bulgarian University*

²*Institute of Astronomy and NAO – Bulgarian Academy of Sciences*
e-mail: tsgeorgiev@nbu.bg

Keywords: Solar system: structure I -- Solar system: Titius-Bode Law.

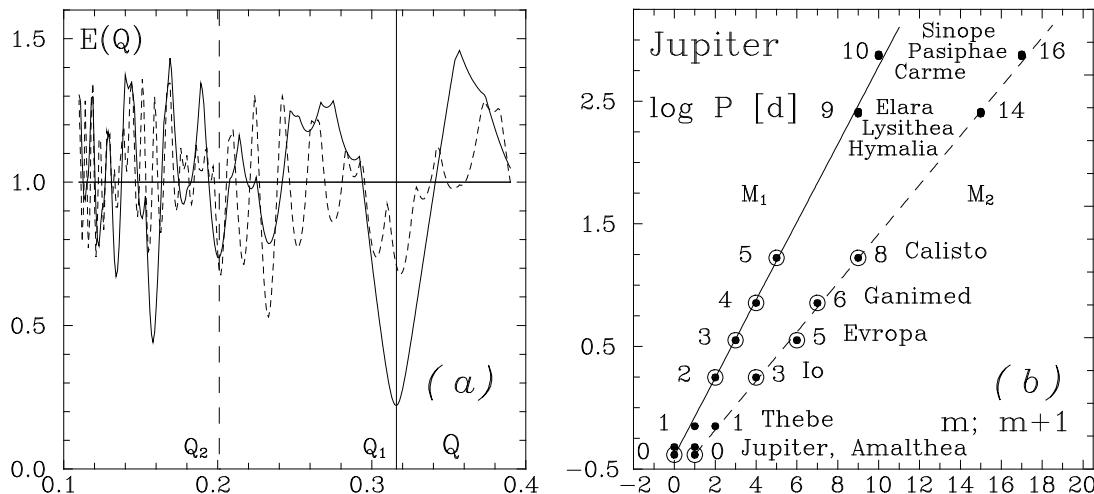
Abstract: The parameters of main and secondary Titius-Bode Laws for the satellite systems of Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune and Pluto, as well as for the solar planets two cases – with 4 regular planets (gas giants only) and with 8 regular planets – are derived. Statistically significant dependence of the orbital regularity coefficient in the Titius-Bode Law on the mass of the central body is found. The coefficient for the orbital sizes varies from about 1.3 for the satellites of Pluto to about 1.7 for the solar planets.

1. Увод

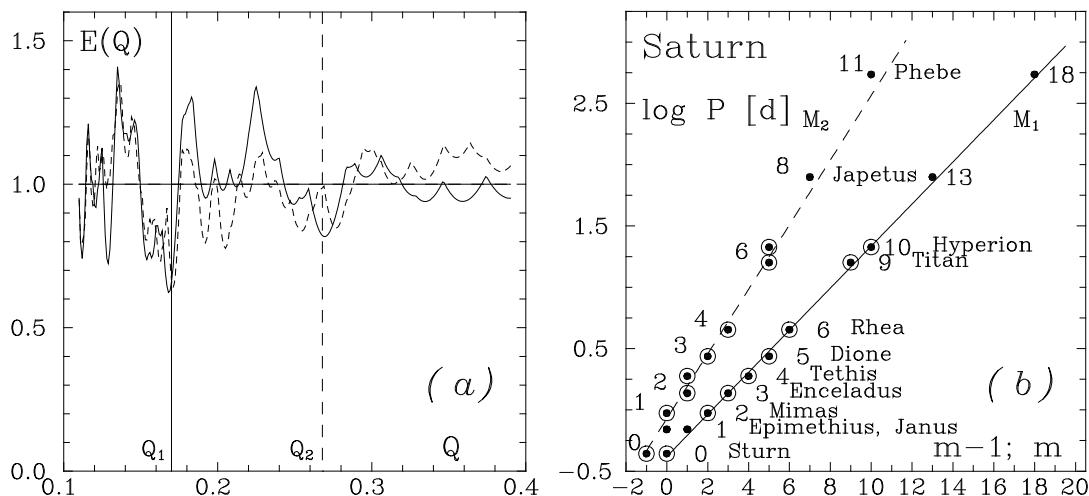
В Слънчевата система съществува приблизителна съизмеримост на големите полуоси A на орбитните системи, известна като Закон на Тициус-Боде (ЗТВ). Днес тази зависимост се записва като геометрична прогресия $A_n = A_0 \times A_C^n$, или, в линеаризиран вид като аритметична прогресия $\log A_n = \log A_0 + \log A_C \times n$. Тук A_0 и A_C са константи, подлежащи на определяне, а n е номер на тяло. Обаче, голямата полуос на орбитата A и орбиталният период P са свързани чрез Третия закон на Кеплер: $A \sim P^{2/3}$ или $\Delta \log A = 2/3 \times \Delta \log P$, а периодите в спътниковите системи са първичните и точно определяеми параметри. Освен това, централното тяло може да бъде добавено със своя ротационен период, който, оказва се, подкрепя ЗТВ (Dermott, 1968).

Затова днес ЗТВ се изразява чрез орбиталните периоди P във формите $P_n = P_0 \times P^n$ или $\log P_n = \log P_0 + \log P_C \times n$. Тук $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ са предварително подбрани номера на телата, като номер 0 съответства на централното тяло, P_0 се въвежда като ротационен период на централното тяло, а P_C е подлежащият на определяне коефициент на приблизителна съизмеримост (по-нататък – коефициент на ЗТВ). На практика последната от горните форми на ЗТВ се има предвид като линейна зависимост от вида $Q_n = Q_0 + Q_C \times n$, където Q_C е стъпка на приблизителна съизмеримост в логаритмичен мащаб (по-нататък – стъпка на ЗТВ). Параметрите Q_0 и Q_C се определят регресионно във всеки конкретен случай.

Отдавна Стенли Дърмот (Dermott, 1968) е публикувал регресионно определните параметри на ЗТВ за системите на Юпитер, Сатурн, Уран и за осемте планети от Слънчевата система като втора от трите части на дисертацията си. С това темата „Закон на Тициус-Боде“ като че ли е била закрита (Вижте още Graner & Dubrulle, 1994). Обаче, в началото на ХХI век ЗТВ започна да се използва за изследване на екзо-планетни системи, и, в частност – за предсказване орбитите на ненаблюдавани екзо-планети (Poveda & Lara, 2008; Bovaird & Lineweaver, 2014). Затова ЗТВ в Слънчевата система става отново интересен.



Фиг. 1. Юпитер с 4 регулярни спътници или Юпитер с 4+8 значими (сравнително големи) спътници.
(а) Криви на грешките за 4те регулярни спътници (плътни криви) и за всичките 12 спътници. Позициите на главния и вторичен минимум, Q_1 и Q_2 (само за регулярните спътници) са маркирани с вертикални линии. (Дълбокият минимум при $Q = 0.17$ е хармоник на главния минимум при $Q = 0.34$ и тук не се взема предвид.) **(б)** Регресии на ЗТВ, построени само по 4те регулярни спътници (кръгчета), съответни на главния минимум Q_1 и номерация M_1 – плътна права и на вторичния минимум Q_2 номерация M_2 – прекъсната права. Регресионните прави са продължени към далечните спътници, които очевидно подкрепят ЗТВ. За нагледност точките и правата на вторичния ЗТВ са отместен хоризонтално с +1.



Фиг. 2. Сатурн със 7 регулярни спътници или Сатурн със 7+4 значими спътници. Вижте фиг. 1.
За нагледност вторичният ЗТВ е отместен хоризонтално с -1.

ЗТВ не е обяснен конвенционално до сега, но следва да се очаква зависимост на кофициента на ЗТВ от масата на централното тяло. Резултатите на Dermott (1968), където системите на Юпитер и Сатурн се оказват твърде различни, системата на Нептун не е разглеждана, а данни за системата на Плутон е нямало данни, намекват за такава зависимост. В настоящата работа зависимостта е намерена. Числените данни са главно от обзора на Sheppard (2014).

Тук е въведено допълнително предположение, че в настоящата епоха се наблюдава някакво преходно състояние в продължаващата динамична еволюция на орбитите, за което е валидна някаква главна, добре изразена форма на ЗТВ. Същевременно може да се намира и използва и друга, по-слабо изразена форма на ЗТВ, интерпретирана като следа от миналото или като намек за бъдещето на системата. В тази работа са намерени и използвани ЗГВ за системите на Нептун и Плутон.

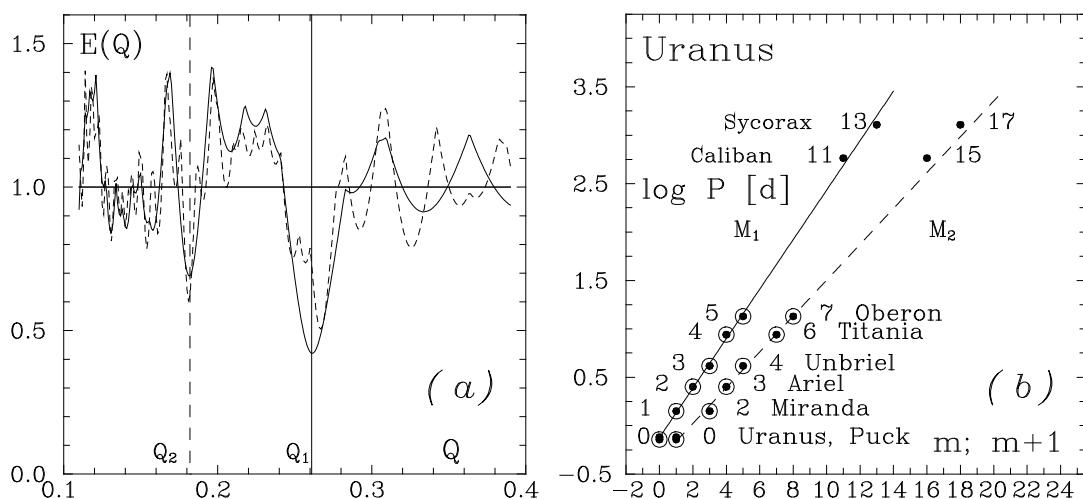
Традиционно регресията на ЗТВ се определя след въвеждане на предварителна номерация на телата. Тук предварително се присвоява само номер 0 на централното тяло, който остава неизменен. Другите тела се подреждат след нулевото по нарастващи периоди. По нататък се проверяват множество номерации на другите тела, като накрая другите тела получават подходящи номера на орбити, с възможни дупки в номерацията. За целта параметърът Q сканира подходящ интервал от възможни стойности на Q_C с малка стъпка, като за всяка фиксирана стойност на Q се определя целочислен номер на вся тяло $n = (\text{int})(Q_n - Q_0)/Q$. След това се построява регресионната линия на ЗТВ, съответна на номерацията и се изчислява съответното средно-квадратично отклонение $E(Q)$. Последното се разглежда като точка от „крива на грешката“. Позициите на главния и вторичния минимуми Q_1 и Q_2 на $E(Q)$ дават главната и вторичната номерация и съответните два ЗТВ, показани във всеки от случаите по-долу. Регресионно уточнените стойности Q_1 и Q_2 се използват накрая за изявяване на търсената зависимост от масата. Повече подробности има в статията на Georgiev (2016).

2. Стъпки Q_1 и Q_2 на Закона на Тициус-Боде за 7 случая в Слънчевата система

Фигури 1 (а) – 7 (а) показват кривите на грешките $E(Q)$ с позициите на техните уточнени главни и вторични минимуми Q_1 и Q_2 . Фигури 1 (б) – 7 (б) показват съответните главни и вторични ЗТВ, представени регресионно. Уточнените коефициенти на наклони на регресиите Q_1 и Q_2 са стъпките на оптимални приближително екли-дистантни орбитални периоди в логаритмичен мащаб. Те могат да се преобразуват в стъпки приближително екли-дистантни го-леми полуоси на орбити чрез Третия закон на Кеплер..

Системата на Юпитер с 4 големи регулярен (галилееви) спътници (фиг. 1) е най-простата сред разглежданите. Тя показва добре изразени минимуми на $E(Q)$ при $Q_1 = 0.31$ и $Q_2 = 0.20$. Периодите на тези спътници са релаксирали в отношение $1:2:4:8 \approx 8$ с очаквано $Q_C = \log 2 = 0.301$. Обаче, две отдалечени тройки нерегулярен спътници, едната от които със само ретроградни спътници, заемат орбити с големи номера и подкрепят добре двата ЗТВ. Един от вътрешните спътници заема орбита № 1.

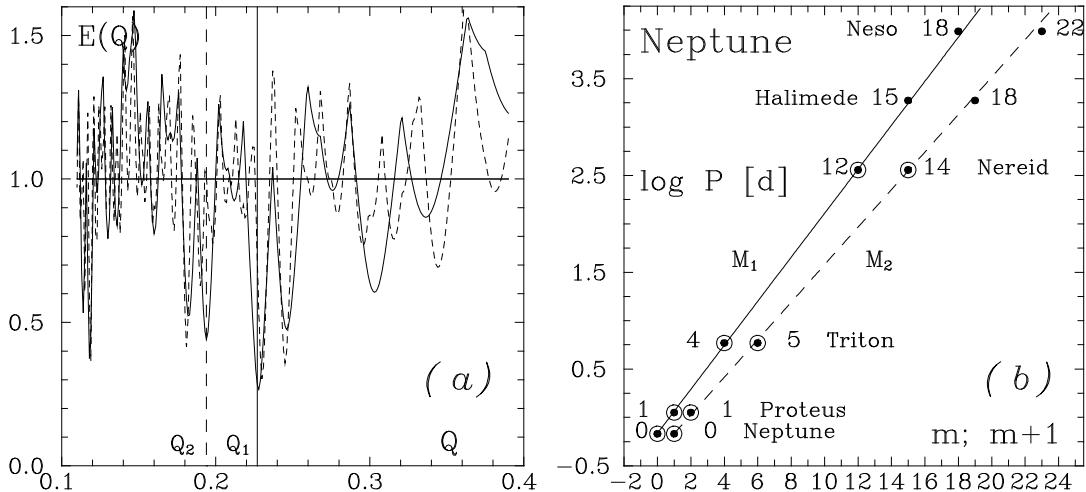
Системата на Сатурн със 7 регулярен спътници (фиг. 2) също изглежда прости и добре подредена. Обаче, главният минимум на $E(Q)$ съответства на твърде малка стъпка $Q_1 = 0.17$. Все пак, съществува намек на вторичен минимум при $Q_2 = 0.26$. Така системата на Сатурн започва да прилича на тези на Юпитер, но с разменени места на главния и вторичния минимум. Два достатъчно големи далечни спътници, единият от които ретрограден, подкрепят двата ЗТВ.



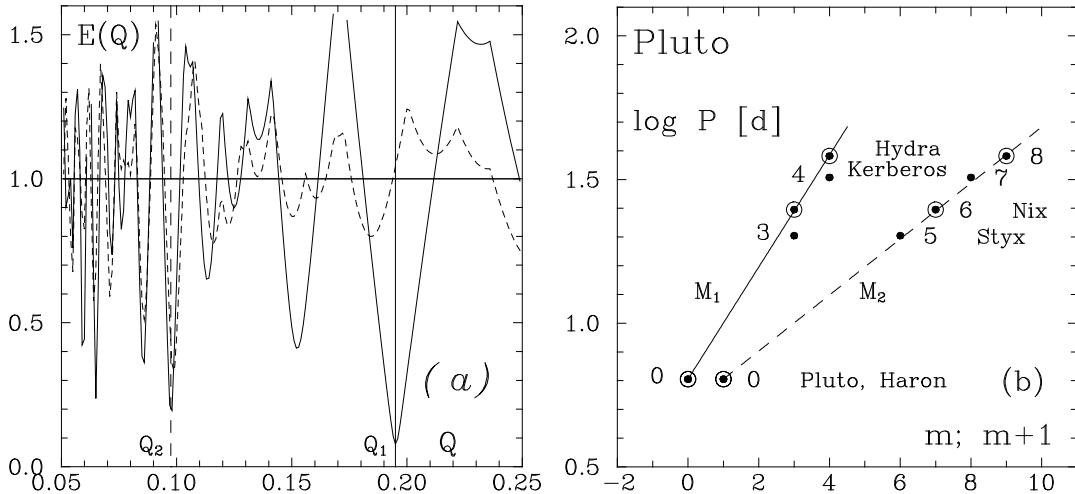
Фиг. 3. Уран с 5 регулярен спътници или Уран 5+3 значими спътници. Вижте фиг. 1.
За нагледност вторичният ЗТВ е отместен хоризонтално с +1.

Системата на Уран с 5 регулярни спътници (фиг. 3) обикновено се дава като пример за перфектна илюстрация на ЗТВ. Тук се вижда, че както при системата на Юпитер, има добре изразени главен и вторичен минимуми, но при по къси стъпи: $Q_1 = 0.23$ и $Q_2 = 0.19$. Двата отдалечени ретроградни спътници подкрепят ЗТВ.

Системата на Нептун, с 3 регулярни спътници (фиг. 4), се подвежда към ЗТВ за първи път тук. В предишните 3 системи значимите ретроградни спътници подкрепят ЗТВ. Затова тук, където регулярни спътници не достигат, е използван ретроградният Тритон. Далечните значими ретроградни спътници пак подкрепят ЗТВ. Минимумите съответстват на $Q_1 = 0.26$ и $Q_2 = 0.18$, т.е. от гледна точка на ЗТВ системите на Уран и Нептун са подобни помежду си.



Фиг. 4. Нептун с 3 регулярни спътници или Нептун с 3+2 значими спътници. Вижте фиг. 1. За нагледност вторичният ЗТВ е отместен хоризонтално с +1.



Фиг. 5. Плутон с 3 регулярни спътници или Плутон 3+2 (всички известни) спътници. Вижте фиг. 1. За нагледност вторичният ЗТВ е отместен хоризонтално с +1.

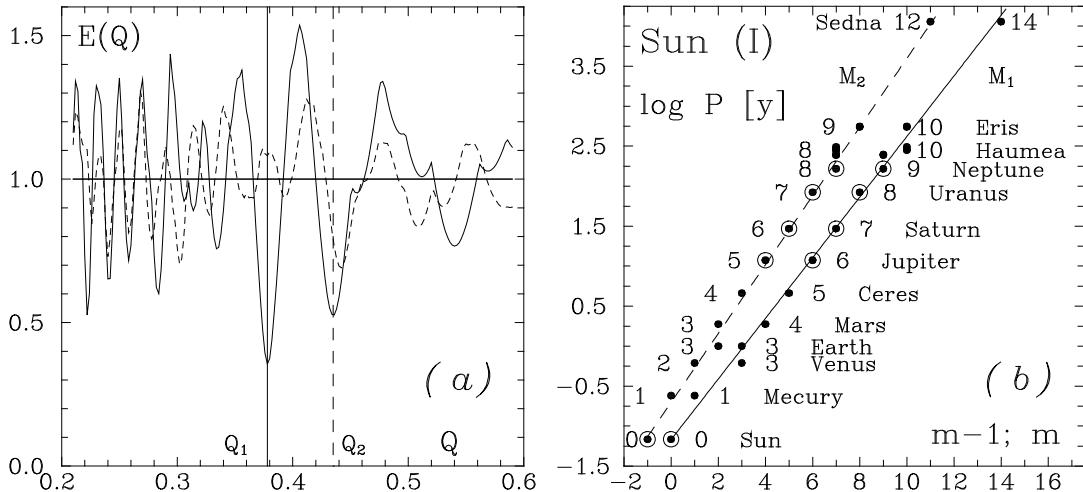
Системата на Плутон, има 3 регулярни спътници (фиг.5), като орбиталният период на най-големия спътник, Харон, съвпада с ротационния период на Плутон. Все пак, дълбоки минимуми на $E(Q)$ се наблюдават при $Q_1=0.20$ и $Q_2 = 0.10$. Във втория случай всичките известни спътници се нареджат плътни по правата на ЗТВ.

Слънчевата система е по-сложна от разгледаните до тук спътниковои системи. Значи, следвайки приложената до тук логика, може да се разгледат два случая – с 4 регулярни планети и с 8 регулярни планети.

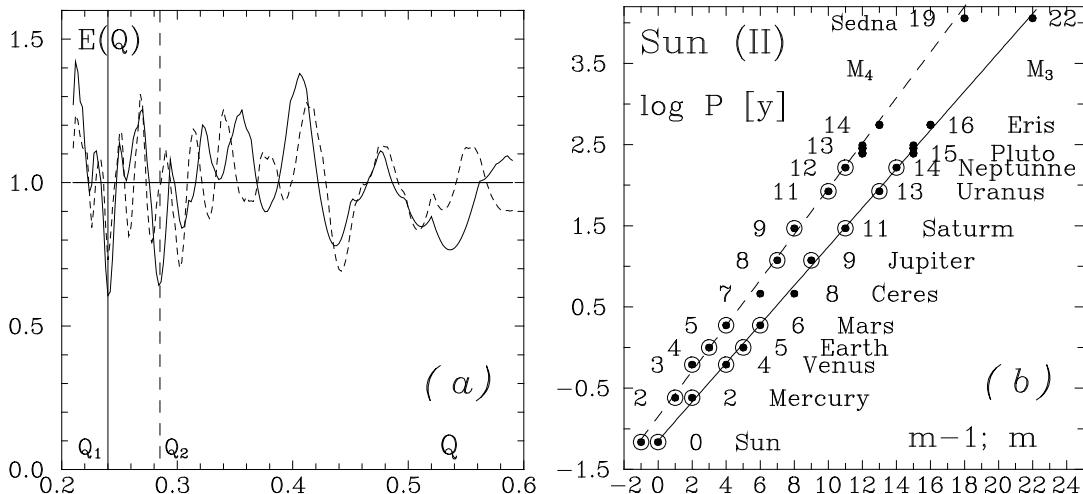
Слънчевата система с 4 регулярни планети (фиг. 6) показва $Q_1=0.38$ и $Q_2 = 0.43$. Тук, както при Юпитер, главният минимум на $E(Q)$ за 4те планети не се подкрепя от множеството на

4+8 планети (прекъсната крива). Освен това, в главния ЗТВ земята и Венера заемат орбита №3, докато орбита №2 остава празна, а във вторичния ЗТВ Земята и Марс заемат орбита №3. Така се онагледява малко известният факт, че от гледна точка на ЗТВ орбитата на Земята изглежда неуместна в системата планетни орбити. (Вижте още Dermott, 1968; Neslusan, 2004.)

Слънчевата система с 8 регулярни планети (фиг. 7) показва други минимуми – при $Q_3=0.24$ и $Q_4=0.28$. Тук минимумите за двете системи планети (8 и 8+4) съвпадат.



Фиг. 6. Слънцето с 4 регулярни планети (само газовите гиганти) или Слънцето с 4+8 значими планети (вкл. джуджета). Вижте фиг. 1. За нагледност вторичният ЗТВ е отместен хоризонтално с -1.



Фиг. 7. Слънцето с 8 регулярни планети или Слънцето с 8+4 значими планети (вкл. джуджета). Вижте фиг. 1.) За нагледност вторичният ЗТВ е отместен хоризонтално с -1.

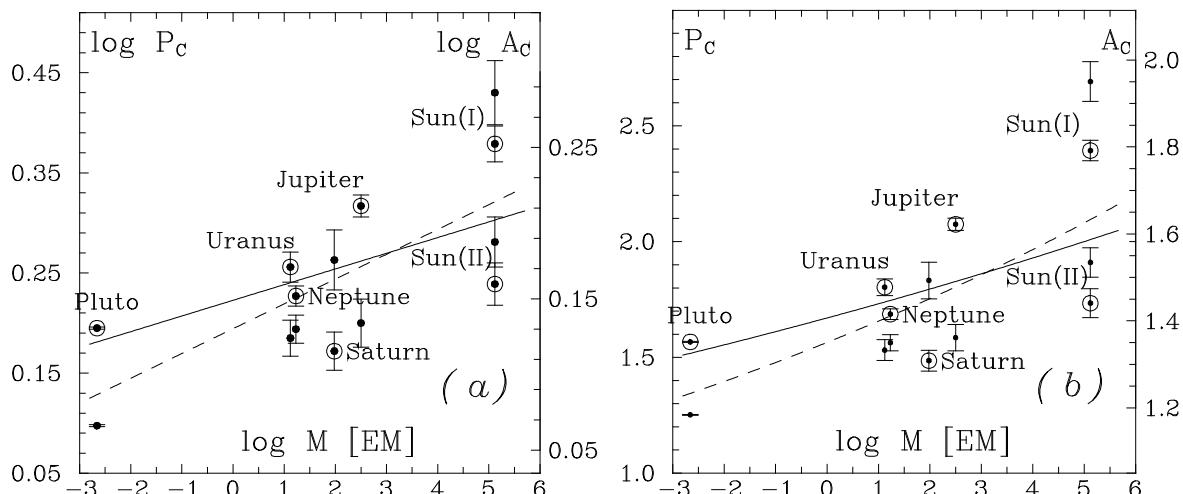
3. Корелация между масата на централното тяло и стъпката на регулярност

Фигура 8 представя корелацията в два варианта: в ляво – с параметър $Q = \log P_c$ или $\log A_c$, а в дясно – с параметър P_c или A_c . Според прекъснатата линия на регресия на фиг. 8 (b) (за всички минимуми на кривите на грешките) минималният коефициент на приблизителна съизмеримост е $A_c \approx 1.3$ за системата на Плутон и $A_c \approx 1.7$ за планетите на Слънцето.

Коефициентите на наклон на регресионните линии на фиг. 8 (a) са 0.025 и 0.0216, а на фиг. 8 (b) те са 0.105 и 0.069. По-ниските наклони, съответни на плътните прави, удовлетворяват 99 % критерий на значимост по Стюдънт за отличие от 0. По-високите наклони, съответни на прекъснатите прави, удовлетворяват по-висок критерий на значимост по Стюдънт за отличие от 0.

4. Заключение

В тази работа се предполага, че текущият статут на всяка орбитна система е резултат от продължаваща динамична еволюция, и, значи, наблюдаваният статут преходен. Следователно, може да се търси, намира и използва главна форма на ЗТВ и още поне една вторична форма – следа от минало или намек за бъдеще. В тази работа е използван обективен критерий за номериране на телата и са намерени 7 двойки конкретни реализации на ЗТВ – главен и вторичен. Показано е, че регресионните наклони на ЗТВ, т.е. параметрите е на приблизителна съизмеримост на периодите (или на големите полуоси на орбитите), както в логаритмична, така и в линейна, скала корелират значимо с масата на централното тяло.



Фиг. 8. Корелация между логаритъма на масата M на централното тяло, изразена в земни маси EM и параметърът на регулярност за периодите $Q = \log P_c$ (a) или P_c (b). Съответните параметри на регулярност на големите полуоси на орбитите $\log A_c$ или A_c са представени на десните ординати. Стойностите параметрите на регулярност за главните ЗТВ са представени с точки в кръгчета, а за вторичните ЗТВ – с точки. Слънчевата система е представена с две двойки параметри. Вертикалните отсечки на грешките съответстват на ширините на минимумите на половината на дълбочините им. Плътните регресионни скриви се отнасят за главните минимуми а прекъснатите – за главните и вторичните заедно.

Интересно е да се потърси такава корелация при екзо-планетните системи.

Литература:

1. Bovaird, T., Lineweaver C.H., "Exoplanet predictions based on the generalized Titius-Bode relation" 2013, Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 435, 1126-1138.
2. Dermott, S. F., "On the origin of commensurabilities in the solar system-II. The orbital period relation" 1968, Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 141, 363-376.
3. Georgiev, Ts. B., "Titius-Bode law in the Solar System" 2016, Bulgarian Astron. J., 24, 1-15. In print; <http://www.astro.bas.bg/AIJ/>
4. Graner, F.; Dubrulle, B., "Titius-Bode laws in the solar system. 1: Scale invariance explains everything" 1994, Astron. Astrophys. 282, 262-268.
5. Neslusan, L., "The significance of the Titius-Bode law and the peculiar location of the Earth's orbits" 2004, Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 351, 133-136.
6. Poveda, A., Lara P., "The exo-planetary System of 55 Cancri and the Titius-Bode Law" 2008, Rev. Mex. Astron. Astrofys., 34, 49-52.
7. Sheppard, S. S. 2014, Retrieved 2014-12-19. The Giant Planet Satellite and Moon Page.
Departamentesoe pa pajaro of Terrestrial Magnetism at Carnegie Institution for science.
<http://home.dtm.ciw.edu/users/sheppard/satellites/>

SUBSTORMS DURING TWO SOLAR CYCLES MAXIMUM

Irina Despirak¹, Andris Lubchich¹, Natalya Kleimenova²

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

Keywords: Substorms, westward electrojet; solar wind, solar cycles

Abstract: The substorms, observed during the large solar cycle maximum (1999–2000, with $W_p > 100$) and during the last maximum (2012–2013 with $W_p \sim 60$), were studied. All considered substorms were divided into 3 types: “usual”, “expanded” and “polar” substorms. First type - substorms which observed only in auroral latitudes; second type - substorms which propagate from auroral latitudes ($< 70^\circ$) to polar geomagnetic latitudes ($> 70^\circ$); third type is substorms which observed only at latitudes above $\sim 70^\circ$ in the absence of simultaneous geomagnetic disturbances below 70° . Our analysis was based on the 10-s sampled IMAGE magnetometers data, the 1-min sampled OMNI solar wind and interplanetary magnetic field (IMF) data. There were analyzed above 1700 events of “expanded”, “polar” and “usual” substorms in 1999–2000 and in 2012–2013 years. The following substorm characteristics have been studied: (i) the seasonal variations of substorms, (ii) the latitudinal range of all three types of substorms, (iii) dependences of all three types of substorms on solar wind parameters and PC index.

СУББУРИ ВО ВРЕМЯ ДВУХ МАКСИМУМОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Ирина Дэспирак¹, Андрис Любчич¹, Наталья Клейменова²

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

Ключевые слова: Суббури, западный электроджет, солнечный ветер, солнечный цикл

Abstract: На основе данных наземных наблюдений на скандинавском профиле магнитометров IMAGE и базы данных OMNI по солнечному ветру проведен сравнительный анализ условий появления суббури вблизи максимумов 23-го ($W_p \sim 115$) и 24-го ($W_p \sim 65$) циклов солнечной активности (1999–2000 и 2012–2013 г.г.). Все суббури были разделены на 3 типа в соответствии с динамикой аврорального овала. Первый тип - суббури, которые наблюдаются только в авроральных геомагнитных широтах, ниже 70° («обычные» суббури). Второй тип - суббури, которые перемещаются из авроральных ($< 70^\circ$) в полярные ($> 70^\circ$) геомагнитные широты («высокоширотные» суббури). Третий тип - суббури, которые наблюдаются только на широтах выше $\sim 70^\circ$ при отсутствии одновременных геомагнитных возмущений на широтах ниже $\sim 70^\circ$ («полярные» суббури). Было проанализировано более 1700 случаев «высокоширотных», «полярных» и «обычных» суббури, наблюдавшихся в 1999–2000 и 2012–2013 годах. Проведено сравнение суббури по следующим характеристикам: (i) сезонный ход, (ii) широтный размах всех трех типов суббури, (iii) зависимость всех типов суббури от параметров солнечного ветра и PC-индекса геомагнитной активности.

Introduction

In this paper we studied substorms during the large solar cycle maximum (1999–2000, with $W_p > 100$) and during the last maximum (2012–2013 with $W_p \sim 60$). Namely, we present a comparative analysis of some substorms characteristics and the solar wind conditions observed before substorm onsets.

It is noted that although the history of the substorm study is very long, there are only a few large statistical substorm investigations (e.g. [1],[2],[3],[4],[5]). In these papers were determined 390 substorms events from POLAR UVI ([4]), were found more than 2400 substorm events from IMAGE FUV instrument ([5]), were identified more 5000 substorm events from IMAGE magnetometers

network ([2], [3]). Traditionally, researchers have been considered all substorms. In our work we divided all observed substorms into 3 groups according auroral dynamics. It is known that under normal conditions (moderate disturbance) the auroral oval is located at geomagnetic latitudes about 65-67° ("normal oval"), under quiet conditions (at $B_z > 0$) the auroral oval shrinks and moves to higher latitudes ($> 70^\circ$ GLAT, "contracted oval"), and in disturbed conditions (increased magnitude of the IMF negative B_z component), the equatorward boundary of the oval is shifted down to 50° geomagnetic latitude, while its poleward boundary extends to higher latitudes ("expanded oval") (e.g. [6]). Thus, in our terminology, we call the first type of substorms as "usual" substorms, i.e. substorms which observed only at auroral latitudes. Similarly as the auroral oval is called an "expanded" oval, meaning its extension in the disturbed conditions, we will call "expanded" substorms those which start at the auroral zone and then propagate to very high latitudes. We point out that in the maximum phase of "expanded" substorms, the westward electrojet can be observed at very high geomagnetic latitudes ($> 75^\circ$) ([7]). The third type of substorms, we term as "polar" substorms, according to contracted oval. They represent the isolated bay-like magnetic disturbances, observed at geomagnetic latitudes higher than the location of the typical polarward boundary of the auroral oval ($> 70^\circ$ GLAT) and do not accompanied or preceded by substorm activity at auroral latitudes.

The aim of this work is the comparison of some substorm characteristics of all three types of substorms and the solar wind conditions observed before substorm onsets during two solar cycles maximum: (1999-2000 and 2012-2013). It should be noted that details of substorms at the contracted oval ("polar" substorms) and substorms at the expanded oval ("expanded" substorms) were considered in the recent paper [8]. There are shown many clear examples of the "polar" and "expanded" substorms observed at the IMAGE meridional chain Nurmijarvi - Ny Alesund located at geomagnetic latitudes of 57-75°. Therefore, in this article we will not give examples of "polar" and "expanded" substorms, and focus on the results of the comparison between the different types of substorms during the two maximums of solar activity.

Data

We used the 10-s sampled IMAGE magnetometer data, namely the data of the meridional chain Nurmijarvi - Ny Alesund. The solar wind and Interplanetary Magnetic Field parameters measured by Wind spacecraft were taken from 1-min sampled OMNI database. Two time intervals, close to the different solar cycle maximums are used. First time interval is the period of 1999-2000, which close to the large solar cycle maximum with $W_p > 100$. Second time interval is the period of 2012-2013, which close to the last solar maximum with $W_p \sim 60$. There were selected and analyzed above 1700 events of "expanded", "polar" and "usual" substorms in 1999-2000 and in 2012-2013 years all together. In Table 1 are presented number of analyzed events of all three types of substorms:

Table 1. Number of selected substorm events for different years

Type of substorm	1999	2000	2012	2013
"usual"	363	320	285	285
"expanded"	62	25	27	18
"polar"	42	39	65	64

Results

a) Seasonal variations of substorm number

We calculated the seasonal variations of substorms, observed in two different solar cycle maximums – in 1999-2000 years and in 2012-2013 years. All substorms observed in these time intervals were divided into 3 types according to auroral oval dynamic: "usual" substorms, "expanded" substorms and "polar" substorms. Figure 1 presents the results for 3 different types of substorms and for all substorms: U - "usual" substorms (blue); P - "polar" substorms (green); E - "expanded" substorms (red line); A - all substorms (black line). The seasonal variations of substorms observed during 1999-2000 time intervals are presented in the left panel (a), during 1999-2000 intervals - on the right panel (b).

It is seen that number of substorms is higher during 1999-2000 periods than during 2012-2013 periods. It seen also that summer minimums of substorms number and spring and autumn maximums are common to both periods. However, the "polar" substorms behavior was in opposition to the behavior of other types of substorms. Number of "polar" substorms have maximum in the winter months; wherein it is noted that "expanded" substorms maximum was observed in winter 1999-2000, but not observed in winter 2012-2013.

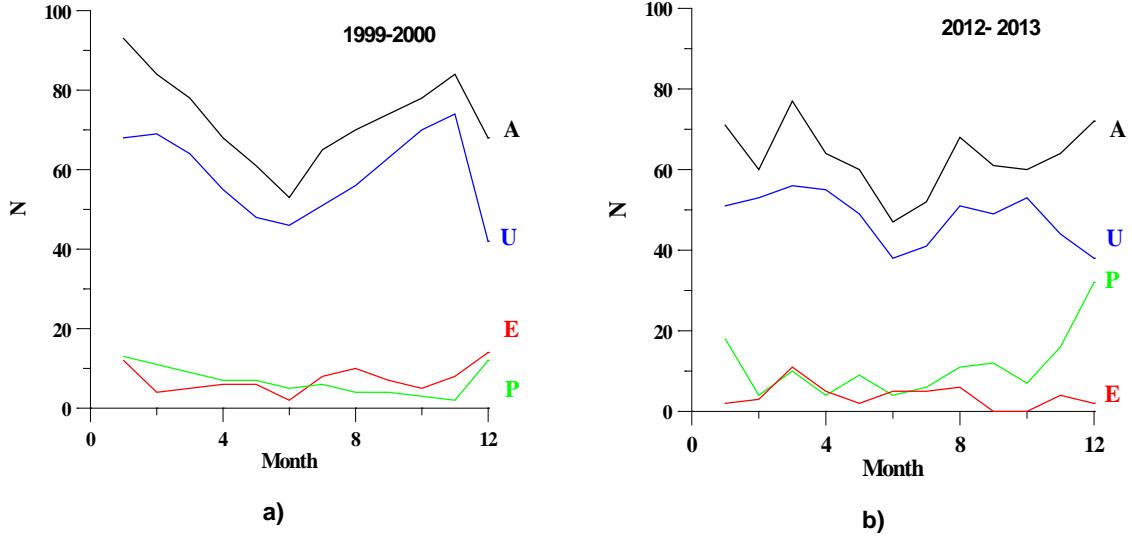


Fig. 1. The seasonal variations of the substorm different types during two solar cycle maxima: (a) – in 1999-2000; (b) – in 2012-2013, A - all substorms (black), U - “usual” substorms (blue), E - “expanded” substorms (red), P – “polar” substorms (green).

b) Onset and maximal latitudes of the substorm occurrence

To determine onset and maximal latitudes of substorm, we used the data of the NUR–NAL (Nurmijarvi – Ny Alesund) meridional chain from 56.89° to 75.25° geomagnetic latitudes. It should be noted that the stations are located irregularly along latitude, and, correspondingly, the substorm latitude was measured discretely and was determined with different accuracy (this accuracy varies from 0.5° to 1.5° depending on a distance between adjacent stations). Onset and maximal latitudes of all 3 types of substorms were determined. For example in the Figure 2 are presented the “usual” substorms onsets and its maximal reaching latitudes. Onset latitudes are marked by the black triangles and maximal latitudes by the red ones. For clarity of latitudes presentation, they were presented as dependences of latitudes on X-component of solar wind velocity (V_x) (b) and Z-component of Interplanetary Magnetic Field (B_z) (a).

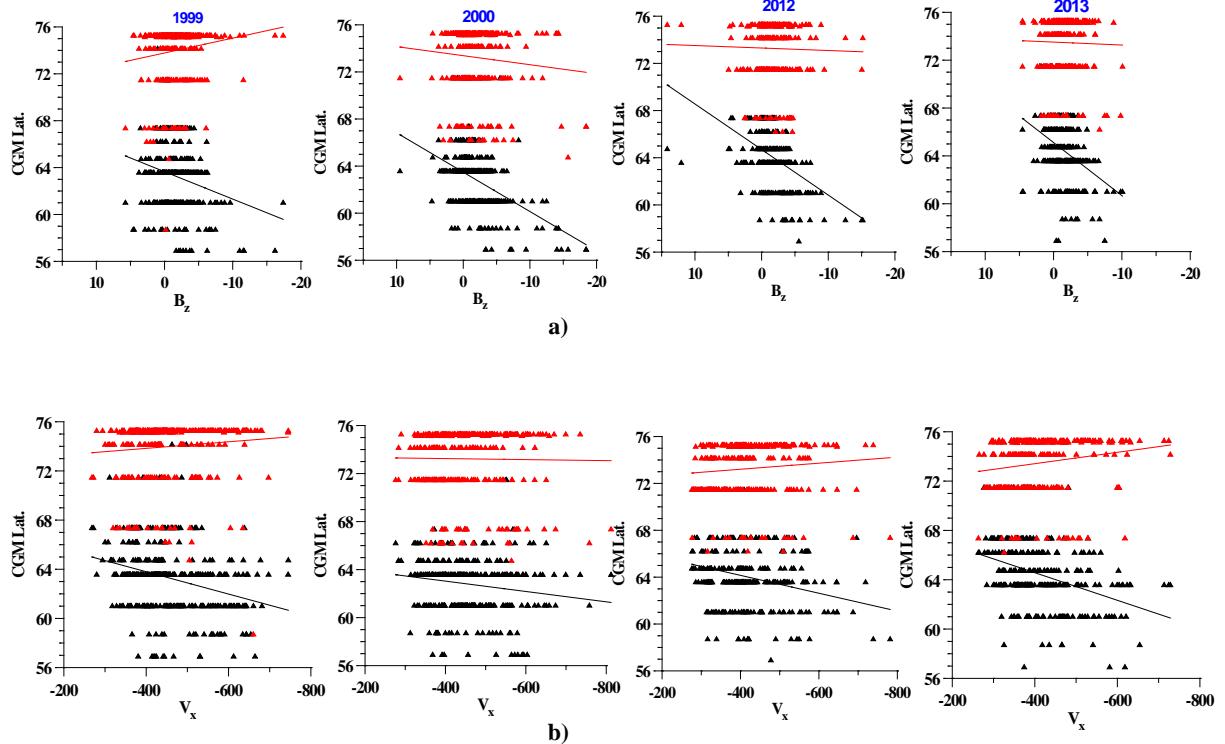


Fig. 2. The maximal reaching latitudes of the “usual” substorm onsets, depending on the solar wind velocity (V_x) (a) and IMF B_z (b) in 1999, 2000, 2012, and 2013.

It is seen that substorms onset latitudes for 1999-2000 years were a little lower than onset latitudes for 2012-2013 years. It is shown also that the latitudinal sizes of substorms in 1999-2000 years were a little more than the latitudinal size of substorms during 2012-2013 years.

We considered the solar wind and IMF parameters observed before the onset of 3 types of substorms. We calculated the values of following solar wind parameters averaged for 1.5 hours before the substorm onset: the B_x , B_y , B_z components of IMF, V_x component of the solar wind velocity, E_y component of the interplanetary electric field, temperature (T), density (N) and dynamic pressure (P) of the solar wind. It is shown that significant differences in distributions of the solar wind parameters between substorms during 1999-2000 and substorms during 2012-2013 have been not found (Figure not presented here).

d) PC-index for all three types of substorms

We also calculated the PC-index values (e.g. [9]) before the onset of three types of substorms. PC-index values were averaged for 1.5 hours interval prior to the moment of substorm onset. Figure 4 shows the histograms of the PC-index values observed before the onset of the "polar" (right top panel, (a)), "expanded" (left top panel, (b)), "usual" (left bottom panel, (c)) and all (right bottom panel, (d)) substorms. The histograms of the PC-index values before substorms for periods 1999-2000 (black lines) and 2012-2013 (blue lines) are shown.

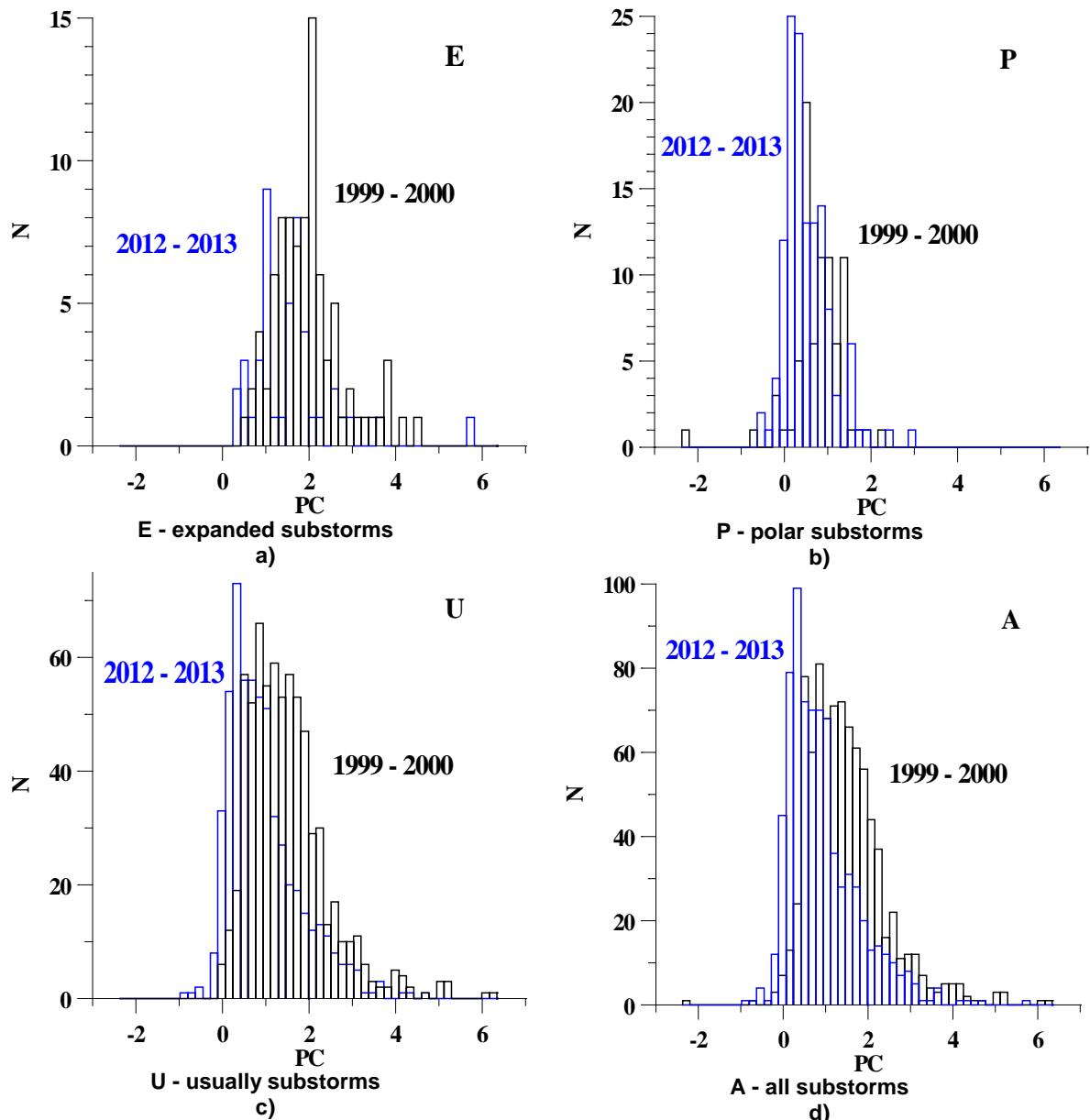


Fig. 3. The PC-index distributions (histograms) before 3 types of substorms during two intervals: 1999-2000 and 2012-2013: E - "expanded" substorms (a), P - "polar" substorms (b), U - "usual" substorms (c), A - all substorms (d).

We also calculated averaged values and the standard deviations of all of the PC-index values before the onset of all of substorms. In the Table 2 are presented averaged values and standard deviations of the PC-index.

Table 2. Averaged values and standard deviations of the PC-index

Type of substorm	1999-2000	2012-2013
"expanded" substorms	1.98 ± 0.80	1.59 ± 0.95
"polar" substorms	0.77 ± 0.59	0.52 ± 0.54
"usual" substorms	1.49 ± 0.92	0.95 ± 0.82
all substorms	1.47 ± 0.93	0.91 ± 0.82

It can be seen that the highest PC-index values are observed before the occurrence of the "expanded" substorms, the lowest value of the PC-index before the occurrence of the "polar" substorms, while the "usual" substorms occur at the intermediate values of the PC-index. At the same time, the PC-index values were 2.57-3.06 times less for the "polar" substorms than for the "expanded" substorms.

It should be noted also that for the substorms which observed during last solar maximum (2012-2013) the PC-index values were 1.3-1.6 times less than for the substorms during the large solar cycle maximum (1999-2000).

4. Discussion

We have carried out a comparative analysis of the occurrence conditions for different types of substorms which observed during the two maxima of solar activity, namely during the large solar cycle maximum (1999- 2000, with $W_p > 100$) and during the last maximum (2012-2013 with $W_p \sim 60$). Three types of substorms, i.e., the "polar", "expanded" and "usual" substorms, were compared with respect to the interplanetary and geomagnetic conditions, namely, the solar wind and IMF parameters and PC-index values before the onset of three types of substorms, etc.

It is shown that the significant differences in distributions of the solar wind parameters (V_x , B_z , P , N , T) has been not found between the substorms during 1999-2000 and substorms during 2012-2013. However, if we compare the two types of substorms - the "polar" substorms and the "expanded" substorms, one can see that the "polar" substorms are observed at low solar wind velocity and the "expanded" substorms – at higher values of the solar wind velocity. This result was obtained recently by Despirak et al. ([8]). However, in this paper, this result is confirmed by other long-time intervals of observations.

In our opinion, the new interesting result of our study is the finding the different values of the PC-index before the occurrence of all three types of substorms. It is shown that the highest PC-index values are observed before the "expanded" substorms, the lowest value of the PC-index before the "polar" substorms. Thus, the PC-index values are 2.57 - 3.06 times less for the "polar" substorms than for the "expanded" substorms. It should be noted that these two types of substorms observed at almost identical high geomagnetic latitudes. However, they appear in different situations and for different preceding conditions. It argues that the conditions of these substorms generation are different, i.e., they reflect the different processes in the magnetotail or different sources.

Conclusions

- Number of substorms is higher in 1999-2000 than in 2012-2013; the summer minimums of substorms number and spring and autumn maxima are common to both periods; the "polar" substorms behavior was opposite to other types of substorms behavior. The number of the "polar" substorms has maximum in the winter months; wherein it is noted that the "expanded" substorms occurrence maximum was observed in winter 1999-2000, but it was not observed in winter 2012-2013.

- The substorms onset latitudes were a little lower in 1999-2000 than in 2012-2013; the substorms latitudinal extent was a little greater in 1999-2000 than in 2012-2013.

- There were no significant differences of the solar wind parameters (V_x , B_z , P , N , T) before substorms in 1999-2000 and in 2012-2013.

- For all three types of substorms which observed during last solar maximum (2012-2013) the PC-index values are 1.3- 1.6 times lower than for substorms during the large solar cycle maximum (1999-2000). It is shown also that the PC-index values are 2.57 - 3.06 times lower for the "polar" substorms than for the "expanded" substorms.

Acknowledgements

The WIND data used in this study were taken from OMNI web site http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/cdaweb/istp_public/. We are grateful to J. N. King and N. Papatashvili, the heads of the experiments conducted with these instruments.

This study was supported by Program No 7 of the Presidium of the RAS. The study is part of a joint Russian - Bulgarian Project 1.2.10 of PGI RAS and IKIT-BAS under the Fundamental Space Research Program between RAS and BAS.

References:

1. Borovsky, J. E., Nemzek R. J., Belian R. D. The occurrence rate of magnetospheric-substorm onsets: Random and periodic substorms. *J. Geophys. Res.*, 105, 3807-3813, 1993.
2. Tanskanen, E., Pulkkinen T. I., Koskinen H. E. J., Slavin J.A. Substorm energy budget during low and high solar activity: 1997 and 1999 compared. *J. Geophys. Res.*, 107, 1086, doi:10.1029/2001JA900153. 2002.
3. Tanskanen, E. I., Slavin J. A., Tanskanen A. J., Viljanen A., Pulkkinen T. I., , Koskinen H. E. J., Pulkkinen A., Eastwood J. Magnetospheric substorms and strongly modulated by interplanetary high-speed streams, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L16104, doi:10.1029/2005GL023318, 2005
4. Newell,P.T., Liou K., Sotirelis T., Meng C.-I. Auroral precipitation power during substorms: A Polar UV Imager-based superposed epox analisys. *J. Geophys. Res.*, 106, 28885-28896, 2001.
5. Frey, H. U, Mende S. B., Angelopoulos V., Donovan E. F. Substorm onset observations by IMAGE-FUV. *J. Geophys. Res.*, 109, A10304, doi:10.1029/2004JA010607, 2004.
6. Feldstein ,Y. L., Starkov G. V. Dynamics of auroral belt and geomagnetic disturbances. *Planet. Space Sci.* 15, 209–229, 1967.
7. Despirak, I. V., Lyubchich A. A., Biernat H. K., Yakhnin A. G. Poleward expansion of the westward electrojet depending on the solar wind and IMF parameters. *Geomag. Aeron.* 48, 284–292, 2008.
8. Despirak, I. V., Lyubchich A. A., Kleimenova N. G. Polar and high latitude substorms and solar wind conditions. *Geomag. Aeron.* 54, 575-582, 2014.
9. Troshichev, O., Janzhura A. Relationship between the PC and AL indices during repetitive bay-like magnetic disturbances in the auroral zone. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 71, 1340-1352, 2009.

MATHEMATICAL ANALYSIS OF THE PI2 GEOMAGNETIC PULSATIONS IN “POLAR” AND “HIGH-LATITUDE” SUBSTORMS

Nikita Zelinsky¹, Natalya Kleimenova¹, Ludmila Malysheva¹, Irina Despirak², Andris Lubchich²

¹*Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow, Russia*

²*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia
e-mail: kleimen@ifz.ru*

Keywords: Substorms, Pi2 pulsations, westward electrojet; solar wind

Abstract: In our terminology, the “polar substorms” are isolated substorms, observed at geomagnetic latitudes higher 70° and not accompanied or preceded by substorms at auroral latitudes; the “high-latitude substorms” are the substorms which start at auroral and then drift to the polar latitudes. Here we apply the methods of the discrete mathematical analysis (DMA), namely the calculation of the general dispersion of the two-dimensional covariance matrix of the wave, to study the global latitudinal structure of the Pi2 ($f=8-25$ mHz) geomagnetic pulsations, which were observed during several polar and high-latitude substorms. For this analysis, we used the observations of 10-s sampled IMAGE meridian magnetometer profile data and 1-s sampled data from some mid-latitude and equatorial INTERMAGNET stations. We found that generally the Pi2 pulsations bursts associated with both types of substorms occurred simultaneously from polar to equatorial latitudes. However, the wave polarization was different at different latitudes. The strongest Pi2 pulsations were recorded at the electrojet location latitudes. The Pi2 behaviour during two considered types of substorms is presented and discussed.

Introduction

Despite the fact that Pi2 geomagnetic pulsations ($f=8-20$ mHz) have been widely studied for more than half a century and several hundred works are devoted to them, the mechanism of their generation and their role in the physics of magnetosphere substorms have not been finally established so far. There are some monographs and reviews in which the morphological characteristics of Pi2 pulsations at different latitudes and possible mechanisms of their generation are discussed (e.g., [1], [2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]). The mechanisms of Pi2 propagation in the magnetosphere from the generation area to the Earth’s surface have also not been established. Consequently, the analysis of Pi2 features remains an important task for studying the physical mechanism of the generation of this type of pulsation and its source localization.

One of the most important properties of Pi2 pulsations is their clear link with onset of the explosive phase (breakup) of the magnetospheric substorm [9]. The magnetic substorms are observed not only at auroral latitudes but at polar latitudes as well. All substorm disturbances observed in polar latitudes we divided into two types: “high-latitude substorms” [10], which expand from auroral ($<70^\circ$) to polar ($>70^\circ$) geomagnetic latitudes and “polar substorms” [11], which are observed at geomagnetic latitudes higher than 70° in the absence of disturbances below 70°.

The aim of this paper is to study the Pi2 latitude distribution and wave polarization during these types of substorms. For the analysis, we used the observations of 10-s sampled IMAGE meridian magnetometer profile data and 1-s sampled data from some mid-latitude and equatorial INTERMAGNET stations.

Method of the analysis

The Pi2 pulsations here have been analyzed by applying the fuzzy logic methods of the Discrete Mathematical Analysis –DMA developed in some papers (e.g., [12], [13], [14]).

The first step of the observation data processing included the filtration within the 8–20 mHz range using a band-pass Butterworth filter with a zero-phase shift [15], the amplitude-response curve of which is maximally smooth in the frequency bandwidth. The chosen DMA rectification for this analysis was so called the generalized variance, calculated as the Kolmogorov mean [16] of eigenvectors of the covariance component data [17]. The covariance matrix calculation in the window is the known procedure for polarization analysis.

Results

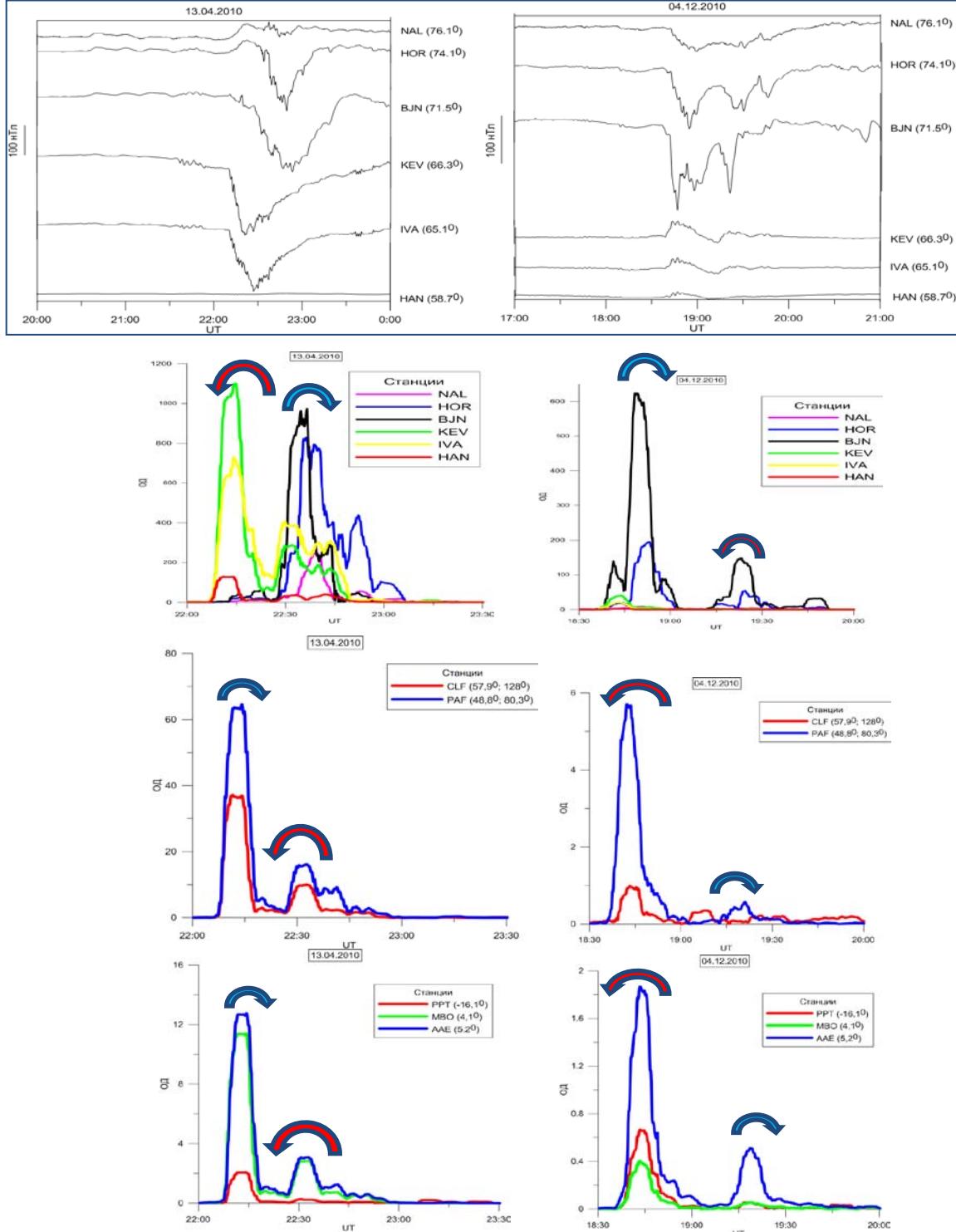


Fig. 1. Magnetograms from some IMAGE stations and plots of the generalized variance of Pi2 pulsations (relative units) at high, middle, and equatorial latitudes during the “high-latitude” (left) and “polar” (right) substorms; the arrows indicate the rotation direction of the wave polarization.

First at all it was found that each Pi2 bursts in both types of substorms was observed in the global scale of the latitude: the Pi2 bursts were coherent at high, middle and equatorial stations located along the same geomagnetic meridian. It was sharp amplitude decreasing with latitude declining. The Pi2 amplitude at the equator was much stronger at night side than at day side.

The principal axis of the polarization ellipse and the direction of the polarization vector rotation were determined (shown by the arrows in Fig. 1). It can be seen that the auroral burst of Pi2 pulsations in the region of their amplitude maximum was characterized by the left-hand polarization,

while the polar Pi2 burst was chartered by the right-hand polarization. We note that the right-hand polarization burst of Pi2 pulsations at polar latitudes was also observed during the “polar substorm” (right side of the Fig. 1). The change of the Pi2 polarization with the substorm shift from auroral to polar latitude is seen in the left part of Fig. 1.

We found that the Pi2 polarization change near the geomagnetic latitude $\sim 70^\circ$ is the regular fact. One can see it clearly in Fig.2, illustrated that for two more examples.

Another change of the sign of the wave polarization was observed near the plasmapause and then it remains the same to the equator (Fig. 1).

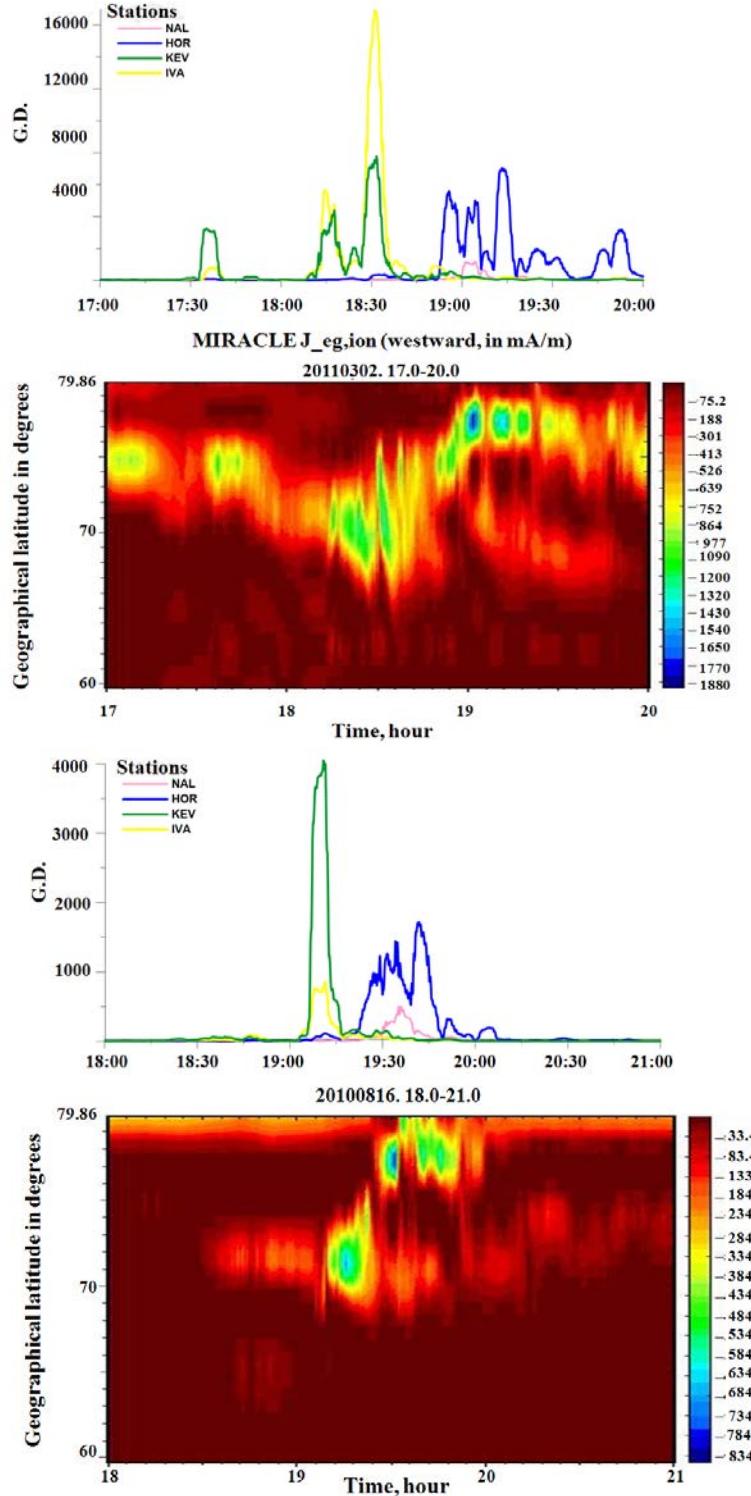


Fig. 2. Two more examples of Pi2 pulsations in the “high-latitude” substorms

It was found that the solar wind and IMF parameters are different in the case of the "polar" and "high-latitude" substorms. Typically, the "polar" substorms occur under the low solar wind velocity < 500 km/s in the late recovery phase of a magnetic storm. Contrary to that, the "high-latitude" substorms are observed during high speed solar wind streams (HSS) in the early recovery phase of a magnetic storm under the high solar wind velocity > 500 km/s ([18]). The typical solar wind and IMF parameters for the "high-latitude" substorms are shown in Fig. 3.

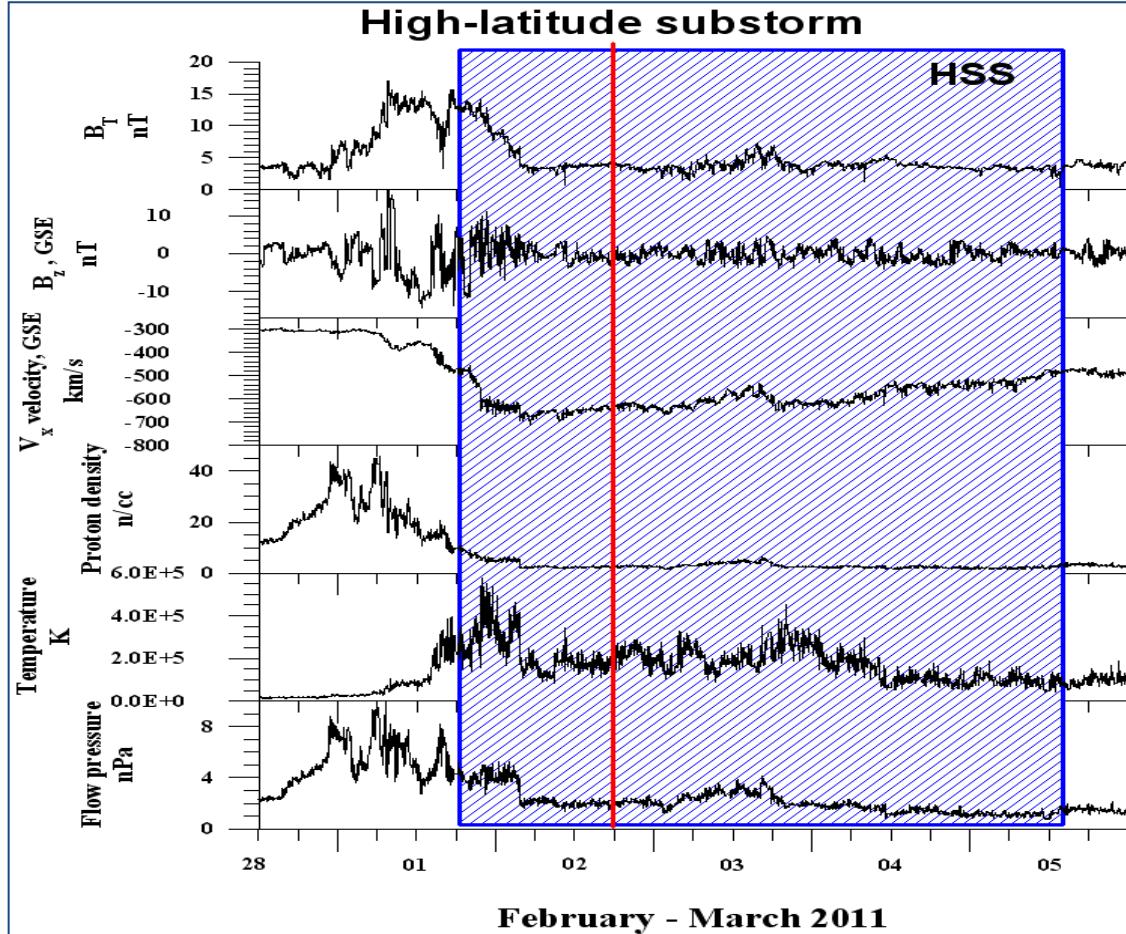


Fig. 3. Solar wind and IMF parameters typical for "high-latitude" magnetic substorm

One of the presumable sources of the Pi2 pulsations could be fast plasma flows in the magnetotail (BBFs) that are directed to the Earth. A statistical link of these flows with generation of Pi2 pulsations is shown in a number of works (e.g., [19]). A possible scheme of the generation of the BBF-induced Pi2 pulsations is shown by [6]. A BBF "impact" on the closed magnetosphere generates a fast mode of wave (compression wave) propagating along the Earth's radius to the equator, as it was recorded on satellites and at the ground-based low-latitude stations. These Pi2 pulsations are referred by [6] to "*directly driven Pi2*". Moreover, the appearance of the fluctuating field aligned electric currents is most likely connected to the auroral and polar bursts of Pi2 pulsations discussed in this work.

Conclusions

- It was shown that the bursts of Pi2 pulsations in a frequency band of 8–20 mHz accompanied substorm both types ("polar" and "high-latitude") occur simultaneously at a global latitude scale: from polar to equatorial latitudes. The spatial dynamics of the maximum amplitude location of the Pi2 pulsations corresponds to the spatial dynamics of the westward electrojet center location.

- We revealed a very important fact, namely, the regular change of the polarization rotation direction of the substorm associated Pi2. It was left-handed at the auroral latitudes ($< 70^\circ$) while right-handed at the polar ones ($> 70^\circ$). During both types of substorms, the sign of the polarization vector rotation changed near plasmapause and then remains the same to the equator. Thus, the direction of

the Pi2 polarization vector rotation, observed at low and even equatorial latitudes could be used as an indicator where these Pi2 pulsations were generated low or higher of 70° geomagnetic latitude.

Acknowledgements

This study was supported by the Program No 7 of the Presidium of the Russian Academy of Sciences (RAS). The work is based on a collaborative effort of the PGI RAS and IKIT-BAS in frame of the Russian-Bulgarian Project 1.2.10 “The influence” under the Fundamental Space Research Program between RAS and BAS. N.G. Kleimenova was partly supported by the grant No.13-05-00233 of the Russian Foundation for Basic Research. N.R. Zelinsky was partly supported by the grant No.16-35-00069 Мол_a of the Russian Foundation for Basic Research.

References:

1. Troitskaya, V. A., Gul'el'mi A. V. Geomagnetic pulsations and diagnostics of magnetosphere, Usp. Fiz.Nauk 196997, 453–494, 1969.
2. Saito, T. Geomagnetic pulsations, Space Sci. Rev. 10, 319–412, 1969.
3. Baumjohann, W., Glassmeier K.-H. The transient response mechanism and $Pi2$ pulsations at substorm onset: Review and outlook, Planet. Space Sci. 32, 1361–1370, 1984.
4. Yumoto, K. Generation and propagation mechanisms of low-latitude magnetic pulsation: A review, J. Geophys.Res. 60, 79–105, 1986
5. Olson, J. V. $Pi2$ pulsations and substorm onsets: A review, J. Geophys. Res. 104, 17499–17520, 1999.
6. Kepko L., Kivelson M.G., Yumoto K. Flow bursts, braking, and $Pi2$ pulsations, J. Geophys. Res. 106, A02, 1903–1915, 2001.
7. Kleimenova, N. G. Geomagnetic pulsations, in Modeli kosmosa (Models of Space), Panasyuk, M.I., Ed., Moscow: Moscow State Univ., 1, 511–627, 2007.
8. Keiling, A., Takahashi K. Review of $Pi2$ models, Space Sci. Rev. 161, 63–148, 2011.
9. Saito, T., Yumoto K., Koyama Y. Magnetic pulsation $Pi2$ as a sensitive indicator of magnetospheric substorm, Planet. Space Sci. 24, 1025–1029, 1976.
10. Despirak, I. V., Lyubchich A. A., Biernat H. K., Yakhnin A. G. Poleward expansion of the westward electrojet depending on the solar wind and IMF parameters. Geomag. Aeron. 48, 284–292, 2008.
11. Kleimenova, N.G., Antonova E.E., Kozyreva O.V., Malysheva L.M., Kornilova T.A., Kornilov I.A. Wave structure of magnetic substorms at high latitudes. Geomagnetism and Aeronomy (Engl. Transl.), 52, 746–754, 2012.
12. Agayan, S. M., Bogoutdinov Sh. R., Gvishiani A. D., Graeva E. M., Diament M., Zlotnicki J., Rodkin M. V. Issledovanie morfologii signalov na osnove algoritmov nechetkoi logiki (Signal morphology analysis based on fuzzy logic algorithms), Geofiz. Issled., 1, 143–155, 2005 (in Russian).
13. Gvishiani, A. D., Agayan S.M., Bogoutdinov Sh. R. Fuzzy recognition of anomalies in time series, Dokl. Earth Sci. 421, 1, 838–842, 2008.
14. Bogoutdinov, Sh. R., Gvishiani A. D., Agayan S. M., Solovyev A. A., Kin E. Recognition of disturbances with specified morphology in time series. Part 1: Spikes on magnetograms of the worldwide INTERMAGNET network, Izv., Phys. Solid Earth 46, 11, 99-1012, 2010.
15. Kanasevich, E. R. Analiz vremennykh posledovatel'nostei v geofizike (Time Sequence Analysis in Geophysics), Moscow: Nedra, 1985.
16. Kolmogorov A.N. Matematika i mehanika. Izbrannye trudy (Mathematics and Mechanics: Selected Works), Nikol'skii, S.M., Ed., Moscow: Nauka, 1985, v. 1, 136–138, 1985.
17. Means, J. D. Use of the three-dimension covariance matrix in analyzing the polarization properties of plane waves, J. Geophys. Res. 77 (28), 5551–5559, 1972.
18. 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.
19. Hsu, T.-S., McPherron R.L. A statistical study of the relation of $Pi2$ and plasma flows in the tail, J. Geophys. Res., 112, A05209. doi 10.1029/2006JA011782, 2007.

GALACTIC COSMIC RAY SPECTRA DURING SOLAR CYCLE

Marusya Buchvarova, Dimitar Draganov

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

Key words: cosmic rays, modulation, solar cycle

Abstract: Parker's transport equation expresses the basic physical processes affecting the cosmic ray (CR) transport in the heliosphere. However, adequate theoretical description of the modulated galactic cosmic ray (GCR) spectra in the heliosphere during solar cycle is a difficult task because the theoretical models consider many parameters whose values are not known throughout the heliosphere. That is why the development of empirical and theoretical approximations is recommended, especially for calculation of CR's atmospheric effects and for practical tasks [1]. A model, whose parameters can be given as a function of the solar-heliospheric and geomagnetic parameters, is presented. Because the flux of GCRs has a delay relatively to the values of determined parameters, we can use them to predict the intensity of the galactic cosmic rays. The BESS (Balloon-borne Experiment with Superconducting Spectrometer) experimental spectra of GCRs are fitted by the model. Because measurement data contain both random and systematic errors, a constrained least squares method for the calculation of the unknown model parameters is applied [2].

СПЕКТРИ НА ГАЛАКТИЧНИТЕ КОСМИЧЕСКИ ЛЪЧИ ПРЕЗ СЛЪНЧЕВИЯ ЦИКЪЛ

Маруся Бъчварова, Димитър Драганов

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

Ключови думи: космични лъчи, модулация, слънчев цикъл

Резюме: Транспортното уравнение на Паркер обобщава основните физични процеси, влияещи върху транспорта на космическите лъчи (КЛ) в хелиосферата. Въпреки това точното описание на модулираните спектри на галактичните КЛ в хелиосферата през слънчевия цикъл си остава трудна за решаване задача, тъй като теоретичните модели разглеждат множество параметри, чиито стойности често са неизвестни в даден момент и за дадено място в хелиосферата. Затова е препоръчително развитието на емпирични и теоретични апроксимации, които да се използват при пресмятане на атмосферните ефекти на космическите лъчи и за други практически задачи [1]. Ние даваме модел, чиито параметри са функция на подходящо избрани слънчево-хелиосферни параметри. Тъй като интензитетът на галактичните космически лъчи за дадена енергия показва известно закъснение спрямо стойностите на тези параметри, ние можем да използваме това, за да предскажем спектъра на космическото лъчение. Данните за спектрите на галактичните космически лъчи, получени от BESS измерванията, са фитнати към предложения моделен спектър. Понеже измервателните данни съдържат и случаи и систематични грешки за пресмятане на неизвестните моделни параметри е приложена една модификация на метода на най-малките квадрати - constrained least squares method [2].

Introduction

The 11-year cosmic-ray heliospheric modulation in the energy range from several hundred MeV to tens of GeV is determined by convection-diffusion, adiabatic energy changes as well as drift effects, which play a specific role in the changes of the profiles of the GCR intensity (flat or picked) in different 11-year cycles of solar activity [2]. The 22-year cosmic-ray cycle is dominated by the 11-year

solar cycle. The drift effects in the modulation of cosmic rays enhance during periods of weak to moderate solar activity, i.e. around solar minima and during negative polarity periods [2].

Adequate theoretical description of the modulated galactic cosmic ray (GCR) spectra in the heliosphere during solar cycle is a difficult task because the theoretical models consider many parameters whose values are not known throughout the heliosphere. That is why the development of empirical and theoretical approximations is recommended, especially for calculation of CR's atmospheric effects and for practical tasks [1]. A model, whose parameters can be given as a function of the solar-heliospheric and geomagnetic parameters, is presented. Because the flux of GCRs has a delay relatively to the values of determined parameters, we can use them to predict the intensity of the galactic cosmic rays.

Cosmic-ray-spectrum approximation model

The *cosmic-ray-spectrum approximation (CRSA) model* [2, 3] is given by the following dependence using a logarithmic scale (see fig.1)

$$(1) \quad \beta = \frac{\ln(D_{\text{LIS}}(E + E_0)) - \ln(D(E))}{\ln(E + \alpha) - \ln(E)},$$

Here α and β are model parameters, $\beta = \tan \tau$, where τ is the angle at a point corresponding to energy $E + \alpha$; $D_{\text{LIS}}(E + E_0)$ is the local interstellar spectrum.

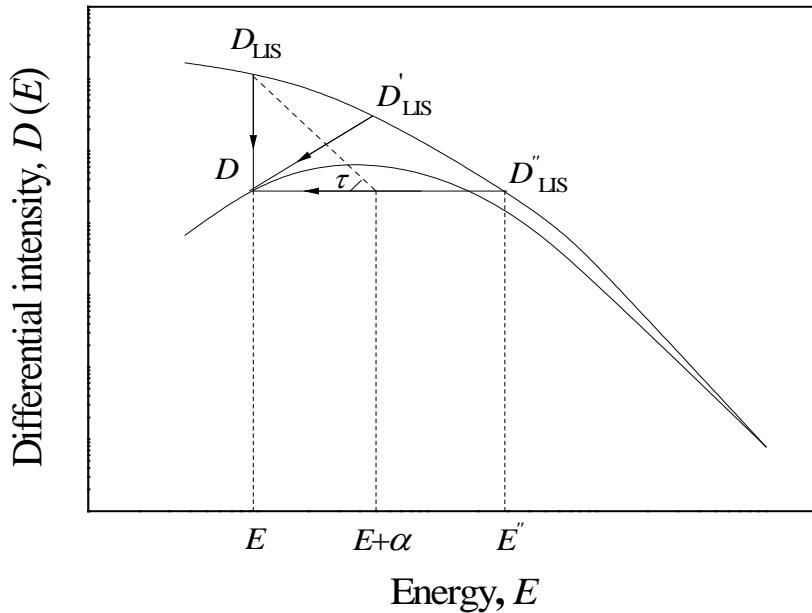


Fig. 1. Local interstellar spectrum $D_{\text{LIS}}(E)$ and differential cosmic ray spectrum $D(E)$ as a function of kinetic energy E . Representation of the trigonometric dependence $\tan \tau$ (equation (1)) using a logarithmic scale [2, 3].

After some transformations equation (1) is written in the form of CRSA model in terms of $D(E)$ [2,3]:

$$(2) \quad D(E) = D_{\text{LIS}}(E) \left(1 + \frac{\alpha}{E}\right)^{-\beta}.$$

In fig. 2 the geometric interpretation of the CRSA model in terms of $f(P)$ and P is given by [2]

$$(3) \quad \beta_P(P) = \frac{\ln(f_{\text{LIS}}(P)) - \ln(f(P))}{\ln(P + \alpha_P) - \ln(P)},$$

$\beta_P = \tan \theta$. Equation (3) can be written in the form [2]

$$(4) \quad f(P) = f_{\text{LIS}}(P) \left(\frac{P + \alpha_P}{P} \right)^{-\beta_P}.$$

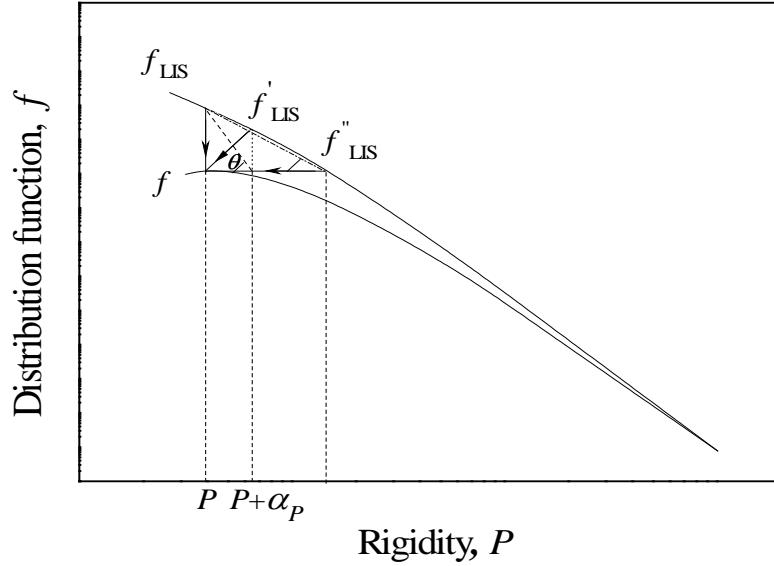


Fig. 2. Local interstellar spectrum $f_{\text{LIS}}(P)$ and modulated cosmic ray spectrum $f(P)$ described by the distribution function f . Representation of the trigonometric dependence $\tan \theta$ (equation (3)) using a logarithmic scale [2].

The drawbacks of the CRSA model approximation is that parameters α and β are not dependent on the time t and rigidity P , and the model does not take into account general trends in the variations of the heliospheric magnetic field; therefore the influence of the drift effects on the shape of the spectral curves for different magnetic field polarity swings is ignored [2]. The development of the CRSA model is related to finding of functional dependences between the coefficients α and β and different heliospheric and solar variables [2]. These dependences can be derived on the base of finding correlations between the variations in CR intensity and various solar (sunspot number, coronal index, number of grouped solar flares) and heliospheric (number of coronal mass ejections, heliospheric current sheet tilt) parameters [2].

The integral GCR spectrum on the Earth is determined by

$$(5) \quad D(>P) = \int_{P_c}^{\infty} D(P) Y(P) dP,$$

where P_c is the geomagnetic cut-off rigidity in the point of measurement; $Y(P)$ is the yield function in the atmosphere.

Buchvarova and Draganov in [1] show that exists a rigidity P_ξ such that

$$(6) \quad \ln D(>P) = \ln D(>P)_{\text{LIS}} - \beta_P \ln \left(1 + \frac{\alpha_P}{P_\xi} \right).$$

Let $g(\alpha_P, \beta_P, P_\xi) = \beta_P \ln\left(1 + \frac{\alpha_P}{P_\xi}\right)$. Using equation (6), Nagashima and Morishita model [4,5]

that gives a relation between cosmic ray intensity and solar activity indices and taking into account some considerations, Buchvarova and Draganov derive a dependence between parameters α_P , β_P , and time-lagged solar-heliospheric parameters for a given rigidity P_ξ in the form [1]:

$$(7) \quad g(\alpha_P, \beta_P, P_\xi) = G\left(\sum_i a_i X_i\right) ,$$

Here $G = G\left(\sum_i a_i X_i\right)$ is function of a linear combination of appropriately selected indices X_i ; a_i are coefficients [6].

CRSA model, experimental data and numerical method

Buchvarova, Velinov, and Buchvarov in [3] show that the inverse problem for the nonlinear equation (2) is well-posed and the Levenberg-Marquardt (LM) algorithm [7] can be used. However, the data for cosmic ray differential spectra contains both systematic and random errors and the LM algorithm based on the simple chi-square minimization is not entirely adequate for these data sets [2]. That is why we use a constrained least squares method (CLAM) as an alternative to the traditional chi-square minimization technique [2, 8].

In our calculations the program Aplcon [8] is used for solving the constrained least squares fit with correlated data and systematic uncertainties [2]. The program is extended to non-Gaussian variables [2]. Aplcon is a method used for difficult problems, which follows accurately the assumed physical and statistical model of the measurement process, and avoids a bias in the result [8]. Because the measured data are not normally distributed, we determine contours for the calculated parameters α and β by profile analysis [2]. In Tables 1 and 2 we list the parameters α and β for the experiments BESS 1997, 1998, 1999, 2000 and 2002 [9, 10] for protons and helium nuclei, respectively [2]. The values of α and β for the helium nuclei for BESS 1997 and BESS 1998 show that the measured spectra $D(E)$ approach a power spectrum [2].

Table 1. Fitting parameters α , β and χ^2 for protons for experiments BESS97, BESS98, BESS99, BESS2000 and BESS2002 [9], $\gamma = 2.7320 \pm 0.022$ and $K=13.700 \pm 1.200$ [2, 10]

Experiments	BESS97	BESS98	BESS99	BESS2000	BESS2002
α	2.567 ± 0.168	1.149 ± 0.050	1.718 ± 0.092	2.454 ± 0.083	2.044 ± 0.058
β	0.723 ± 0.013	1.280 ± 0.019	1.185 ± 0.018	2.033 ± 0.019	2.142 ± 0.019

Table 2. Fitting parameters α , β and χ^2 for helium nuclei for experiments BESS97, BESS98, BESS99, BESS2000 and BESS2002 [9], $\gamma = 2.699 \pm 0.059$ and $K=0.706 \pm 0.115$ [2, 10].

Experiments	BESS97	BESS98	BESS99	BESS2000	BESS2002
α	0.0 ± 0.029	0.0 ± 0.026	0.147 ± 0.091	1.903 ± 0.019	1.600 ± 0.018
β	0.0 ± 0.015	0.0 ± 0.015	1.700 ± 0.015	1.016 ± 0.015	1.001 ± 0.016

Conclusion

In this work a model, whose parameters can be presented as a function of the solar-heliospheric and geomagnetic parameters, is given. Because the flux of GCRs has a delay relatively to the values of determined parameters, we can use them to predict the intensity of the galactic cosmic rays. We have calculated the unknown model parameters from the proposed model equation (2) for the experiments BESS 1997, 1998, 1999, 2000, 2002 [9, 10] for protons and helium nuclei by using the constrained least squares method [2, 8, 11, 12, 13]. This method is an alternative to the standard chi-square minimization method because the data for cosmic-ray differential spectra do not only contain random errors, but also systematic ones, and often the systematic errors are significantly bigger than the random errors [2]. A further development of the CRSA model is related to finding functional dependences between the coefficients α and β and different heliospheric and solar variables [2]. These dependences can be derived on the basis of finding correlations between the variations in CR intensity and various solar (sunspot number, number of grouped solar flares) and heliospheric

(number of coronal mass ejections, heliospheric current sheet tilt) parameters [2]. The study of the contributions of these parameters to the long-term CR modulation would lead to a better approximation to the observed intensities during solar cycles [2].

References:

1. Buchvarova, M., D. Draganov. Models of galactic cosmic-ray spectrum during the solar cycle. Proceedings of the 4th School and Workshop on Space Plasma Physics. AIP Conference Proceedings, **1551**, 2013, pp. 170-178.
2. Buchvarova, M., D. Draganov. *Solar Phys.* **284**, 2013, pp. 599-614.
3. Buchvarova, M., P. Velnov, I. Buchvarov. *Planet. Space Sci.* **59**, 2011, pp. 355-363.
4. Nagashima, K., I. Morishita. Long Term Modulation of Cosmic Rays Part I – Basic Equation as a Function of Solar Activity, Derived from Coasting Solar Wind Model. Proceedings of 16 ICRC 3, edited by S. Miyake, Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo, 1979, pp. 313–318.
5. Nagashima, K., I. Morishita. *Planet. Space Sci.* **28**, 1980, pp. 177–194.
6. Mavromichalaki, H., E. Paouris, T. Karalidi. *Solar Phys.* **245**, 2007, pp. 369–390.
7. Press, W.H., S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, B.P. Flannery. Numerical Recipes in C. The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
8. Blobel, V., 2010; <http://www.desy.de/~blobel/apltalk.pdf>
9. Shikaze Y., S. Haino, K. Abe, H. Fuke, T. Hams, K.C. Kim, Y. Makida, S. Matsuda, J.W. Mitchell, A.A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, J.F. Ormes, T. Sanuki, M. Sasaki, E.S. Seo, R.E. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, T. Yamagami, et al. Measurements of 0.2–20 GeV/n cosmic-ray proton and helium spectra from 1997 through 2002 with the BESS spectrometer. *Astropart. Phys.* **28**, 2007, pp. 154-167.
10. Yamamoto, A. Precise Measurement of Low Energy (<TeV) Cosmic-Ray Flux with BESS, in: Energy Budget in the High Energy Universe. Proceedings of the International Workshop, 22-24 February 2006, Kashiwa, Japan; edited by S. Katsuhiko and J. Hisano. Published by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2007, pp. 94-101.
11. Blobel, V., 1997; www.desy.de/~blobel/condfit.ps.
12. Blobel, V., 2003; <http://graduierten-kurse.physi.uni-heidelberg.de/WiSe2003/lectures/blobel/export/master.pdf>.
13. Blobel, V., 2009; http://www.itp.uzh.ch/cosmostats/talks/blobel_asconatalk.pdf.

ИЗВЕЖДАНЕ НА НЯКОИ ПОТЕНЦИАЛНО ВАЖНИ ЗА ФИЗИКАТА И АСТРОФИЗИКАТА МАСИ ПОСРЕДСТВОМ АНАЛИЗ НА РАЗМЕРНОСТИТЕ

Димитър Вълев

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: valev@gbg.bg

Ключови думи: анализ на размерностите, фундаментални константи, общо решение на линейни системи

Резюме: Към трите фундаментални константи (скоростта на светлината, гравитационната константа и Планковата константа), използвани от Макс Планк за извеждане на Планковата маса посредством анализ на размерностите, е добавена и константата на Хъбъл. В резултат на това е намерено общо решение за величината с размерност на маса $m = \gamma^p m_p$, където m_p е Планковата маса, $\gamma \approx 1.23 \times 10^{-61}$ е малка безразмерна величина, а p е произволен параметър в интервала $[-1, 1]$. Установено е, че Планковата маса $m_1 \equiv m_p = 2.17 \times 10^{-8}$ kg, масата на сферата на Хъбъл $m_2 \sim 10^{53}$ kg, минималния квант маса/енергия $m_3 = 2.68 \times 10^{-69}$ kg, масата на Weinberg $m_5 = 1.08 \times 10^{-28}$ kg, Едингтоновата граница за масата на звездите $M_3 = 6.6 \times 10^{32}$ kg, масата на хипотетичния квантов гравитационен атом $M_2 = 3.8 \times 10^{12}$ kg и още някои потенциално важни за физиката и астрофизиката маси, представляват частни решения за стойност на параметъра p , изразена като дроб с малък числител и знаменател.

DERIVATION OF SOME POTENTIALLY IMPORTANT MASSES FOR PHYSICS AND ASTROPHYSICS BY DIMENSIONAL ANALYSIS

Dimitar Valev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: valev@gbg.bg

Keywords: dimensional analysis, fundamental constants, general solution of linear system

Abstract: The Hubble constant has been added to the three fundamental constants (speed of light, gravitational constant and Planck constant) used from Max Planck for derivation of Planck mass by dimensional analysis. In result, a general solution has been found of mass dimension quantity $m = \gamma^p m_p$, where m_p is the Planck mass, $\gamma \approx 1.23 \times 10^{-61}$ is a small dimensionless quantity and p is an arbitrary parameter in the interval $[-1, 1]$. It has been found that the Planck mass $m_1 \equiv m_p = 2.17 \times 10^{-8}$ kg, mass of the Hubble sphere $m_2 \sim 10^{53}$ kg, minimum quantum of mass/energy $m_3 = 2.68 \times 10^{-69}$ kg, Weinberg mass $m_5 = 1.08 \times 10^{-28}$ kg, Eddington mass limit of stars $M_3 = 6.6 \times 10^{32}$ kg, mass of hypothetical quantum gravity atom $M_2 = 3.8 \times 10^{12}$ kg and some more masses potentially important for the physics and astrophysics appear particular solutions for values of p , represented as fraction with small numerator and nominator.

Въведение

Анализът на размерностите е ефективен метод, който често се използува във физиката и астрофизиката за да се разбере физическата ситуация, която се определя от известни физически величини [1-4]. Обикновено той се използува за да се провери правдоподобността на изведените уравнения и пресмятания. Когато е известно дадена физическа величина с кои други величини е свързана, но формата на връзката е неизвестна, се съставя размерностно уравнение за намиране на тази връзка. В лявата страна на уравнението се поставят

размерността на физическата величина q_0 с нейния размерностен степенен показател. В дясната страна на уравнението се поставя произведението от размерностите на определящите величини q_i , повдигнати на степени n_i $[q_0] \sim \prod_{i=1}^n [q_i]^{n_i}$, където n е цяло положително число, а n_i са рационални числа. Най-често анализът на размерностите се използва в механиката, аеродинамиката, астрофизиката и други области от съвременната физика, където има много процеси, зависещи от малък брой определящи ги величини.

Планковата маса $m_p \equiv m_p \sim \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = 2.17 \times 10^{-8} \text{ kg}$ е изведена в [5] посредством анализ на

размерностите с използването на 3 фундаментални константи – скоростта на светлината във вакуум (c), универсалната гравитационна константа на Нютон (G) и редуцираната Планкова константа \hbar . Планковата маса е масата, чиято Компътнова дължина на вълната $\lambda = \frac{\hbar}{mc}$ е равна на нейния гравитационен (Шварцшилдов) радиус $R_S = \frac{2Gm}{c^2}$ [6]. Съгласно Резултатите съвременната квантова теория на полето, еквивалентната енергия на Планковата маса $E_p = m_p c^2 \sim 10^{19} \text{ GeV}$ представлява енергията при която четирите фундаментални взаимодействия се сливат в единно универсално взаимодействие [7].

Към константите c , G и H в [8] бе добавена и константата на Хъбъл H и за всяка от тройките константи (c, G, H) , (c, \hbar, H) и (G, \hbar, H) бе еднозначно изведена величина с размерност на маса. По такъв начин бяха намерени 3 нови фундаментални маси – $m_2 = \frac{c^3}{GH} \sim 10^{53} \text{ kg}$, $m_3 = \frac{\hbar H}{c^2} = 2.68 \times 10^{-69} \text{ kg}$ и $m_4 = \sqrt[5]{\frac{H\hbar^3}{G^2}} = 1.43 \times 10^{-20} \text{ kg}$. Масата m_2 бе идентифицирана с масата на сферата на Хъбъл, m_3 – с минималния квант маса/енергия, а m_4 се предполага, че е масата на все още неизвестна свръхтежка частица или фундаментална енергетична скала.

В настоящата работа търсим величина с размерност на маса като произведение от рационални степени на четирите константи – c , G , \hbar и H .

Общо решение на задачата за намиране на величина с размерност на маса посредством фундаменталните константи c , G , \hbar и H

Посредством анализ на размерностите търсим величина m с размерност на маса като произведение от рационални степени n_1 , n_2 , n_3 и n_4 на константите c , G , \hbar и H :

$$(1) \quad m = k c^{n_1} G^{n_2} \hbar^{n_3} H^{n_4}$$

В уравнение (1) n_1 , n_2 , n_3 и n_4 са неизвестни степенни показатели, които могат да бъдат определени посредством изравняване на размерностите от двете страни на уравнението, а k е безразмерен параметър (кофициент) от порядъка на единица.

Замествайки размерностите на m , c , G , \hbar и H получаваме размерностното уравнение:

$$(2) \quad L^0 T^0 M^1 = L^{n_1+3n_2+2n_3} T^{-n_1-2n_2-n_3-n_4} M^{-n_2+n_3}$$

От уравнение (2) получаваме система линейни уравнения за неизвестните n_1 , n_2 , n_3 и n_4 :

$$(3) \quad \begin{aligned} n_1 + 3n_2 + 2n_3 &= 0 \\ -n_1 - 2n_2 - n_3 - n_4 &= 0 \\ -n_2 + n_3 &= 1 \end{aligned}$$

Рангът на разширена матрица на системата е $r = 3$ и е равен на ранга на матрицата на системата. Поради това системата е съвместима, т.е. има решение. Тъй като броят на неизвестните е $m = 4 > r = 3$, следва че системата е неопределена и общото решение на

системата ще зависи от един произволен параметър p . Считайки n_4 за свободен параметър $n_4 = p$ системата (3) се преобразува в:

$$(4) \quad \begin{aligned} n_1 + 3n_2 + 2n_3 &= 0 \\ -n_1 - 2n_2 - n_3 &= p \\ -n_2 + n_3 &= 1 \end{aligned}$$

Детерминантата на системата е $\Delta = 2 \neq 0$ поради което системата има решение зависещо от произволен параметър p . Посредством формулите на Крамер намираме решението на системата (4) спрямо неизвестните n_1 , n_2 и n_3 :

$$(5) \quad n_1 = (1-5p)/2, \quad n_2 = (p-1)/2, \quad n_3 = (p+1)/2, \quad n_4 = p,$$

където p е произволен параметър.

Замествайки решението (5) в уравнение (1) получаваме уравнение (6) за масата m :

$$(6) \quad m \sim c^{(1-5p)/2} G^{(p-1)/2} \hbar^{(p+1)/2} H^p$$

Математически параметърът p може да приема произволни стойности от $-\infty$ до $+\infty$, но физически смисъл биха могли да имат само решенията в интервала $[-1, 1]$, тъй като за крайните стойности $p = 1$ и $p = -1$ се получават съответно най-малката измерима маса във вселената $m_3 \sim \frac{\hbar H}{c^2} = 2.68 \times 10^{-69} \text{ kg} \sim 10^{-33} \text{ eV}$ [9, 10] и най-голямата наблюдана маса – масата на сферата на Хъбъл $m_2 \sim \frac{c^3}{GH} \sim 10^{-53} \text{ kg}$ [11, 12]. Разглеждаме частните решения при които параметъра $|p| \leq 1$ се явява дроб с малък числител и знаменател, т.е. $p = \pm \frac{1}{3}, \pm \frac{1}{2}, \pm \frac{1}{4}, \pm \frac{1}{5}, \pm \frac{2}{3}$. По-надолу ще покажем, че някои от тези решения водят до масови формули, които могат да представляват интерес за съвременната физика.

Частни решения с потенциално значение за физиката и астрофизиката, при които параметъра $|p| \leq 1$ се явява дроб с малък числител и знаменател

За $p = \frac{1}{3}$ от общото решение (6) получаваме частното решение:

$$(7) \quad m_5 = c^{-\frac{1}{3}} G^{-\frac{1}{3}} \hbar^{\frac{2}{3}} H^{\frac{1}{3}} = \sqrt[3]{\frac{H\hbar^2}{cG}} = 1.08 \times 10^{-28} \text{ kg} \approx 60.8 \text{ MeV}$$

Формула (7) е добре известната масова формула на Вайнберг [13]. Масата m_5 е около 2 пъти по малка от масата на пиона $m_\pi \approx 2.48 \times 10^{-28} \text{ kg}$. Физическият смисъл на тази маса бе намерен от Сиварам [9]. Той показва, че масата на Вайнберг се явява най-малката маса, чиято собствена гравитационна енергия има измерима стойност за времето на съществуване на Вселената $H^{-1} \sim 1.38 \times 10^{10}$ години.

За $p = -\frac{1}{3}$ от общото решение (6) получаваме масата m_6 :

$$(8) \quad m_6 = c^{\frac{4}{3}} G^{-\frac{2}{3}} \hbar^{\frac{1}{3}} H^{-\frac{1}{3}} = c \cdot \sqrt[3]{\frac{c\hbar}{G^2 H}} = 4.36 \times 10^{12} \text{ kg}$$

В [14] е показано, че за хипотетичния ‘Квантов гравитационен атом’, съставен от неутрална централна маса M_G около която на разстояние равно на радиуса на Бор $a_0 = \frac{\hbar^2}{m_e e^2} = 5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$ обикаля електронеутрална частица с маса равна на масата на електрона m_e ,

гравитационният потенциал $V = \frac{GM_G m_e}{a_0}$ е равен на електростатичния потенциал $V_E = \frac{e^2}{a_0}$.

Оттук Форсайт определя централната маса M_G :

$$(9) \quad M_G = \frac{e^2}{Gm_e} = 3.8 \times 10^{12} \text{ kg}$$

За $p = \frac{1}{2}$ от (6) получаваме частното решение:

$$(10) \quad m_7 = c^{-\frac{3}{4}} G^{-\frac{1}{4}} \hbar^{\frac{3}{4}} H^{\frac{1}{2}} = \sqrt[4]{\frac{\hbar^3 H^2}{G c^3}} = 7.64 \times 10^{-39} \text{ kg} = 4.3 \times 10^{-3} \text{ eV}$$

Очевидно масата m_7 , получена от формула (6) при $p = \frac{1}{2}$, е от порядъка на масата на покой на неутриното ν [15].

За $p = -\frac{1}{2}$ от (6) получаваме частното решение:

$$(11) \quad m_8 = c^{\frac{7}{4}} G^{-\frac{3}{4}} \hbar^{\frac{1}{4}} H^{-\frac{1}{2}} = c \cdot \sqrt[4]{\frac{c^3 \hbar}{G^3 H^2}} = 6.18 \times 10^{22} \text{ kg}$$

Масата m_8 представлява около 1% от масата на Земята и е близка до масата на Луната.

За $p = \frac{1}{4}$ от общото решение (6) получаваме:

$$(12) \quad m_9 = c^{-\frac{1}{8}} G^{-\frac{3}{8}} \hbar^{\frac{5}{8}} H^{\frac{1}{4}} = \sqrt[8]{\frac{\hbar^5 H^2}{c G^3}} = 1.29 \times 10^{-23} \text{ kg} = 7.25 \text{ TeV}$$

Тази енергия е типична за енергията на протоните в Големия адронен ускорител и е възможно да има връзка с масата на все още неоткрита свръхтежка частица или фундаментална енергетична скала.

За $p = -\frac{1}{4}$ от общото решение (6) получаваме масата:

$$(13) \quad m_{10} = c^{\frac{9}{8}} G^{-\frac{5}{8}} \hbar^{\frac{3}{8}} H^{-\frac{1}{4}} = c \cdot \sqrt[8]{\frac{c \hbar^3}{G^5 H^2}} = 3.67 \times 10^7 \text{ kg}$$

Масата m_{10} по всяка вероятност няма отношение към фундаменталната физика.

За $p = -\frac{1}{5}$ от общото решение (6) получаваме масата:

$$(14) \quad m_{11} = c G^{-\frac{3}{5}} \hbar^{\frac{2}{5}} H^{-\frac{1}{5}} = c \cdot \sqrt[5]{\frac{\hbar^2}{G^3 H}} = 3.4 \times 10^4 \text{ kg}$$

Масата m_{11} едва ли има никакво физическо значение.

Случаят $p = \frac{1}{5}$ еднозначно води до формулата за масата:

$$(15) \quad m_4 = \sqrt[5]{\frac{H \hbar^3}{G^2}} = 1.43 \times 10^{-20} \text{ kg} = 8.0 \times 10^6 \text{ GeV}$$

Тази маса също не може да бъде идентифицирана и може да се разглежда като евристично предсказание на предложениия модел.

За $m_7 = \sqrt[4]{\frac{\hbar^3 H^2}{G c^3}}$ от общото решение (6) получаваме частното решение:

$$(16) \quad m_{12} = c^{-\frac{7}{6}} G^{-\frac{1}{6}} \hbar^{\frac{5}{6}} H^{\frac{2}{3}} = \frac{1}{c} \cdot \sqrt[6]{\frac{\hbar^5 H^4}{c G}} = 5.39 \times 10^{-49} \text{ kg} = 3.0 \times 10^{-13} \text{ eV}$$

Тази маса е близка до една от седемте фундаментални еквидистантни маси намерени в [16], а именно масата $M_{(-1)} = 7.15 \times 10^{-49} \text{ kg}$.

За $p = -\frac{2}{3}$ от общото решение (6) получаваме масата m_{13} :

$$(17) \quad m_{13} = c^{\frac{13}{6}} G^{-\frac{5}{6}} \hbar^{\frac{1}{6}} H^{-\frac{2}{3}} = c^2 \cdot \sqrt[6]{\frac{c \hbar}{G^5 H^4}} = 8.76 \times 10^{32} \text{ kg}$$

Масата m_{13} в [16] бе идентифицирана с Едингтоновата гранична маса на най-масивните звезди.

Изведените по-горе маси за които параметъра $|p| \leq 1$ в общото решение се явява дроб с малък числител и знаменател са представени в Табл. 1.

Таблица 1. Маси за които параметъра $|p| \leq 1$ в общото решение се явява дроб с малък числител и знаменател.

Стойност на p	Маса соответствуваща на p	Идентификация на масата
-1	$m_2 = \frac{c^3}{GH} = M = 1.76 \times 10^{53} \text{ kg}$	Маса на наблюдаваемата Вселена M_H
$-\frac{2}{3}$	$m_{13} = c^2 \cdot \sqrt[6]{\frac{c \hbar}{G^5 H^4}} = 8.76 \times 10^{32} \text{ kg}$	Едингтонова гранична маса за звездите
$-\frac{1}{2}$	$m_8 = c \cdot \sqrt[4]{\frac{c^3 \hbar}{G^3 H^2}} = 6.18 \times 10^{22} \text{ kg}$	Маса на Луната (Типичен спътник на планета)
$-\frac{1}{3}$	$m_6 = c \cdot \sqrt[3]{\frac{c \hbar}{G^2 H}} = 4.36 \times 10^{12} \text{ kg}$	'Квантов гравитационен атом' M_G
$-\frac{1}{4}$	$m_{10} = c \cdot \sqrt[8]{\frac{c \hbar^3}{G^5 H^2}} = 3.67 \times 10^7 \text{ kg}$	-
$-\frac{1}{5}$	$m_{11} = c \cdot \sqrt[5]{\frac{\hbar^2}{G^3 H}} = 3.40 \times 10^4 \text{ kg}$	-
0	$m_1 = \sqrt{\frac{c \hbar}{G}} = 2.17 \times 10^{-8} \text{ kg}$	Планкова маса m_p
$\frac{1}{5}$	$m_4 \sim \sqrt[5]{\frac{H \hbar^3}{G^2}} = 1.43 \times 10^{-20} \text{ kg}$	Предсказание на метода за свръхмасивна частица
$\frac{1}{4}$	$m_9 = \sqrt[8]{\frac{\hbar^5 H^2}{c G^3}} = 1.29 \times 10^{-23} \text{ kg}$	Предсказание на метода за неизвестна масивна частица
$\frac{1}{3}$	$m_5 = \sqrt[3]{\frac{H \hbar^2}{c G}} = 1.08 \times 10^{-28} \text{ kg}$	Маса на Вайнберг m_W
$\frac{1}{2}$	$m_7 = \sqrt[4]{\frac{\hbar^3 H^2}{G c^3}} = 7.64 \times 10^{-39} \text{ kg}$	Неутрино ν
$\frac{2}{3}$	$m_{12} = \frac{1}{c} \cdot \sqrt[6]{\frac{\hbar^5 H^4}{c G}} = 5.39 \times 10^{-49} \text{ kg}$	Маса на Форсайт-Вълев $M_{(-1)}$
1	$m_3 = \frac{\hbar H}{c^2} = 2.68 \times 10^{-69} \text{ kg}$	Минимален квант маса/енергия m_H (Масивен гравитон)

Вероятно общото решение (6) съдържа и други маси, интересни от физическа гледна точка, но неопределеността на параметъра p не позволява да се намерят тези маси.

Общото решение (6) може да се преобразува по следния начин:

$$(18) \quad m \sim c^{\frac{1}{2} - \frac{5}{2}p} G^{-\frac{1}{2} + \frac{p}{2}} \hbar^{\frac{1}{2} + \frac{p}{2}} H^p = \sqrt{\frac{c\hbar}{G}} \left(\sqrt{\frac{G\hbar H^2}{c^5}} \right)^p$$

Очевидно първият множител в уравнение (18) $\sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = m_p = 2.17 \times 10^{-8} \text{ kg}$ е масата на Планк. Вторият множител $\sqrt{\frac{G\hbar H^2}{c^5}} = \gamma = 1.23 \times 10^{-61}$ е безразмерна величина с изключително

малка стойност. Замествайки тези величини в (18) получаваме друга форма на запис на общото решение (6):

$$(19) \quad m \sim \left(\sqrt{\frac{G\hbar H^2}{c^5}} \right)^p m_p = \gamma^p m_p,$$

където m_p е Планковата маса, $\gamma = \sqrt{\frac{G\hbar H^2}{c^5}} \sim 10^{-61}$ е изключително малка безразмерна величина, а p е произволен параметър.

Заключения

Към трите фундаментални константи (скоростта на светлината c , гравитационната константа G и Планковата константа \hbar), използвани от Макс Планк за извеждане на Планковата маса посредством анализ на размерностите, е добавена и константата на Хъбъл H . Посредством анализ на размерностите се търси величина m с размерност на маса като произведение от рационални степени на константите c , G , \hbar и H . В резултат на това е намерено общо решение за величината с размерност на маса $m = \gamma^p m_p$, където $m_p = 2.17 \times 10^{-8} \text{ kg}$ е Планковата маса, $\gamma = 1.23 \times 10^{-61}$ е малка безразмерна величина, а p е произволен параметър в интервала $[-1, 1]$.

Показано е, че Планковата маса $m_1 \equiv m_p = \sqrt{\frac{c\hbar}{G}} = 2.17 \times 10^{-8} \text{ kg}$, масата на сферата на Хъбъл $m_2 \sim \frac{c^3}{GH} \sim 10^{53} \text{ kg}$, минималния квант маса/енергия $m_3 \sim \frac{\hbar H}{c^2} = 2.68 \times 10^{-69} \text{ kg}$, масата на Вайнберг $m_5 = \sqrt[3]{\frac{H\hbar^2}{cG}} = 1.08 \times 10^{-28} \text{ kg}$, Едингтоновата граница за масата на звездите $M_3 = 6.6 \times 10^{32} \text{ kg}$, масата на хипотетичния квантов гравитационен атом $M_2 = 3.8 \times 10^{12} \text{ kg}$ и още някои потенциално важни за физиката и астрофизиката маси, представляват частни решения за стойност на параметъра p , изразена като дроб с малък числител и знаменател. Твърде вероятно е някои от неидентифицираните маси да имат евристично значение за астрофизиката и физиката на високите енергии.

Литература:

1. Bridgman, P. W. Dimensional Analysis. Yale Univ. Press, New Haven, 1922.
2. Kurth, R. Dimensional Analysis and Group Theory in Astrophysics. Pergamon Press, Oxford, 1972.
3. Bhaskar, R., A. Nigam Qualitative physics using dimensional analysis. Artificial Intelligence, Vol. 45, pp. 73-111, 1990.
4. Petty, G. W. Automated computation and consistency checking of physical dimensions and units in scientific programs. Software – Practice and Experience, Vol. 31, pp. 1067-1076, 2001.
5. Planck, M. The Theory of Heat Radiation. Dover Publications, New York, 1959; translation from German Ed. 1906.
6. Bergmann, P. G. The Riddle of Gravitation. Dover Publications, New York, 1992.
7. Georgi, H., H.R. Quinn, S. Weinberg Hierarchy of interactions in unified gauge theories. Phys. Rev. Lett., Vol. 33, pp. 451-454, 1974.
8. Valev, D. Three fundamental masses derived by dimensional analysis. Am. J. Space Sci., Vol. 1, Issue 2, pp. 145-149, 2013.

9. Sivaram, C. Cosmological and quantum constraint on particle masses. Am. J. Phys., Vol. 50, pp. 279, 1982.
10. Alfonso-Faus, A. Universality of the self gravitational potential energy of any fundamental particle. *Astrophys. Space Sci.*, Vol. 337, pp. 363-365, 2012.
11. Carvalho, J.C. Derivation of the mass of the observable universe. *Int. J. Theor. Phys.*, Vol. 34, pp. 2507-2509, 1995.
12. Valev, D., Determination of total mechanical energy of the universe within the framework of Newtonian mechanics. Preprint : arxiv: 0909.2726, 2009.
13. Weinberg, S. *Gravitation and Cosmology*. Wiley, New York, 1972.
14. Forsythe, C. J. Resonance structure of matter, nature of gravitation, and the quantum energy states of the hydrogen atom. *Phys. Essays*, Vol. 22: pp. 112-121, 2009.
15. Goobar, A., S. Hannestad, E. Mortsell and H. Tu The neutrino mass bound from WMAP 3 year data, the baryon acoustic peak, the SNLS supernovae and the Lyman- α forest. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, Issue 06, id. 019, 2006.
16. Forsythe, C. J. and D. T. Valev Extended mass relation for seven fundamental masses and new evidence of large numbers hypothesis. *Phys. Int.*, Vol. 5, Issue 2, pp. 152-158, 2014.

ХАОТИЧНИ ДВИЖЕНИЯ НА НЕБЕСНИТЕ ТЕЛА

Костадин Шейретски¹, Румен Шкевов², Николай Ерохин³

¹Университет за национално и световно стопанство

²Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

³Институт за космически изследвания – Руска академия на науките

e-mail: sheyretska@unwe.bg, shkevov@space.bas.bg

Ключови думи: небесна механика, нелинейни динамични системи, астрономия

Резюме: В работата е направен обзор на най-ярките прояви на хаотичното поведение при движението на космическите тела. Дадени са примери за хаос както при орбиталните движения, така и при движения около центъра на масата на космически обекти. Изведени са условията за възникване на хаотичен режим при движението на изкуствен спътник.

CHAOTIC MOTION OF THE CELESTIAL BODIES

Kostadin Sheiretsky¹, Rumen Shkevov², Nikolay Erokhin³

¹University of National and World Economy

²Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

³Space Research Institute – Russian Academy of Sciences

e-mail: sheyretska@unwe.bg, shkevov@space.bas.bg

Keywords: celestial mechanics, nonlinear dynamic systems, astronomy

Abstract: The work gives an overview of the most striking manifestations of chaotic behavior in the movement of the celestial bodies. The examples of chaos in both the orbital motion and in motion around the center of mass of space objects are given. The conditions for occurrence of chaotic regime in the movement of an artificial satellite are outlined.

Примери за хаотични движения на небесните тела

В Слънчевата система са известни много примери на резонансно и хаотично поведение: резонансна структура на главния астероиден пояс и празнини на Киркууд [1], [2], структура на пояса на Койпер [3], орбитални резонанси на спътниците с планетите около които обикалят [4], [5], орбитален резонанс и хаос в орбитите на самите планети [6], [8], [9]. Разглеждането на тези въпроси е тясно свързано с устойчивостта на Слънчевата система.

Уравнението на движението около центъра на масата екваториален спътник на планета е изведено от Белецки [10]

$$(1) \quad (1 + e \cos v) \frac{d^2 \delta}{dv^2} - 2e \sin v \frac{d\delta}{dv} + 3 \frac{A - C}{B} \sin \delta = 4e \sin v, \delta = 2\Theta.$$

В уравнението v е истинската аномалия, Θ е ъгъла между оста на инерция на тялото и радиус-вектора на неговата орбита, A, B, C са главните инерчни моменти на спътника.

Информация за глобалното поведение на множеството от траектории, получени при решаване на уравнение (1) дава методът на точковите изображения. Най-информативната числена реализация на този метод, свеждащ се до численото интегриране на уравнение (1) и извеждане на резултати с периодичност равна на орбиталния период, тоест в точките

$\nu = 2\pi l$, $l = 1, 2, \dots$. Фазовият портрет в равнината $\left(\Theta, \Theta' = \frac{d\Theta}{d\nu} \right)$ уравнение (1), интегрирано

числено за $\omega_{f_0}^2 = 0.1$, $e = 0.1$ показва [11] хаотично „море“ на движенията в които са разположени „острови“ на регулярни движения, съответстващи на устойчиво резонансно въртене [12]. Центровете на островите съответстват на стабилни движения:

$$(2) \quad \Theta = \frac{k-m}{m}\nu + k(\nu); k(\nu + 2\pi m') = k(\nu),$$

където k, m, m' са цели числа. Това движение е $k:m$ резонанс. Тук k определя броя на завъртанията които спътника прави около оста си за m завъртания по орбитата. Резонансът 1:1 представя периодични осцилации около пробегващия радиус-вектор, 3:2 резонанса определя ротация подобна на Меркурий.

Както беше отбелязано, повечето спътници в Слънчевата система се намират в синхронен резонанс. Характерното време необходимо на повечето спътници да достигнат това състояние е значително по-малко от възрастта на Слънчевата система [13]. Оказва се, че това време е обратно пропорционално на приливния момент, който силно зависи от радиуса на спътника и е обратно пропорционален на шестата степен на разстоянието от спътника до планетата. Това води до извода, че малките спътници, разположени далеч от планетите около които обикалят, не са имали достатъчно време да еволовират към състояние на синхронен резонанс. Спътникът на Сатурн Хиперион има необичайна форма 175x120x100 km, ексцентрицитета му е 0.1, а радиуса на орбитата му е 24.5 радиуса на Сатурн. По наблюдения на „Вояджър-1“ и „Вояджър-2“ периода на въртене на Хиперион е 13 денонощия, а орбиталния период е 21.5 денонощия, което ясно показва несинхронност на орбитата.

Уиздъм, Пил и Миняр [14] предлагат необичаен сценарий. Те правят числени и аналитични изследвания на уравнение (1), от които става ясно, че Хиперион не само не е захванат в синхронен резонанс, но и въртенето му изпитва хаотични (в същото време детерминирани) вариации. В същото време Уиздъм и др. Доказват, че въртенето на спътника е неустойчиво с висока степен на вероятност относно наклона на оста на въртене, тоест спътника се „мята“ в пространството. Наземните наблюдения на Клаветер [15] потвърждават тази хипотеза. Хаосът при въртенето на Хиперион е следствие на неговата необичайна форма и големия ексцентрицитет на орбитата му. Приливните сили намаляват ексцентрицитетите на орбитите на спътниците. В случая на Хиперион ексцентрицитетът не може да намалява понеже той е принуден ексцентрицитет пораждащ орбитален резонанс 4:3 с близкия масивен спътник Титан. По тази причина орбитата на Хиперион е устойчива заради резонанса 3:4 с Титан, но въртенето му е хаотично заради взаимодействията на спин-орбиталните резонанси. Съгласно работите на Блек [16], въртенето на Хиперион може да създава впечатление на регулярно за дълги интервали от време, макар въртенето да е формално хаотично.

Напълно вероятно е и други спътници с неправилна форма да изпитват хаотично въртене в продължителни периоди от своята динамична еволюция [17]. Действително, за да може спътникът да бъде захванат в спин-орбитален резонанс, той трябва да пресече хаотичният слой в околностите на сепаратрисите, а това неизбежно води до епизоди на хаотично въртене. Такива периоди са възможни и за сметка на ударни явления изменящи въртеливите свойства на спътника. Епизодите на хаотично въртене могат да предизвикат съществено вътрешно нагряване и изменение на структурата на повърхността на някои спътници. Такива процеси вероятно е изпитал спътника на Марс Фобус и спътника на Уран Миранда [18],[19].

Ласкар и Робутел [20] показват, че наклона на оста на въртене на всяка планета от земната група е могъл да трепти хаотично. В случая на Марс такива трептения са могли да достигнат няколко десетки градуса.

Един случай на хаос при движението на изкуствен спътник

Нека действие на гравитационния, приливния и магнитния момент, се разглежда в случая на равнинно въртене на спътника, който е постоянно намагнитен по протежение на една от главните оси на елипсоида си на инерция, намира се в нютоново гравитационно поле и

диполно поле с $\vec{H} = \frac{\mu_c}{r^3} \{ 3(\vec{K} \cdot \vec{e}_r) \vec{e}_r - \vec{K} \}$, където μ_c е модул на постоянният магнитен момент на централното тяло, \vec{K} е орт на вектора на магнитния момент, \vec{e}_r е орт на радиус-вектора на

точката в пространството, в което се определя напрегнатостта. Оста на дипола през цялото време се намира в равнината на орбитата на небесното тяло. Уравнението, което описва поставената от нас задача [12] е

$$(3) \quad \frac{d^2\delta}{du^2} + \beta \frac{d\delta}{du} + \omega_0^2 \sin \delta = 3\bar{\alpha} \cos\left(\frac{\delta}{2} - u\right) - \bar{\alpha} \cos\left(\frac{\delta}{2} + u\right),$$

където $\omega_0^2 = \frac{3(A-C)}{2B}$, A, B, C - главни моменти на инерция, $\mu = (M+m)\gamma$, γ - гравитацион-

на константа, M - маса на централното тяло, m - маса на спътника, $\bar{\alpha} = \frac{I\mu_c}{B\mu}$, I - постоянен

магнитен момент на небесното тяло с посока успоредна на момента на инерция C , $u = v + \omega$, v - истинска аномалия, ω - постоянна инклинация на радиус-вектора на перигея на спътникова орбита по отношение на екватора на планетата, $\delta = 2\Theta$, Θ е ъгълът, образуван

от посоката определена от C и текущия радиус-вектор на орбитата, $\beta = \frac{\tilde{\delta}}{BR_0^5} \sqrt{\mu R_0}$, R_0 е

радиусът на орбитата, съгласно [21] $\tilde{\delta}$ е положителна константа.

В случая, когато спътникът има сферична форма, т.е. $\omega_0^2 = 0$, може да въведем нова променлива x посредством равенството

$$x = \frac{\delta}{2} - \frac{\pi}{2} - u.$$

В този случай уравнение (3) приема вида

$$(4) \quad \frac{d^2x}{du^2} + \beta \left(\frac{dx}{du} + 1 \right) + \varpi^2 \sin x = \frac{\varpi^2}{3} \sin(x + 2u),$$

Нека направим замяната $\varpi u = \tau$ в уравнение (4). Означаваме с $\beta_2 = \frac{\beta}{\varpi^2}$ и въвеждаме

две нови променливи η и $\tilde{\theta}$, като свеждаме уравнение (4) до системата

$$(5) \quad \begin{aligned} \frac{dx}{d\tau} &= \eta, \\ \frac{d\eta}{d\tau} &= -\sin \delta - \beta_2(\eta + 1) + \frac{1}{3} \sin(x + 2\tilde{\theta}), \\ \frac{d\tilde{\theta}}{d\tau} &= \frac{1}{\varpi}. \end{aligned}$$

Използваме приетата процедура за намиране интеграла на Мелников [22] и достигаме до следната форма на интегралния критерий за настъпване на хаос

$$(6) \quad D(\tau, \tau_0) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{4\beta_2}{ch^2 \tau} d\tau + \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{2\beta_2}{ch \tau} d\tau - \frac{2}{3} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin\left(2 \arcsin th \tau + \frac{2\tau}{\varpi} + \theta_0\right)}{ch \tau} d\tau.$$

Като извършим интегрирането се достига до резултата

$$(7) \quad D(\tau, \tau_0) = (8 + 2\pi)\beta_2 + \frac{8\pi}{3\varpi^2} \left(\frac{1}{sh \frac{\pi}{\varpi}} - \frac{1}{ch \frac{\pi}{\varpi}} \right) \sin \theta_0.$$

Когато знакът на $D(\tau, \tau_0)$ се мени, сепаратрисите се пресичат и движението в дадената област се явява хаотично. От (7) следва, че това произтича при

$$(8) \quad \beta_2 < \frac{8\pi}{3\omega_0^2(8+2\pi)} \left(\frac{1}{sh \frac{\pi}{\omega}} - \frac{1}{ch \frac{\pi}{\omega}} \right).$$

Заключение

В статията е показана ключовата роля на хаотичните движения за обясняване поведението на космическите тела. Въпреки вълната от научни резултати в тази област, която наблюдавахме в края на миналият век, все още основните проблеми които възникнаха при изучаването на нерегулярните движения. Този факт от друга страна дава основание да считаме, че бъдещето ще ни донесе нови фундаментални резултати в класическата област небесна механика, която много учени считат в момента за почти напълно завършена наука.

Литература:

1. Wisdom, J. (1982). The origin of the Kirkwood gaps: A mapping technique for asteroidal motion near the 3/1 commensurability, *Astron. J.* 87, 577–593.
2. Wisdom, J. (1983). Chaotic behavior and the origin of the 3/1 Kirkwood gap, *Icarus* 56, 51–74.
3. Ипатов, С. И., Миграция небесных тел в Солнечной системе. УРСС. Москва, 2000.
4. Murray, C. D. The structure of the 2:1 and 3:2 Jovian resonances, *Icarus* 65/1986, 70–82.
5. Wisdom, J. (1987a). Urey Prize Lecture: Chaotic dynamics in the solar system, *Icarus* 72, 241–275.
6. Roy, A. E., Walker, I. W., Macdonald, A. J., Williams, I. P., Fox, K., Murray, C. D., Milani, A., Nobili, A. M., Message, P. J., Sinclair, A.T., Carpino, M. (1988). Project LONGSTOP, *Vistas in Astronomy* 32, 95–116.
7. Sussman, G., Wisdom, J. Chaotic Evolution of the Solar System. *Science, New Series*, Vol. 257, No. 5066 (Jul. 3, 1992), 56-62.
8. Laskar, J. Secular evolution of the Solar System over 10 million years, *Astron. Astrophys.* 198/1988, 341–362.
9. Laskar, J. Large scale chaos in the solar system, *Astron. Astrophys.* 287/1994, L9–12.
10. Белецкий, В. В., Движение искусственного спутника относительно центра масс. Наука. М., 1965.
11. Beleczkij, V. M. Pivovarov, E. Starostin, Regular and chaotic motions in applied dynamics of a rigid body. *Chaos*, Vol. 6, No. 2, 1996
12. Белецкий, В. В., Хентов, А. А., Вращательное движение намагниченного спутника. Наука. Москва, 1985.
13. Мюррей, К., Дермотт, С., Динамика Солнечной системы. Физматлит. Москва, 2009.
14. Wisdom, J., Peale, S. J. and Mignard, F. (1984). The chaotic rotation of Hyperion, *Icarus* 58, 137–152.
15. Klavetter, J. J. (1989). Rotation of Hyperion. I. Observations, *Astron. J.* 97, 570–579.
16. Black, G. J., Nicholson, P. D., and Thomas, P. C. Hyperion: Rotational dynamics, *Icarus* 117, 149–171.1995
17. Wisdom, J. (1987a). Urey Prize Lecture: Chaotic dynamics in the solar system, *Icarus* 72, 241–275.
18. Wisdom, J. (1987b). Chaotic behaviour in the solar system, *Proc. R. Soc. Lond. A* 413, 109–129.
19. Dermott, S. F., R. Malhotra and Murray, C. D. (1988). Dynamics of the Uranian and Saturnian satellite systems: a chaotic route to melting Miranda? *Icarus* 76, 295–334.
20. Laskar, J., and P. Robutel, The chaotic obliquity of the planets. *Nature*, 361, 608-612, 1993.
21. Goldreich, P, S. Peale, The dynamics of planetary rotations, *Ann. Rev.Astron. Astroph.* 6, 1970, 287.
22. Лихтенберг, А., Либерман, М., Регулерная и стохастическая динамика. Мир. Москва, 1984.

STRUCTURE OF THE SOLAR CORONA IN WHITE LIGHT AND ITS ELLIPTICITY DURING SIX TOTAL SOLAR ECLIPSES

Penka Stoeva¹, Marzouk B. A.², Alexey Stoev¹, Boyan Benev¹

¹*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*

²*National Research Institute of Astronomy and Geophysics (NRIAG), Helwan, Cairo, Egypt*
e-mail: penm@abv.bg; bmarzoke@yahoo.com

Keywords: *Structure of the solar corona, total solar eclipse, flattening index*

Abstract: *Solar corona is very important part of the solar atmosphere, which is not available every time and it is very difficult to observe it. From solar corona we can get more information about outer sun layers. Large-scale structure of the solar corona can be studied during total solar eclipses.*

The structure, shape and brightness of the solar corona significantly change from eclipse to eclipse. They depend on activity of the sun. At maximum solar activity, the corona is very bright and uniform around the solar limb. There are a lot of bright coronal streamers and other active regions on it. During minimum of solar activity the solar corona stretches at the equator and become elliptical.

Flattening index is the first quantitative parameter introduced for analyses of the global structure of the solar corona. It varies with respect to the phase of the solar activity and sunspot number. In this paper we study the solar corona during the 1990, 1999, 2006, 2008, 2009 and 2012 total solar eclipses. We obtain flattening coefficients for all the six eclipses by using a new computer program. Our results are in a good agreement with published results.

СТРУКТУРА НА СЛЪНЧЕВАТА КОРОНА В БЯЛА СВЕТЛИНА И НЕЙНАТА СПЛЕСНАТОСТ ПО ВРЕМЕ НА ШЕСТ ПЪЛНИ СЛЪНЧЕВИ ЗАТЪМНЕНИЯ

Пенка Стоева¹, Марзук Бешир², Алексей Стоев¹, Боян Бенев¹

¹*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*

²*Национален изследователски институт по астрономия и геофизика, Хелван, Кайро, Египет*
e-mail: penm@abv.bg; bmarzoke@yahoo.com

Ключови думи: *Структура на слънчевата корона, пълно слънчево затъмнение, коефициент на сплеснатост на короната*

Резюме: *Слънчевата корона е много важна част от атмосферата на слънцето, която не се вижда постоянно и е много трудно да се наблюдава. От наблюденията на короната на слънцето можем да получим повече информация за външните слоеве на слънцето. Голямомащабната структура на слънцето може да се изучава по време на пълни слънчеви затъмнения.*

Структурата, формата и яркотата на слънчевата корона значително се променят от затъмнение на затъмнение. Те зависят от активността на слънцето. По време на максимум в слънчевата активност, короната е много ярка и еднородна около лимба на слънцето. Има много ярки коронални стримери и други активни области по нея. По време на минимум в слънчевата активност короната се разтяга около екватора и става елиптична.

Коефициентът на сплеснатост на короната е първият количествен параметър, използван за анализ на глобалната структура на слънчевата корона. Той варира по отношение на фазата на слънчевата активност и броя на слънчевите петна. В тази работа ние изследваме короната на слънцето по време на пълните слънчеви затъмнения през 1990, 1999, 2006, 2008, 2009 и 2012 година. Намираме коефициента на сплеснатост за шестте затъмнения като използваме нова компютърна програма. Нашите резултати са в много добро съгласие с публикуваните досега.

Introduction

The total eclipse of the sun is truly a remarkable event not only because of the fact that the beautiful corona, prominences and all other associated phenomena are rendered visible, due to the hiding by the moon of the disc of the sun or the photosphere as it is called, but mainly because it enables astronomers to study these parts of the sun which are always invisible during bright sunshine [1].

The white-light corona, the outermost part of the atmosphere of the sun, has been observed photographically during the total eclipse of the sun since 1860 [2].

During the total solar eclipse, when the moon occults the sun for a few minutes we can observe the outer atmospheric layers of the sun, the chromosphere and the corona. The shape of the corona extends to several solar radii depending on the sunspot cycle [3].

Markova et al. [4] found that the structure of the corona is created by both the global and local magnetic fields. Structure and shape of the white-light corona during the 1997 and 1998 eclipses, considered by the authors, was of minimum type.

Rusin [5] tried to express the shape and structure of the white light corona according to its brightness with three parameters: ellipticity; structure; and integral brightness. All these parameters are closely connected. They vary with activity cycle phase, and reflect mainly the magnetic field of the sun, which is generated below the photosphere, in the convection zone, erupts through the photosphere and permeates the surface.

In this work we compare the defined features of the solar corona during six total solar eclipses (1990, 1999, 2006, 2008, 2009 and 2012) at different phases of the solar activity cycle. Also, we have calculated the flattening index of the solar corona during all eclipses by the help of a new computer program (Mathlab R2012 language program).

Data Used

The observations of total solar eclipses in 1990, 1999, 2006, 2008, 2009 and 2012 were conducted at different sites of the world.

July 20, 1990 – near the town of Kem, Karelia, Russia (Lat. = $64^{\circ}57'$ N, Long. = $34^{\circ}36'$ E, Alt. = 165m).

August 11, 1999 - around the town of General Toshevo, Bulgaria (Lat. = $43^{\circ}41.7'$ N, Long. = $28^{\circ}11.5'$ E, Alt. = 200m).

March 29, 2006 – near the west border of Egypt, Salloum city, Egypt (Lat. = $31^{\circ}34'3.23''$ N, Long. = $25^{\circ}7'39.35'E$, Alt. = 202m).

August 1, 2008 – near the town of Bijsk, Altay, Russia (Lat. = $51^{\circ}58'$ N, Long. = $84^{\circ}57'E$, Alt. = 360m).

July 22, 2009 - near the upper reservoir of the TianHuangPing Pumped Storage Power Station, China (Lat. = $30^{\circ}28'14.2''$ N, Long. = $119^{\circ}35'29.0''$ E, Alt. = 909m), near the Shanghai Observatory, which belongs to the Chinese Academy of Science.

The November 14, 2012 TSE was observed in the region of Mount Molloy, 150 km from Palm Cove, Cairns, Queensland, Australia (Lat. = $16^{\circ}29'45.6''$ S, Long. = $144^{\circ}58'17.4''$ E, Alt. = 342m).

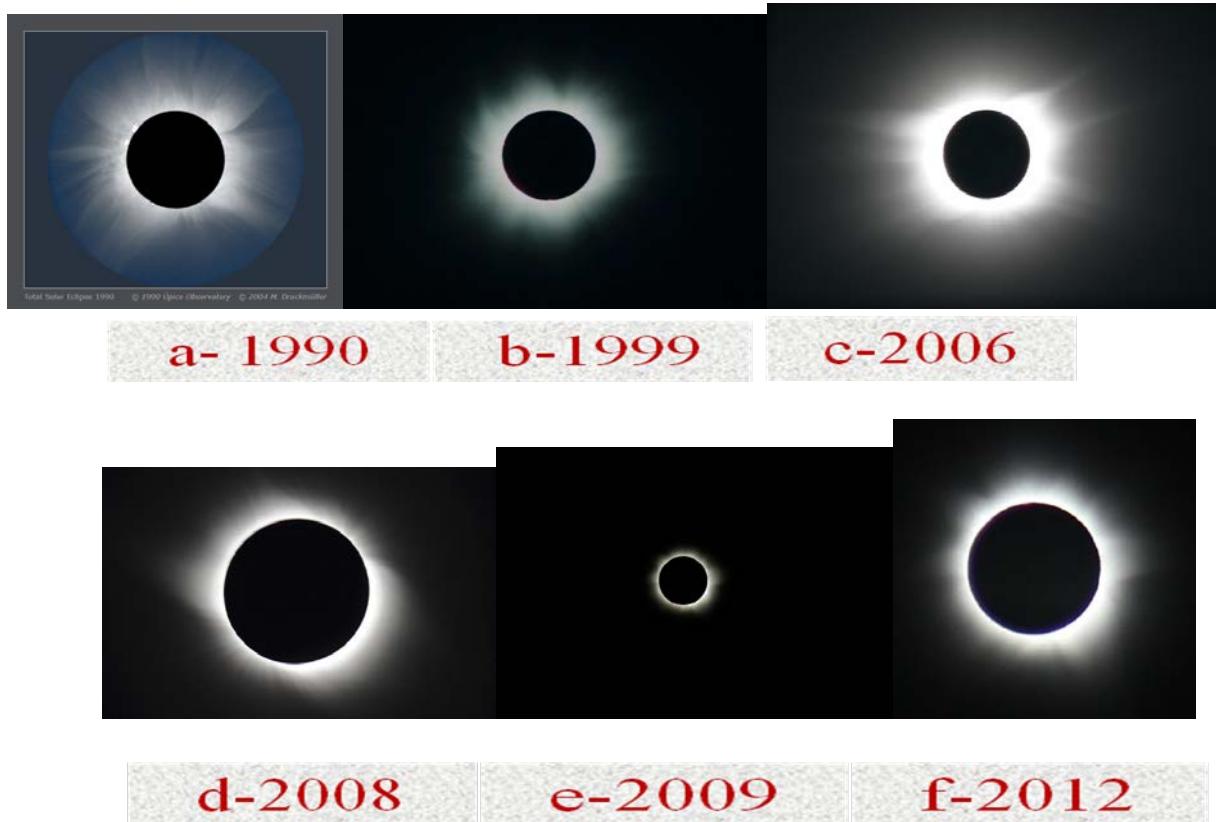


Fig. 1. White-light solar corona during the total solar eclipses,
a- 1990, b-1999, c-2006, d- 2008, e-2009, f-2012

Flattening of the solar corona

The flattening coefficient ε characterizes the shape of the isophotes of the Wight-light solar corona can be defined as:

$$(1) \quad \varepsilon = (r_e / r_p) - 1$$

Where r_e and r_p are the equatorial and polar distances of the isophotes from the center of the solar disk respectively.

Ludendorff [6] made first quantitative analysis of the shape of the solar corona. He analyzed isophotes of coronal images and defined the averaged flattening of the solar corona by the formula

$$(2) \quad \varepsilon = (I + II + VII) / (IV + V + VI) - 1$$

Where I , II, III,,VII designate eight diameters of an isophote separated at angles of $\pm 22.5^\circ$.

Results and Discussion

The most fundamental coronal characteristics (polar plumes, dome-shaped structures and helmet type streamers) have been observed on the images of the studied six total solar eclipses (1990, 1999, 2006, 2008, 2009 and 2012).

The total solar eclipses on 1990 and 1999 were during the maximum of the 22nd and 23rd solar activity cycle, respectively. These coronas show many streamers located at all azimuths around the occulted disk of the Sun (Fig. 1a,b).

The Total Solar Eclipse in 2006 occurred at the minimum of the 23rd solar activity cycle. We can see in Fig. (1c) stalks of helmet extend to 3 solar radii. The existence of different zones in the observed white light corona is clearly noticed.

According to the consensus reached by The Solar Cycle 24th Prediction Panel on May 8, 2009: the 24th solar cycle begins in December 2008. The 2008 total solar eclipse is on the falling branch of the solar cycle. Structures are also outlined on the composite image of the white-light corona - shape of the corona and number of streamers is different. The deviations of dome-shaped structures in western hemisphere are smaller than that in eastern one (see Fig. 1d).

The 2009 total solar eclipse is also in minimum but on the rising branch of the 24th solar cycle. The quiet Sun corona shows larger helmet type streamers concentrated in latitudes near the equator. Image of the white-light corona during the total solar eclipse 2009 (Fig. 1e) also show the typical coronal structures. For 2012 total solar eclipse the white-light corona (Fig. 1f) is a typical maximum type. The active solar corona is full of structures. During sunspot maximum, the corona is very bright and uniform around the solar limb and bright coronal streamers and other condensations associated with active regions are much in evidence.

Studying the three TSEs during minimum of the solar activity cycle we found that deviation of the coronal streamers from radial direction or their inclination towards the equator is larger as a whole for the 2008 (Sunspot Number (SSN) at 2.5) and 2009 (SSN at 4.5) eclipses in comparison with the 2006 TSE (SSN at 17). This fact can be explained with the low solar activity in 2008 and 2009 (deep solar minimum).

Eclipse Year	Flattening index at $r = 2R_\odot$	Corona type
1990	0.12 0.12 0.11 Pishkalo 2011 Steova et al. 2012 this work	Before min of cycle 22 (May 1996)
1999	0.04 0.19 0.20 Pishkalo 2011 Steova et al. 2012 this work	After min of cycle 22 (May 1996)
2006	0.17 0.10 0.16 Pishkalo 2011 Steova et al. 2012 this work	Before min of cycle 23 (Dec 2008)
2008	0.21 0.32 0.34 Pishkalo 2011 Steova et al. 2012 this work	Before min of cycle 23 (Dec 2008)
2009	0.24 0.22 0.25 Pishkalo 2011 Steova et al. 2012 this work	After min of cycle 23 (Dec 2008)
2012	- 0.024 0.02 Pishkalo 2011 Steova et al. 2012 this work	After min of cycle 23 (Dec 2008)

According to Eq. (1) and Eq. (2), we could calculate the flattening parameters at four positions (using a new computer program Matlab R2012 language).

Table 1 shows values of the flattening coefficient ϵ calculated for the six total solar eclipses (1990, 1999, 2006, 2008, 2009 and 2012).

The method we used to calculate the flattening index ϵ values is computerized by using Matlab R2012 language program.

Our results are in good agreement with the published one. For 1990 total solar eclipse we find that the flattening index ϵ is 0.11 and it is in agreement with Pishkalo [7] and Stoeva et al. [8] (equal 0.12).

As we see in Table (1) Badalyan & Sykora [9]; Pishkalo [7], found that the flattening parameter during the total solar eclipse in 1999 is 0.04 and Stoeva et al. [8] found it equal to 0.19, while in this work we've found it equal to 0.2. It is in a good agreement with the published by Stoeva et al. [8].

For 2006 total solar eclipse, Stoeva et al. [8], defined the value of the solar coronal flattening $\epsilon = 0.1$. Pishkalo [7] and Goulopoulos & Pasachoff [10] found that the flattening index ϵ during the total solar eclipse in 2006 is 0.17. Our value for the flattening index ϵ during the total solar eclipse in 2006 is defined to be 0.16, and it is matched with published one by Pishkalo [7] and Goulopoulos & Pasachoff [10].

The flattening index ϵ during the total solar eclipse in 2008 was calculated by Pishkalo [7] and he have found it equal to 0.21, while Stoeva et al. [8] found it equal to 0.32. Our value is matched with the published by Stoeva et al. [8], and it is equal to 0.34.

Pishkalo [7] shows that the flattening index ϵ during the total solar eclipse in 2009 is 0.24, while Stoeva et al. [8] found it equal to 0.22 and in this work we've found it equal to 0.25 and it is in agreement with the published values.

Finally, the flattening index ε during the 2012 total solar eclipse have been calculated by Stoeva et al. [8] and they found it equal to 0.02. Here, we find it equal to 0.024.

The contour maps (isophotes, equidensites) for six total solar eclipses (1990, 1999, 2006, 2008, 2009 and 2012) are shown in Fig. 2.

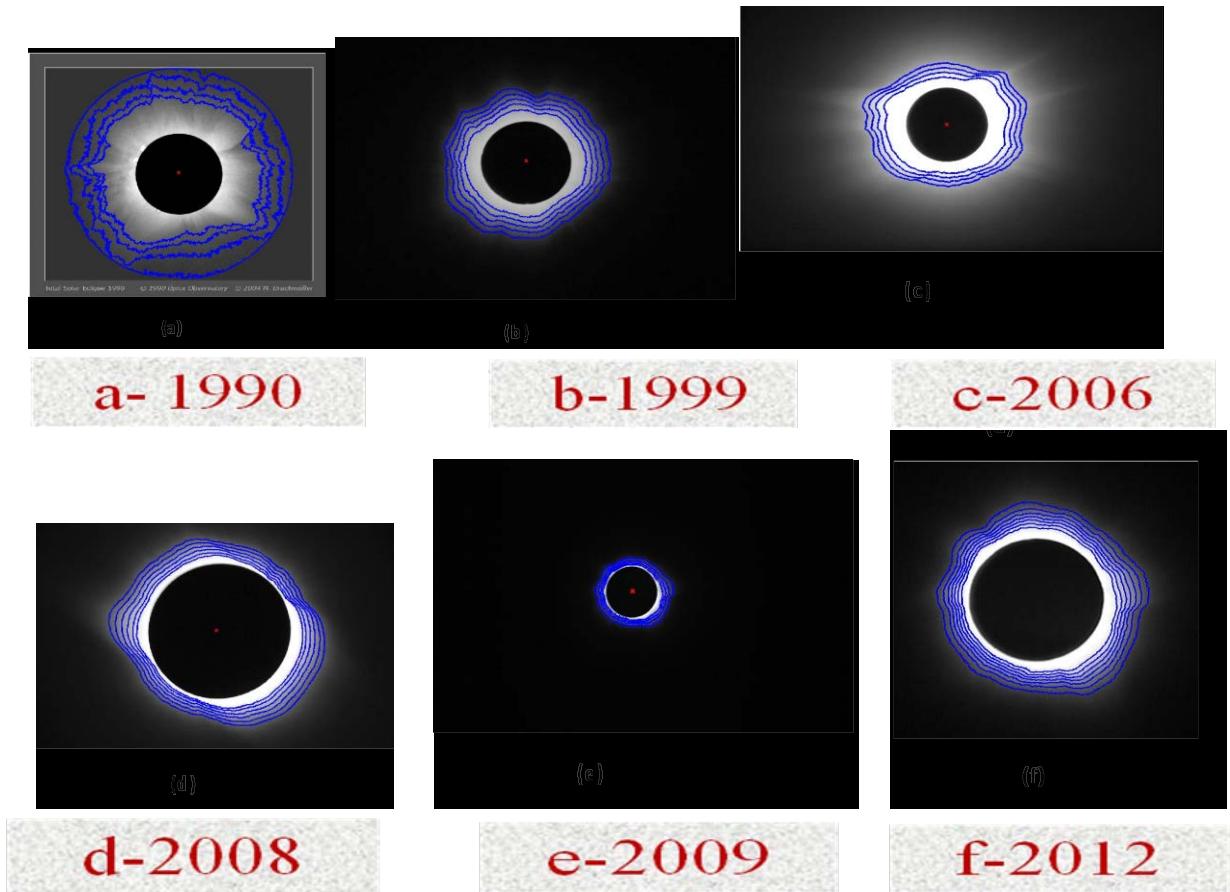


Fig. 2. Equidensites of the solar corona derived by using the new Matlab R2012 language program for computing the Ludendorff flattening coefficient for six total solar eclipses in
a- 1990, b-1999, c-2006, d- 2008, e-2009, f-2012.

Conclusions

The most fundamental coronal characteristics (polar plumes, coronal cavities and arcades, coronal holes, streamers) have been observed in the photographs of six total solar eclipses (1990, 1999, 2006, 2008, 2009 and 2012).

The calculated flattening coefficient shows that white-light corona during the 1990, 1999, and 2012 total solar eclipses is symmetric (solar corona maximum), while white light corona during the, 2006, 2008 and 2009 total solar eclipses is asymmetric (solar corona minimum).

We obtain value for the flattening index ε in 1990 TSE (0.11), which is in a good agreement with the results of Pishkalo [7] and Stoeva et al. [8]. Value for the flattening index during the 1999 TSE is consistent with that published by Stoeva et al. [8]. For the 2006 TSE, ε value is in agreement with that of Pishkalo [7] and Gloub & Pasachoff [10]. The flattening index value during the 2008 TSE correlate with that published by Stoeva et al. [8]. For the 2009 TSE the obtained in this work value for the flattening index is in agreement with that published by Pishkalo [7] and Stoeva et al. [8]. Finally, for the 2012 total solar eclipse we obtain flattening index ε value is consistent with that of Stoeva et al. [8].

In general, our new computerized method for calculation of the flattening coefficient ε gives values, which are consistent with the published ones.

References:

1. Madwar, M. R. : 1952, Fouad I University Press, Bulletin No. 42.
2. Pasachoff, J. M. ; Rusin, V. ; Druckmullar, M. and Saniga, M. : 2007, The Astrophysical Journal, Vol. 665, Issue 1, PP. 824-829.

3. Marzouk, B. A., 2013, Ph. D. Thesis, Faculty of Science, Al-Azhar University.
4. Markova, E.; Belik, M.; Rusin, V. and Kotrc, P.: 1999, Contrib. Astron. Obs. Skalnate pleso 28, PP. 210-215.
5. Rusin, V.: 2000, the Last Total Solar Eclipse of Millennium in Turkey, ASP Conf. Series, Vol. 205, PP.17-31.
6. Ludendorff, H., Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Phys.-Math. Kl., **16**, 1928, 185.
7. Pishkalo, M., "Flattening Index of the Solar Corona and the Solar Cycle", *Solar Phys.*, 270, 2011, 347–363, DOI 10.1007/s11207-011-9749-y.
8. Stoeva P., A. Stoev, S. Kuzin, 2012, Solar Corona In White Light During Five Total Solar Eclipses, Sun and Geosphere, The International Journal of Research and Applications, Vol.7 - No.1, pp.81-84 , Editor-in-Chief: Atila Ozguc, Guest Editors: Katya Georgieva, Vladimir Obridko, Georgeta Maris, Tamara Breus, Rositza Koleva, Yurdanur Tulunay, ISSN: 1819-0839.
9. Badalyan, O.G. and Sykora, J. S, 2008, Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso, Vol. 38, PP. 519 – 537.
10. Golub, L., Pasachoff, J.M.. 2009, The Solar Corona, Cambridge University Press, Cambridge, UK. (2nd edition).

SOLAR - ATMOSPHERIC INTERACTIONS OVER TERRITORIES OCCUPIED BY KARST GEOSYSTEMS

Alexey Stoev¹, Penka Stoeva¹, Boyan Benev¹ and Alexander Mikhalev²

¹*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*

²*Institute of Solar-Terrestrial Physics, Russian Academy of Sciences, Irkutsk*

e-mail: stoev52@abv.bg

Keywords: Caves, climate, solar and geomagnetic activity, cave atmosphere; microclimate

Abstract: Research on the air temperature course of the ground atmospheric layer, located near the entrances of four show caves - Saeva dupka, Ledenika, Snezhanka and Uhlovitsa for the 1968 - 2014 period is presented in this work. The data are derived within the detailed micro-climatic monitoring of the caves and Karst areas at which they are developed.

Mean annual Sunspot Number and Apmax indices of solar and geomagnetic activity have been taken from the National Geophysical Data Centre, Boulder, CO. It was found that different lengths of solar cycles and different lengths of the upstream and downstream part of the curve complicate coordination of the duration of one cycle to another.

Just because of this, procedure was used to bring the individual solar cycles to a standard using the years of maximum and minimum as a reference points. The adjusted to one length cycles were divided into 10 phase intervals. All the data were normalized in such a way that in the course of every 11 years solar cycle, the maximum value of the studied variable by module was equal to one.

The results of the research showed that there is a positive correlation between the deviations of the average annual, summer and autumn temperatures of the Karst regions and solar activity in western phase of the quasi biannual variations. Periods with eastern phase correlation practically absent from the annual seasonal distribution of temperatures. The average annual temperatures in the four caves reach their maximum three years after the peak of solar activity. Negative correlations between the values of temperatures and Sunspot Number and Apmax are observed in winter and spring.

СЛЪНЧЕВО - АТМОСФЕРНИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАД ТЕРИТОРИИ, ЗАЕТИ ОТ КАРСТОВИ ГЕОСИСТЕМИ

Алексей Стоев¹, Пенка Стоева¹, Боян Бенев¹, Александър Михалев²

¹*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*

²*Институт по слънчево - земна физика, Руска академия на науките, Иркутск*

e-mail: stoev52@abv.bg

Ключови думи: Пещерен микроклимат, слънчева и геомагнитна активност, пещерна атмосфера, микроклимат

Резюме: В работата е представено изследване на температурата на въздуха на приземния атмосферен слой, разположен в близост до входовете на четири благоустроени пещери - Съева дупка, Леденика, Снежанка и Ухловица за периода 1968 - 2014 г. Данните са получени в рамките на дълговременен микроклиматичен мониторинг на пещерите и карстовите райони, в които те са развити.

Средногодишните брой на слънчевите летни (SN) и Артах индекси на слънчевата и геомагнитната активност са взети от Националния център за геофизични данни в Боулдер, Съединени щати (National Geophysical Data Centre, Boulder, CO, USA).

Установено бе, че различната продължителност на слънчевите цикли и различната дължина на възходящата и низходящата част на кривата усложняват операцията по съгласуване на продължителността на един цикъл с друг. Точно поради това бе използван процедура по привеждане на отделните слънчеви цикли към един стандарт, използвайки за реперни точки годините на максимум и минимум. Така приведените към една дължина цикли бяха разделени на 10 фазови

интервала. Всички данни бяха нормирани по такъв начин, че в хода на всеки 11 годишен слънчев цикъл максималната по модул стойност на изследваната величина бе равна на единица.

Резултатите от изследванията показваха, че съществува положителна корелация между отклоненията на средногодишните, летни и есенни температури и слънчевата активност (W) при западна фаза на квазидвугодишните вариации. Периоди с източна фаза на корелацията практически отсъстват от годишното сезонно разпределение на температурите. Средногодишните температури и при четирите пещери достигат своя максимум три години след максимума на слънчевата активност. През зимата и пролетта се наблюдават отрицателни корелации между стойностите на температурите и W .

Introduction

Problem of helioclimatic links is interesting and topical, despite the enormous amount of articles on their study. The conclusion drawn from these studies showed that if the sun - Earth interactions exist, they are characterized by a strong regionalism and instability on time. Regional manifestation of solar - terrestrial relations in climate changes can be explained by the complex nature of the circulation of air masses in the Earth's atmosphere. Many of these studies show that in some areas there are positive correlations between indices of solar activity and weather parameters. In other investigations the correlation is negative and in third – it is absent at all. Moreover, the response of the meteorological parameters to the change of solar activity varies with seasons and manifests in different way during odd and even 11-year cycles of solar activity. Phase shifts are detected in most cases. They are different not only with respect to meteoparameters. They also change during the transition from cycle to cycle, or from one geographical region to another (Webb, D.F., 2002).

Quasi-biennial oscillations (QBO) are regarded as the prominent feature of many processes in the Earth's atmosphere. The QBO phase (west or east) is determined by the zonal wind direction in the equatorial stratosphere. The QBO reversals are not precisely enough determined to specify the date and the day-to-day noise is smoothed in the monthly averages of wind velocity at specified pressure heights from 10 to 90 hPa (about 35 to 17 km). Series of works of the group of K. Labitski have significant contribution to the study of these problems. They show that the response of atmospheric parameters to solar activity changes (in stratosphere and troposphere) is better expressed if years with different phases of Quasi-biennial oscillations (QBO) of western and eastern winds in the equatorial stratosphere existing at levels of 10-40 hPa are separately considered.

The purpose of this work is to investigate the links between variations of surface air temperature of local areas located near the entrances of four show caves - Saeva dupka, Ledenika, Snezhanka and Uhlovitsa for the period 1968 – 2014. The data are derived from air temperature measurements in the ground atmospheric layer made in the frames of detailed micro-climatic monitoring of the caves and Karst areas, at which they are developed. Mean annual Sunspot Number and Apmax indices of solar and geomagnetic activity have been taken from the National Geophysical Data Centre, Boulder, CO.

Data for meteorological parameters of the ground atmospheric layer obtained from measurements of weather stations located near the entrances of four show caves - Saeva dupka, Ledenika, Snezhanka and Uhlovitsa for the period 1968 – 2014 are used in the work. They are taken from meteorological journals of the show caves. Trends related to the overall warming of the territory of Bulgaria were removed from the initial curves of mean annual and mean seasonal temperature variations. Variations with a period shorter than the solar cycle and periods for which the temperature deviations were smoothed by moving average method (with 4 years interval of averaging) were also excluded. Temperature variations throughout the year and for each season were considered as far as local climate in warm and cold months differently reacts to variations in solar activity.

Method of research

In order to assess trends in the examined air temperatures, linear regression is applied. Seasonal fluctuations of the mean annual air temperature in the ZCT of the caves have been identified by Fourier analysis, which could be applied as the time series is with equally spaced values. The same analysis has also been applied for the Sunspot number and Ap indices (representatives of the solar and geomagnetic activity) for the same period of data available. Seasonal patterns of both the air temperatures in the ZCT in every cave, and Sunspot number and Ap indices have been examined via autocorrelograms (Tsekov M., 2002).

In order to uncover the correlations between air ZCT temperatures in the caves and solar and geomagnetic activity, cross-spectrum analysis has been applied.

Method of juxtaposition of ages (method commonly used in heliophysics) was used to determine if there is a connection between changes of surface air temperature and solar activity. It allows separation of the contribution of the investigated events in the ground atmospheric layer obtained against the background of great random noise and tropospheric temperature variations near the studied periods of time (Bramberg, S. A., 1973).

It is generally known that the solar cycles have different absolute duration. Also, they have a different length of the ascending and descending part of the curve, which changes during the transition from cycle to cycle. All this complicates the comparison of periods from one cycle with the other ones. That is why the 11 year cycles have been standardized. The years of their maxima and minima have been taken as reference marks. Five solar cycles - from 20th to 24th – have been considered. The calculations were made by the method of juxtaposition of ages in two ways:

On the first way, the years of minima of all cycles were brought to one and the same length and were divided in 10 phase intervals. Some of the longer cycles (for example Cycle №20) needed to be shortened.

On the second way all the minima and maxima have been juxtaposed - the ascending and descending part of the curve were shortened or extended. The length of 4 phase intervals was accepted as standard length of the ascending part of the curve and for the descending part of the curve - 7 phase intervals. All data were normalized in such a way that for every 11 year solar cycle maximum modulus value of the studied magnitude was accepted for a unit. The data for all five solar cycles in the period 1968 – 2014 were averaged.

The results obtained in two ways are in good correlation. Further we'll discuss the results from the analysis conducted by the second way.

Experimental data

Our investigation includes four show caves in Bulgaria - Ledenika, Saeva dupka, Snezhanka and Uhlovitsa. Data cover a period of 46 years (1968 – 2013). The caves are situated at different altitude and geographic latitude. The caves are formed in the limestone nearly 400 000 years ago.

Temperature of the air in the ZCT is daily measured, at noon, by mercury thermometers with an accuracy of 0.1°C. Monthly and yearly mean values of the air temperatures have been derived from the averaged everyday data (Stoeva et al., 2006).

Air temperature data outside the caves have been taken from meteorological stations situated near about the caves: in the towns of Vratsa (Ledenika cave), Lovech (Saeva dupka cave), Peshtera (Snezhanka cave) and Smolyan (Uhlovitsa cave), National Institute of Meteorology and Hydrology, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia.

Timpanogos Cave National Monument protects three interlinked limestone caverns - Hansen Cave (elevation 1920m), Middle Cave, and Timpanogos Cave. The caves are relatively new - they were formed along fractures in the limestone around 200 000 years ago and are still actively changing – and situated nearly at the same latitude as Bulgarian caves.

The temperatures in Hansen Cave, Middle Cave, and Timpanogos Cave (Carmell Falls and Lower Passage) have been taken from the Western Regional Climate Centre (<http://www.nps.gov/tica/RMweb/MonitoringData.html>). For the 1991- 2000 period data were collected every 2 hours by a Campbell Scientific network. The annual average temperatures on the surface, for the same period of 36 years (1968 – 2003) have been taken from the Timpanogos Cave Station, UTAH, (elevation 1719 m) (428733).

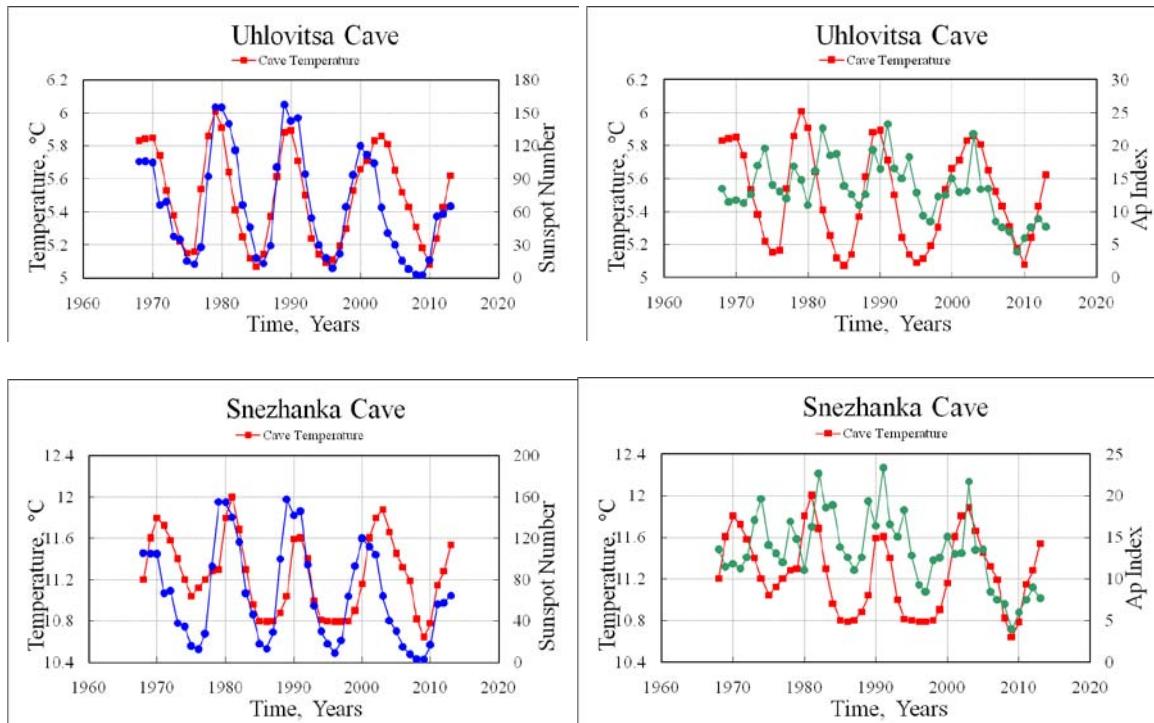
Mean annual Sunspot Number and Apmax indices have been taken from the National Geophysical Data Centre, Boulder, CO.

Results and Discussion

- The air ZCT(Zone of constant temperatures) temperature and Sunspot number or Apmax indices for the period of 46 years, for the caves Saeva dupka, Snezhanka, Ledenika and Uhlovitsa are simultaneously presented as two dimensional scatterplots.
- The curves are very similar and some of them are mutually shifted. These are plots for the Uhlovitsa and Snezhanka caves. All the maxima in the temperature coincide or lag the respective Sunspot or Apmax maxima by a period of 1-3 years.
- t_{ZCT} is rather connected with the first peak in geomagnetic activity, which is associated with transient solar activity, i.e., coronal mass ejections (CMEs) than with the second one, which is higher and connected with the recurrent high speed streams from coronal holes.

For increasing the reliability of the results only the courses of the temperature deviations Δt were compared for two weather stations, those located in front of the entrances of Snezhanka and

Uhlovitsa caves, which have a similar nature and are in one and the same climatic region. The coefficient of correlation between the changes in the mean annual temperatures there, for these stations is equal to 0.9 ($p = 99\%$).



Reliability coefficient of correlation was determined by the criterion of Student. It is difficult to find correlation between sunspot number and mean annual temperature fluctuations Δt at direct juxtaposition of these variables. Correlation coefficients are small ($r_{\text{Snezhanka}} = 0.32$ $r_{\text{Uhlovitsa}} = 0.30$, $p = 95\%$), correlations are practically not detected.

We can compare altitudes, periodicities in the $t^{\circ}\text{ZCT}$, phase shifts of the temperature and sunspot time series, and correlation coefficients obtained for the studied caves.

Cave	Altitude, m	Periodicity in $t^{\circ}\text{ZCT}$, Years	Phase shift, Years	Correlation coefficient at 0.05 level of stat. sign.
Saeva dupka	320	10	3	$r = 0.8253$
Snezhanka	540	10	1	$r = 0.7292$
Ledenika	1260	10	0	$r = 0.7172$
Uhlovitsa	1480	11	0	$r = 0.8021$

Labitski research group have investigated the correlation between changes in the temperature of Karst regions and phases of QBO for the period 1964 – 2010. Studies show that if for years with Western phase of QBO there is a link between Δt and Sunspot Number and calculated correlation coefficients are $r_{\text{Snezhanka}} = 0.55$ and $r_{\text{Uhlovitsa}} = 0.59$ ($p = 98\%$), then for years with Eastern phase change in the nature of solar-terrestrial relations from cycle to cycle could be observed.

At division of quasi-biennial variations in temperature by phases, separately for each season of the year, there is a positive correlation - ($r_{\text{summer}} = 0.46$; $r_{\text{autumn}} = 0.52$ for the Snezhanka cave and $r_{\text{summer}} = 0.41$; $r_{\text{autumn}} = 0.58$ for the Uhlovitsa cave) during the summer and autumn, at 95% significance in a period with western phase. Correlation is practically not detected for each season during periods of eastern phase of QBO in temperature. Maxima of the curves of mean annual temperatures for both weather stations (Snezhanka and Uhlovitsa cave) are shifted against the maximums of the Sunspot Number with four years. We obtain significant correlation coefficients moving the curves relative to each other with 2-3 years (see Table 1).

Table 1. Correlation coefficients R between temperature variations and Sunspot Number, as well as their level of statistical significance p

Cave	Snezhanka	Snezhanka	Uhlovitsa	Uhlovitsa
Season	R	p	R	p
Annual	0.34	-	0.42	-
Shifting with 2 years	-	-	0.92	99%
Shifting with 3 years	0.96	99%	0.86	99%
Winter	-0.77	98%	0.31	-
Shifting with 2 years	-	98%	0.84	99%
Spring	-0.75	98%	-0.31	-
Shifting with 3 years	-	-	0.95	99%
Summer	0.88	99%	0.65	96%
Autumn	0.85	99%	0.95	99%

The most controversial solar-terrestrial links are in the winter. It can be assumed that the coldest winters correspond to the era of maximum solar activity for the station at Snezhanka cave, for the Uhlovitsa cave this is not confirmed. It should be noted that the positive correlations between solar activity and mean winter temperatures have been observed by shifting of the curves for two years. The question of the cause of such differences remains open.

Conclusion

1. In this work we show that there is a positive correlation between the deviations of the mean annual, summer and autumn temperatures of the Karst regions and solar activity in Western phase of the Quasi-biennial oscillations (QBO). For years, when Quasi-biennial oscillations (QBO) are with Eastern phase, correlation is absent in every season.

2. Mean annual air temperatures within the caves Snezhanka and Uhlovitsa located at different altitudes in the Rhodope Mountains, Bulgaria reach maximum four years after the peak of solar activity.

3. Surface air temperature around the entrances of both caves varies depending on the seasons. The results of the analysis made by the method of juxtaposing eras allows to assume that during solar activity maxima, in the summer and autumn, in the local areas around the caves highest temperatures are recorded in comparison with solar activity minima.

4. Negative correlations between temperatures and Sunspot Number are registered during the winter and spring.

References:

- Bramberg, S. A., April 1973. Environments in Lehman Caves, Nevada. *Bulletin of the National Speleological Society*, v. 35, N 2, pp. 35-47.
- Cropley, January 1965. Influence of surface conditions on temperatures in Large cave systems. *Bulletin of the National Speleological Society*, v. 27, N 1, pp. 1-10.
- Davies, W.E., January 1960. Meteorological Observations in Martens Cave, West Virginia. *Bulletin of the National Speleological Society*, v. 22, Part 1, pp. 92-100.
- Nepstad, J. and J. Pisarowicz, 1989. Wind cave, South Dakota: Temperature and Humidity Variations, *Bulletin of the National Speleological Society*, v. 51, pp. 125-128.
- Stark, N., July 1969. Microecosystems in Lehman Cave, Nevada, *Bulletin of the National Speleological Society*, v. 31, N 3, pp. 73-81.
- Stoeva, P., A. Stoev, N. Kiskinova, 2006. Long-term changes in the cave atmosphere air temperature as a result of periodic heliophysical processes, IAGA & ICMA Conference on Long Term Changes and Trends in the Atmosphere, 09-14 June 2004, Sozopol, Bulgaria, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A / B / C, Volume 31, Issues 1-3, 2006, Pages 123-128.
- Tsekov, M., 2002. Analyses of the climate change in a local place in south Bulgaria, *Comptes Rendus de l'Academie Bulgare des Sciences*, T. 55, No 10, pp. 21-26.
- Webb, D. F., 2002. CMEs and the solar cycle variation in their geoeffectiveness In: *Proceedings of the SOHO 11 Symposium on From Solar Min to Max: Half a Solar Cycle with SOHO, 11-15 March 2002, Davos, Switzerland. A symposium dedicated to Roger M. Bonnet. Edited by A. Wilson, ESA SP-508, Noordwijk: ESA Publications Division, ISBN 92-9092-818-2, 2002*, pp. 409 – 419.

ИСТОРИЯ НА МАФ И МАА И БЪЛГАРСКОТО УЧАСТИЕ В ДЕЙНОСТТА ИМ

Александър Симеонов, Елисавета Александрова

Българско астронавтическо дружество
e-mail: bad@space.bas.bg

Ключови думи: Международна астронавтическа федерация, Международна астронавтическа академия, космически съобщения, Космическа оранжерия SVET

Резюме: Докладът е посветен на 65-годишнината на Международната астронавтическа федерация (МАФ) и 55-годишнината на Международната астронавтическа академия (МАА) и приносът на български учени към тяхната дейност. Един от тях, акад. Никола Бонев, беше първият председател на Българското астронавтическо дружество (БАД), основано на 8 декември 1957 г. Представени са приноси на български учени по спътниките комуникации и фундаментални въпроси свързани с отглеждане на растения в условия на микрогравитация, отразени в доклади на МАФ.

HISTORY OF MAF AND MAA AND THE BULGARIAN CONTRIBUTION

Alexander Simeonov, Elissaveta Alexandrova

Bulgarian Astronautical Society
e-mail: bad@space.bas.bg

Keywords: International Astronautical Federation, International Astronautical Academy, satellite communications, SVET Space Greenhouse

Abstract: The report is dedicated to the 65th anniversary of the foundation of the International Astronautical Federation (IAF) and the 55th anniversary of the International Astronautical Academy (IAA) and to Bulgarian scientists contributed to their activities. One of them, Acad.Nikola Bonev, was the first chairman of the Bulgarian Astronautical Society (BAS) based on December 8, 1957. Contributions of Bulgarian scientists to IAF Congresses on space communications and fundamental issues related to growth and development of plants in microgravity are presented.

История на създаване и участници

МАФ

През 2015 година се навършват 65 години от основаването на Международната астронавтическа федерация (МАФ) и 55 години от създаването на Международната астронавтическа академия (МАА).

Създаването на МАФ допринася изключително за обединяване на усилията на учените, чиято дейност е в областта на изучаване и използване на космическото пространство за мирни цели, чрез обмен на информация за постиженията им на ежегодните конгреси на МАФ, на които докладват своите приноси и български учени.

Астронавтическите дружества от 9 страни, основават МАФ на Международния конгрес по астронавтика, проведен в Лондон през септември 1951 г. В ранните си години, Федерацията и годишните ѝ конгреси бяха един от малкото форуми, където учените от Изтока и Запада можеха да заседават свободно. Конгресите на МАФ станаха основни форуми, на които бяха официално обявявани събития, знакови за космическата епоха. На конгреса на МАФ през 1955 г. в Копенхаген, както Съветския съюз, така и САЩ обявиха своите спътникovi програми за предстоящата Международна геофизична година. На конгреса през 1957 г. беше официално обявен старта на първият спътник на Земята „Спутник”.

В откритата атмосфера на конгресите на МАФ, научното сътрудничество в областта на космонавтиката започва да дава плодове. Мисията „Аполо-Союз“ бе формулирана за пръв път на конгрес на МАФ. Поредица от срещи на конгреси на МАФ съдействаха за проекта, който стана Международна космическа станция. Сътрудничеството между космически държави, фирми и университети става съвсем нормално и началото на много космически проекти е поставено на конгреси на МАФ. Федерацията е станала преди всичко световна организация за изследване и защита на космическото пространство. Нейните над 200 членове включват всички водещи агенции, космически компании, дружества, асоциации и институти от цял свят.

Българската научна общественост може да се гордее, че 13-ият конгрес на МАФ е проведен в гр. Варна, 23-30.09.1962 г., с участие на 320 учени и специалисти от 40 страни, на който присъстват председателят на МАФ проф. Теодор фон Карман и втория космонавт Герман Титов. Двама български академици са били вицепрезиденти на МАФ. И двамата са били председатели на Българското астронавтическо дружество (БАД). Единият от тях, акад. Никола Бонев, е първият председател на БАД (1957-1979 г.), основано на 8 декември 1957 г. като секция „Астронавтика“ към Софийския аероклуб на ДОСО. Новосъздадената секция става член на МАФ на 9-ия конгрес, на който акад. Бонев изнася доклад, посветен на изследванията на Луната. Акад. Никола Бонев е голям български учен с широка международна известност и авторитет, повече от 40 години е начало на българската астрономия. Той написва първите университетски учебници по астрономия, теоретична астрономия и астрофизика, многоократно преиздавани впоследствие. Автор е на 86 научни публикации от областта на космогонията, сферичната астрономия, висшата геодезия и математическата география. Високо ценени от международната астрономическа общност са изследванията на акад. Никола Бонев за произхода на кратерите на Луната и Марс. Десетилетия наред той ръководи Университетската астрономическата обсерватория в Борисовата градина в София и с много инициатива и усилия изейства създаването на Националната астрономическа обсерватория - Рожен в Родопите, която е най-голямата в Югоизточна Европа. Проф. Никола Бонев е избран за вицепрезидент на МАФ на 12-ия конгрес на МАФ за периода 1961-1963 г. През цялата си професионална дейност, проф. Никола Бонев е активен участник в конгресите на МАФ.

Акад. Димитър Мишев, председател на БАД (1997-2003 г.) и вицепрезидент на МАФ (1981-1983 г.), е известен със своите трудове в областта на методите, системите и апаратите за аерокосмически дистанционни изследвания на Земята, основател и пръв директор на Централна лабораторията по слънчево-земни въздействия към БАН (1993 г.). Неговото изобретение спектрометър „Спектър“ работи дълги години на борда на „Салют-6“, „Салют-7“ и станцията „МИР“. Под негово ръководство е разработен спектрометричният и навигационен комплекс „Фрегата“, който работи на станцията „Фобос“ за изучаване на Марс и неговия спътник Фобос. Той е инициатор и организатор на няколко български космични програми, в това число полетите на двамата български космонавти Георги Иванов и Александър Александров, както и националния проект „България – 1300“.

Друг известен български учен Тодор Габровски, един от членовете-основатели на Международния институт по въздушно право, печели признание препоръчвайки пред МАФ майор Юрий Гагарин да бъде избран за почетен член на МАА, което се приема от президента д-р Халей, който кани Тодор Габровски да представи доклад пред Четвъртия колоквиум по космическо право по време на 12-ия конгрес на МАФ на тема „Космическите правни проблеми като фактор за световния мир и прогресивната наука“. В тази покана е подчертано, че по препоръка на акад. Леонид Седов е решено 13-ият конгрес на МАФ да се проведе в България.

МАА

Международната академия по астронавтика (МАА) е международна общност от експерти, стремящи се да разширят пределите на заобикалящия ни свят. Тя е неправителствена организация, създадена по идея на проф. Теодор фон Карман, чийто статус е одобрен на 11-ия конгрес на МАФ в Стокхолм (Швеция) на 16-ти август, 1960 г. Щаб-квартирана на МАА е в Париж. Изпълнителен орган на МАА е Съветът на настоятелите, в който влизат президента, заместниците му и настоятелите. МАА работи за насърчаване на развитието на космонавтиката за мирни цели, оценява личности, които са се отличили в сродни клонове на науката или технологиите и осигурява програма, чрез която членовете ѝ могат да допринесат към международните усилия за напредъка на космическата наука. Работата се извършва в 4 направления: фундаментални, инженерни, биологически и медицински науки и социални науки. МАА работи в тясно сътрудничество с Международната федерация по астронавтика, с национални и международни космически агенции. Общото събрание и Съветът на настоятелите на МАА се провеждат ежегодно на конгресите на МАФ. Ежегодно в рамките на конгресите на МАА и КОСПАР организира, самостоятелно или съвместно, симпозиуми, сесии,

семинари, дискусии. Основен печатен орган на МАА е научното списание *Acta Astronautica*, в което се публикуват трудовете на симпозиумите и семинарите, както и резултати от изследвания на избрани колективи и работни групи.

Първият президент на МАА е д-р Теодор фон Карман, една от най-важните фигури в развитието на ракетостроенето. Проф Едуард С. Стоун заема поста до октомври 2009 г. След него за президент на МАА е избран д-р Г.Мадхаван Наир, председателят на Индийската организация за космически изследвания. Той е единственият индиец и първият не-американец, който оглавява МАА с мандат до 2015 г.

Международната академия по астронавтика официално основава комитет за SETI науката още в началото на 1970. През десетилетията той е бил известен като „SETI комитет на МАА”, „SETI Постоянната група за изследване на МАА” и за последен път като „SETI Постоянен комитет на МАА”. Понастоящем Комитетът работи под ръководството на МАА Комисия за космическите физически науки. SETI е акроним за търсене на извънземен разум. Основната цел е да се направи преглед на всички аспекти на евентуален бъдещ контакт с извънземни цивилизации, със специално внимание към международни въпроси и дейности. Тези аспекти включват технически усилия за намиране на доказателства за извънземен разум, както и социалните последици от такова откритие. В допълнение, тази група насърчава интереса и евентуалното участие на учениците в тази работа, най-вече чрез образователни инициативи, интернет, както и средствата за масово осведомяване.

От 1960 г. МАА събира най-добрите историци и космически експерти, които правят тази организация важна международна институция за събиране на мемоари и генериране на хиляди рецензириани от специалисти статии за исторически постижения в космическите дейности. МАА се грижи да съхранява поколенията паметта за ключовите постижения в усвояването на космоса. По случай 50-годишнината на МАА е издаден терминологичен речник, съдържащ повече от 2600 термина в областта на космонавтиката, издаден на 20 езика, за ползване от специалисти в различните области, свързани с изучаване и усвояване на космоса.

Международната академия по астронавтика организира всяка година: от 15 до 20 самостоятелни конференции и симпозиуми; от 12 до 14 симпозиуми, интегрирани в програмата на Международния конгрес по астронавтика; - няколко симпозиуми, интегрирани в Общото събрание на COSPAR; от 5 до 10 регионални срещи на МАА; от 2 до 5 академични дни в партньорство с националните академии на науките или технически институти.

Българско участие в конгреси на МАФ

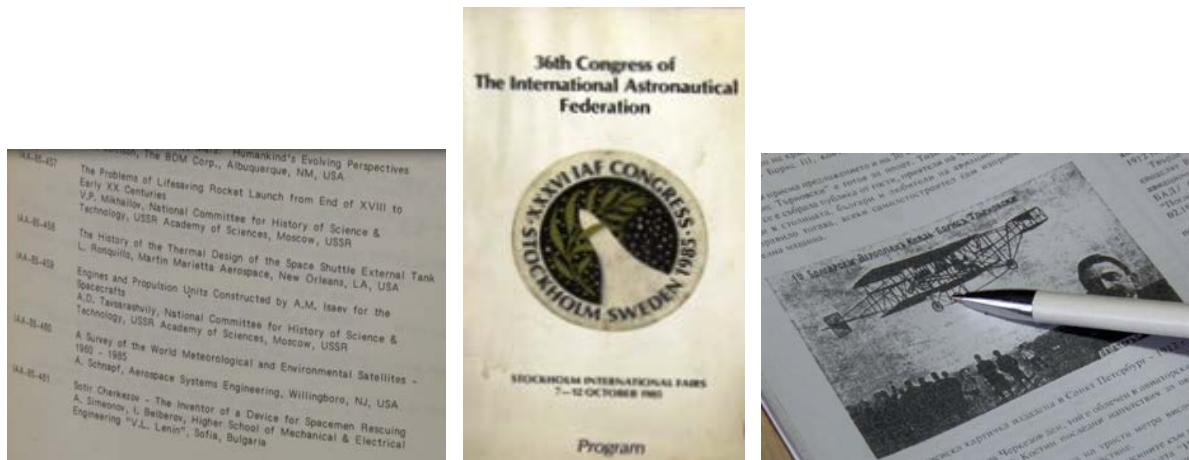
Българското участие в конгресите на МАФ в годините на ентузиазма и все по-нарастващия интерес към космическите науки е било активно и ползотворно, както за българската, така и за международната научна общественост. Невъзможно е да се опише това участие изчерпателно. Голяма част от авторите са членове на Българското астронавтическо дружество. Така от представените на 13-ия конгрес на МАФ във Варна през 1962 г. 9 доклада в сесия „Небесна механика“ 4 са изнесени от български учени: проф.Никола Бонев, проф.Владимир Христов, проф.Кирил Попов, проф.Иван Ценов. През 1964 г. издателство Springer-Verlag издава в 2 луксозни тома докладите, съавтор на предговора е проф. Никола Бонев. Докладите са в 8 раздела, единият от които е „Комуникационни спътници“. От 36-ия до 41-ия конгреси на МАФ проблемите на спътниковите комуникации ще бъде една от българските теми. В Таблица 1 са представени докладите и авторите. Представеният доклад на 40-ия конгрес е избран и публикуван в списание „*Acta Astronautica*“, 1991, Vol.25, Ni.8/9, p.579-586.

Забележителни са участията на български учени във форумите по космическо право. Освен Тодор Габровски, проф.Марко Марков изнася впечатляващ доклад на XV-ия колоквиум по космическо право по време на 25-ия конгрес на МАФ в Амстердам.

Не може да не се посочат докладите на проф.Кирил Серафимов и проф.Димитър Мишев на конгреси на МАФ, особено, докладът на 26-ия конгрес на МАФ в Лисабон, изнесен от проф.Серафимов на тема „Екологични граници на енергетиката и Космоса“, изгответ за 15 часа от двамата. На същия конгрес те изнасят още по един доклад: „Енергийните резерви на високата атмосфера“ и „Дистанционно определяне на спектралните коефициенти на различни природни образувания“. На 32-ия конгрес на МАФ в Рим акад.К.Серафимов и Първият български космонавт Георги Иванов изнасят съвместен доклад за значението на присъствието на човека в Космоса. На 36-ия конгрес на МАФ в Париж проф.Александър Симеонов представя публикация за приносите в самолетостроенето на първия български авиоконструктор Сотир Черкезов (фиг.1): третото колело, трибедрения колесник, използван в конструирания от него самолет, което става практика в самолетостроенето и проектираното от него устройство за спасяване на екипажа при аварийни ситуации, което не е успял да реализира, но с описаната

от него конструкция, той на практика поставя началото на възможността за катапултиране на летателния състав.

В серия от доклади на конгреси на МАФ са представени резултати от експерименти, проведени в космическа оранжерия „СВЕТ“ на Орбитална станция „МИР“, които изясняват редица фундаментални въпроси, свързани с растежа и развитието на растенията в микрогравитация.



Фиг. 1. Доклад на 36-ия конгрес на МАФ за първия български авиоконструктор Сотир Черкезов

Основният резултат е установяването, че няма принципни пречки за развитието на растенията в микрогравитация при подходящо проектирано оборудване и биотехнологии. Научно-изследователската работа, проведена с помощта на КО „СВЕТ“, допринесе изключително много за доказване на възможността да се отглеждат растения, както за храна, така и за пречистване на въздуха в бъдещи биологични системи за осигуряване на живота на екипажите при дългосрочни космически мисии, първоначално до Марс. В Таблица 2 е представена информация за конгресите на МАФ, на които са докладвани резултатите от наземните и космически научни изследвания проведени с помощта на разработените 3 поколения комплекси апаратура на КО „СВЕТ“, някои от които са публикувани в списание „Acta Astronautica“ [5-7]. Участието на българските учени в конгреси на МАФ допринесе изключително много за разпространение на научните им постижения сред световната научна общност и осъществяване на важни контакти за планиране на бъдещи проекти с външно финансиране (например, многогодишното сътрудничество с НАСА започна през 1992 г. във Вашингтон).

Заключение

Славна е историята на българската космическа наука. Българските учени продължават изследванията си в рамките на европейски космически програми. Отбелязват се също така значими постижения както преди 20 и повече години. Но, вече никой не участва в конгресите на МАФ. Българското астронавтическо дружество отдавна не е член на МАФ, защото не може да си плаща членския внос. Но, с успехи можем да се похвалим. Така, например, в областта на космическите съобщения за първи път в историята на Международния съюз по далекосъобщения със 193 страни-членки, български специалисти за период от 3 години защитиха нова препоръка (Rec.ITU-R BO.2063-0), изменение на препоръка (Rec. ITU-R S.1717-1) и нов изследователски въпрос за следващия 4-годишен период (Question ITU-R 293/4).

Литература:

1. Мишев, Д., Космическите изследвания в България, Хора, факти и документи, София, 2004 г.
2. Симеонов, А., Е. Александрова, Н. Данкова, Д. Филипов, 50 години Българско астронавтическо дружество, SENS 2007, 27-29.06.2007 г., Варна, сп. „Журналист“.
3. Александрова, Е., Българско астронавтическо дружество – 55 години дейност, SES 2012, 04-06.2012 г., София, РКИЦ.
4. Иванова, Т., 25 години Проект Космическа оранжерия СВЕТ, *Proceedings of the Fifth Scientific Conference with International Participation SENS 2009* (ISSN 1313-3888), 2-4 November, Sofia, 59-65, 2009.
5. Ivanova, T., Yu. A. Berkovich, A. L. Mashinskiy, G. I. Meleshko. The First "Space" Vegetables have been Grown in the "SVET" Greenhouse Using Controlled Environmental Conditions. *Acta Astronautica* (ISSN 0094-5765), Vol. 29, 8, 1993, 639-644.

6. Ivanova, T., P. T. Kostov, S. M. Sapunova, I. W. Dandolov, F. B. Salisbury, G. E. Bingham, V. N. Sytchov, M. A. Levinskikh, I. G. Podolski, D. B. Bubenheim, G. Jahns. Six-Month Space Greenhouse Experiments - a Step to Creation of Future Biological Life Support Systems. *Acta Astronautica* (ISSN 0094-5765), Vol. 42, Nos. 1-8, 1998, 11-23.
7. Kostov, P., T. Ivanova, I. Dandolov, S. Sapunova, I. Ilieva. Adaptive Environmental Control for Optimal Results during Plant Microgravity Experiments. *Acta Astronautica* (ISSN 0094-5765), Vol. 51, 1-9, 2002, 213-220.
8. Интернет страници.

Таблица 1. Доклади в областта на космическите съобщения, изнесени на конгреси на МАФ

36-ти конгрес на МАФ, 1985г., Стокхолм, Швеция	Б.Балабанов, Е.Александрова, М.Велков	„Условия за създаване на квазиактивна обратна връзка в разпространението от спътник на образователни програми”	Технически и икономически аспекти на дистанционното обучение чрез използване на системите за спътниково телевизионно и радиоразпръскаване. Експериментална постановка и параметри на сигнала през канала за звуковия съпровод.
37-ми конгрес на МАФ, 1986 г., Инсбрук, Австрия	Б.Балабанов, Е.Александрова, М.Велков	„Системи за образователни програми с увеличена икономическа ефективност”	Възможности за намаляване с над 25% разходите за спътниковия сегмент с използване на многогълчеви антени и подходящ честотен обхват. Анализи на влиянието на средата за разпространение в обхвата 11-12 ГХц за Европа и излъчената ЕИИМ върху разходите.
38-ми конгрес на МАФ, 1987 г., Брайтон, Обединеното кралство	Б.Балабанов, Е.Александрова, М.Велков	„Повишаване на ефективното използване на геостационарната орбита чрез непрекъснат контрол на зоната на обслужване от спътниците”	Основни проблеми на изграждането и работата на система за непрекъснат контрол на зоната на обслужване от спътник. Предложен е алгоритъм за измерване и определяне на изместването. Посочени са критерии за изместването и възможности за калибровка на измервателните станции.
39-ти конгрес на МАФ, 1988 г., Бангалоре, Индия	Б.Балабанов, Е.Александрова, К.Серафимов	„Многофункционална система за спътниково радиоразпръскаване”	Разширяване на услугите в спътниково радиоразпръсквателни системи чрез пренос на цифрова информация между малки земни станции. Предложение за конфигурация и алгоритъм за управление на многофункционална спътникова система с анализ на енергетиката и електромагнитната съвместимост. Резултати с лабораторен модел.
40-ри конгрес на МАФ, 1989 г., Малага, Испания	Е.Александрова, В. Бауер, Б.Балабанов, и др.	„Разпределение на затихването в дъжд по наклонено трасе на честоти над 10 ГХц: Корелация между някои модели за разпространение и резултатите от дългосрочни измервания в рамките на програма „Интеркосмос””	Сравнителен анализ на приложимостта на 14 модела за прогнозиране на затихването на радиовълните в дъжд по спътниково трасета с експри-ментално получени статистически разпределения и прилагане на изведените зависимости за пространствена корелация на затихването по земно и спътниково трасе. Комбинацията с честотна корелация дава високоефективен метод за предварителна оценка на затихването в дъжд по спътниково трасета, особено във високочестотните обхвати.
41-ви конгрес на МАФ, 1990 г., Дрезден, Германия	Б.Балабанов, Е.Александрова, М.Велков	„Информационен обмен за целите на контрола на зоната на покритие от спътникова радио-разпръсквателна система	Резултати от разработката на информационна система в НИИС-София за предаване на информация от измерване на изместването на зоната на покритие от спътник в спътникова ТВ система на геостационарна орбита чрез ретранслатор в лентата на ТВ сигнал.

Таблица 2. Доклади в областта на космическата биология по проект КО «СВЕТ», изнесени на конгреси на МАФ

37-ми конгрес на МАФ, 1986 г., Инсбрук, Австрия	Т.Иванова, П.Костов	„Перспективи за използване на висшите растения в експеримент „Субстрат” по време на космически полет”	Предварителен експеримент «Субстрат» на борда на ОС Салют-7 за изследване на хранителната среда и системите за управление на влажността. Изследвани са 4 различни фракционни състава на субстрата “Балканин” – изкуствена почва на зеоплитна основа, обогатена по специална българска технология с необходимите за растенията хранителни вещества и минерални соли.
42-ри конгрес на МАФ, 1991 г., Монреал, Канада	Т.Иванова, Ю.Беркович, А.Машинский, Г.Мелешко	„Първите „космически” зеленчуци, отгледани в оранжерията „СВЕТ” с помощта на контролирани условия на околната среда”	Първият дългосрочен експеримент със зеленчуци (репички и китайско зеле) като витаминозна добавка към порциона на космонавтите А.Баландин и А.Соловьев през 1990 г. За пръв път е получен кореноплод (репичка) в условия на космически полет.
43-ти конгрес на МАФ, 1992 г., Вашингтон, САЩ, проведен съвместно с КОСПАР по случай 500-годишнината от откриването на Америка, т.н. “World Congress”	Т.Иванова	„Биотехнологични системи на „СВЕТ” за управление параметрите на околната среда за отглеждане на висши растения в условия на безтегловност”	Разработка на нови технически системи и биотехнологии за прецизно измерване на параметрите на околната среда в листната и кореновата зона на растенията и автоматичното им управление в необходимите граници с помощта на бордова микрокомпютърна система.
46-ти конгрес на МАФ, 1995 г., Осло, Норвегия	Т.Иванова, П.Костов, С.Сапунова	„Подновяване на биотехнологичните експерименти в оранжерията на борда на космическия комплекс МИР”	Разработка на ново поколение КО СВЕТ-2 с оптимизирани модули, в състава на ОС МИР през 1996 г., работила безотказно до края на експлоатацията на станцията през 2000 г.
48-ми конгрес на МАФ, 1997 г., Торино, Италия	Т.Иванова, П.Костов, С.Сапунова, И.Дандолов	„Дейности на Земята, свързани с подобряване на контрола върху овлажняване на почвата в космическите експерименти в КО „СВЕТ””	Наземни изследвания, свързани с оптимизирането на кореновия модул на КО „СВЕТ”: конфигурацията, подбора на фракционен състав на субстрата осигуряващ необходимото хидратиране и аериране, прецизиране на програмите за управление на влагата.
51-ви конгрес на МАФ, 2000 г., Рио де Жанейро, Бразилия	Т.Иванова, П.Костов, И.Дандолов, С.Сапунова	„Резултати от микрогравитационни експерименти в Космическата оранжерия „СВЕТ” на борда на Орбиталната станция МИР”	Обобщени и анализирани са резултатите от всички експерименти с различни видове растения, проведени в КО СВЕТ и КО СВЕТ-2 на ОС МИР в периода 1990-2000 г., доказващи, че растенията могат да се развиват нормално в условия на безтегловност.
52-ви конгрес на МАФ, 2001 г., Тулуса, Франция	П.Костов, Т.Иванова, И.Дандолов, С.Сапунова, И.Илиева	„Адаптивно управление на околната среда за оптимални резултати при експериментите с растения провеждани в микрогравитация”	Разработена е нова концепция за адаптивно управление на околната среда, при която се измерват освен климатичните и физиологичните параметри на растенията и в зависимост от „здравословното” им състояние се променят условията на отглеждане за получаване на по-добри резултати.
53-ти конгрес на МАФ, 2002 г., Хюстън, САЩ	Т.Иванова, И.Дандолов, С.Симеонов, С.Сапунова	„Космическите изследвания в България: Постижения в космическите биология и медицина”	Обобщени са резултатите от Националните космически програми на България: по време на първия и втория космонавт, ИК-Б-1300, както и от изследванията с българска апаратура в областта на биологията (КО СВЕТ) и медицината (Невролаб) на борда на МИР.
57-ми конгрес на МАФ, 2006 г., Валенсия, Испания	П.Костов, Т.Иванова, С.Сапунова, И.Илиева и др.	„Наземни верификационни тестове и апаратура за подбор на средата в кореновата зона за култивиране на висши растения в космоса”	Разработени са наземни лабораторни установки за изследване на влагоемкостта и обемното разпределение на водата при различни фракции на субстрата, както и кълняемостта на семената при различни височини и влажност на кореновия модул на КО СВЕТ-3.
60-ти конгрес на МАФ, 2009 г., Дейжон, Южна Корея	Й.Найденов, Т.Иванова, И.Дандолов, И.Илиева	„Мониторинг и управление на околната среда в листната зона на Космическата оранжерия СВЕТ”	Разработени са нова сензорна система за измерване на разширен брой параметри на въздушната среда, нова система за събиране на данните и управлението им, както и ново светодиодно осветление за КО СВЕТ-3; проведени са тестове с растения.

Session 2

***Aerospace Technologies
and
Biotechnologies***

Chairmen: Corr. Member Petar Getsov

Assoc. Prof. Tania Ivanova

Secretaries: Chief Assistant Iliana Ilieva

Assoc. Prof. Zoya Hubenova

ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ПРОВЕРКИ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСМИССИИ ВЕРТОЛЕТА

Михаил Владов¹, Георги Сотиров², Дмитрий Добров¹, Ангелина Чожгова³

¹Молдова, Кишинев, «Comelpro» SRL,
e-mail: office@comelpro.com

²Институт космических исследований и технологий – Болгарской академии наук
e-mail: gsotirov@space.bas.bg

³Технический Университет- София, филиал Пловдив
e-mail:ani_angeliq@abv.bg

Ключевые слова: электронная аппаратура, трансмиссия вертолета

Резюме: В статье представлена электронная аппаратура для проверки излома хвостового вала, измерения биения хвостового вала и измерения бокового зазора в шлицевых шарнирах вместо штатных механических приспособлений. Описана электронная система, в которой используется емкостной принцип измерения параметров трансмиссии вертолета.

ELECTRONIC EQUIPMENT FOR CHECKING TRANSMISSION PARAMETERS OF HELICOPTERS

Mihail Vladov¹, Georgi Sotirov², Dmitrii Dobrov¹, Angelina Chozhgova³

¹Moldova, Chisinau

e-mail: office@comelpro.com

²Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: gsotirov@space.bas.bg

³Technical University- Sofia, Plovdiv Branch
e-mail:ani_angeliq@abv.bg

Key words: electronic equipment, helicopter's transmission.

Abstract: The article presents the electronic equipment to test the fracture of the tail shaft, measuring run-out of the tail shaft and measuring backlash in hinges instead of standard mechanical devices. It is described an electronic system that uses a capacitive principle for measurement transmission parameters of helicopters.

Введение

Проверку параметров хвостового вала трансмиссии вертолета типа МИ-8/17 проводят согласно руководству по технической эксплуатации [1]. Однако эти проверки достаточно трудоемкие и занимают много времени. Целью данной работы явилось создание электронной аппаратуры для проверки параметров хвостового вала трансмиссии вертолета, которая позволила бы устранить указанные недостатки и повысить точность измерений. Причем в основе принимаемых решений лежит принцип максимального использования штатных приспособлений по креплению измерительных приборов, а замене подлежит часовой индикатор на электронный блок, информация с которого передается на персональный компьютер по радиоканалу.

Проверка параметров трансмиссии вертолета электронной аппаратурой

Изготовлен макет электронной аппаратуры для проверки параметров трансмиссии вертолета. Проведена экспериментальная проверка макета аппаратуры для оптического измерения конуса лопастей НВ вертолета МИ-17 в с. Маркулешты, Молдова. Использовался

вертолет МИ-17 ремонт, которого был проведен в г. Пловдив, Болгария предприятием АВИОНАМС АД. На рис. 1 и рис.2 показаны фото установленных макетов электронных блоков для проверок биения и излома валов трансмиссии. Для крепления электронного блока использованы штатные приспособления



Рис. 1. Фото Установки макета электронного блока для проверки биений валов трансмиссии



Рис. 2. Фото Установки макета электронного блока для проверки излома валов трансмиссии на вертолете МИ-17

Внешний вид электронного блока для проверки излома валов трансмиссии без крышки показан на рис. 3.

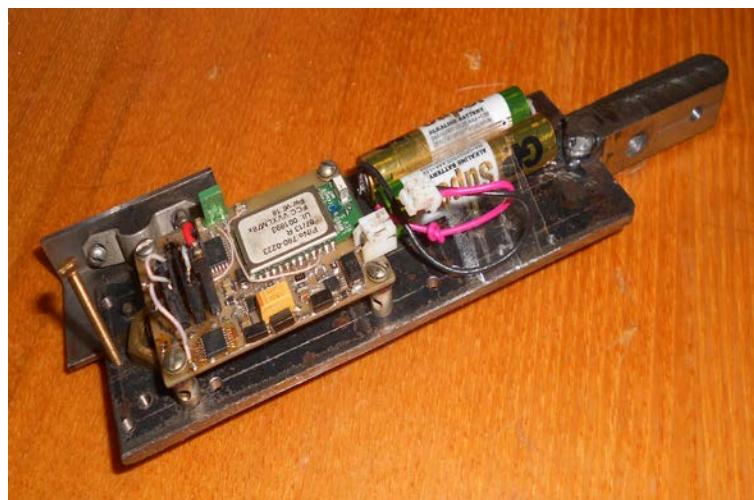


Рис. 3. Внешний вид электронного блока для проверки излома валов трансмиссии без крышки

Для проведения испытаний подготовлено рабочее место (см. Рис.4), включающее:

- Валы трансмиссии.
- Приспособление для установки беспроводного емкостного датчика.
- Адаптер Bluetooth, подключенный к персональному компьютеру
- Компьютер с программой «Излом вала трансмиссии».

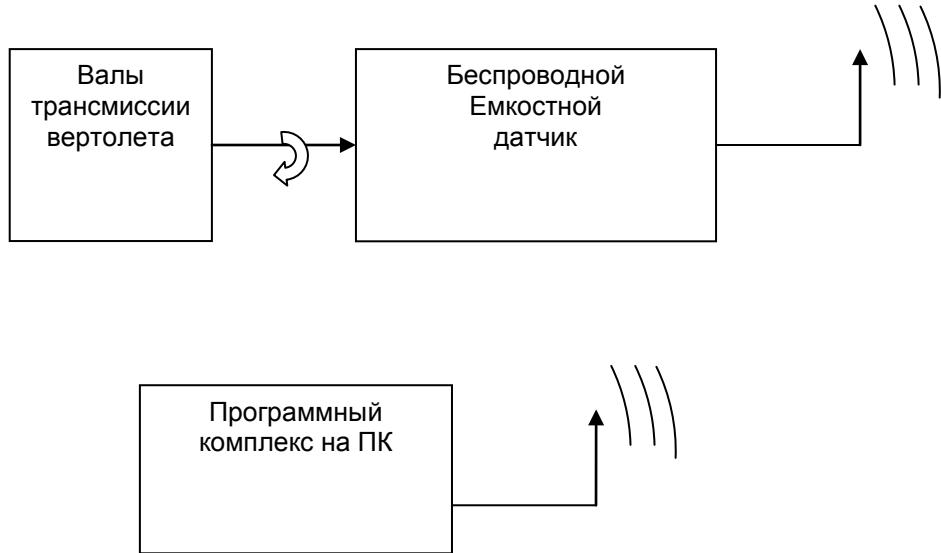


Рис. 4

Заключение

В процессе испытаний были выполнено:

1. Тарировка (калибровка) беспроводного емкостного датчика в соответствии с модулем программы «Калибровка». Выставление зазора осуществлялась при помощи стрелочного индикатора установленного на стенде (данные включены в таблицу 1);
2. Измерение излом вала на макете (стенде) трансмиссии в динамическом режиме в соответствии с модулем программы «Измерение в реальном маштабе времени». Скорость вращения вала составила 11,2 об\мин.
3. Полный цикл измерения включал в себя 3 сеанса измерения, в каждом сеансе по 4-5 полных оборотов вала. Измерения проводились с записью результатов в протокол испытаний. Протокол испытаний отражен в Приложении 1.

Расстояние от компьютера до датчика составило 5м, 12м. в обоих случаях наблюдалась устойчивая передача, и прием данных через Bluetooth канал.

Литература:

1. Вертолет МИ-8МТ: Руководство по технической эксплуатации. Силовая установка. Авиаэкспорт, 1988,. 396с.

Статическая калибровка

Емкость pf	мм	Емкость pf	мм	Емкость pf	мм	Емкость pf	мм
5.2678	0.0500	3.3437	0.6300	3.1422	1.2100	3.0700	1.7900
5.1290	0.0600	3.3376	0.6400	3.1399	1.2200	3.0693	1.8000
4.9932	0.0700	3.3315	0.6500	3.1377	1.2300	3.0686	1.8100
4.8636	0.0800	3.3256	0.6600	3.1356	1.2400	3.0678	1.8200
4.7432	0.0900	3.3197	0.6700	3.1337	1.2500	3.0669	1.8300
4.6351	0.1000	3.3140	0.6800	3.1321	1.2600	3.0659	1.8400
4.5414	0.1100	3.3085	0.6900	3.1306	1.2700	3.0648	1.8500
4.4605	0.1200	3.3030	0.7000	3.1294	1.2800	3.0636	1.8600
4.3897	0.1300	3.2976	0.7100	3.1282	1.2900	3.0624	1.8700
4.3264	0.1400	3.2924	0.7200	3.1271	1.3000	3.0612	1.8800
4.2678	0.1500	3.2873	0.7300	3.1260	1.3100	3.0601	1.8900
4.2119	0.1600	3.2824	0.7400	3.1248	1.3200	3.0593	1.9000
4.1588	0.1700	3.2777	0.7500	3.1236	1.3300	3.0587	1.9100
4.1089	0.1800	3.2732	0.7600	3.1222	1.3400	3.0583	1.9200
4.0629	0.1900	3.2688	0.7700	3.1208	1.3500	3.0580	1.9300
4.0212	0.2000	3.2646	0.7800	3.1192	1.3600	3.0576	1.9400
3.9842	0.2100	3.2604	0.7900	3.1176	1.3700	3.0572	1.9500
3.9511	0.2200	3.2564	0.8000	3.1159	1.3800	3.0566	1.9600
3.9210	0.2300	3.2524	0.8100	3.1143	1.3900	3.0557	1.9700
3.8929	0.2400	3.2484	0.8200	3.1127	1.4000	3.0548	1.9800
3.8659	0.2500	3.2444	0.8300	3.1113	1.4100	3.0538	1.9900
3.8392	0.2600	3.2404	0.8400	3.1099	1.4200	3.0527	2.0000
3.8129	0.2700	3.2364	0.8500	3.1087	1.4300		
3.7874	0.2800	3.2323	0.8600	3.1075	1.4400		
3.7630	0.2900	3.2283	0.8700	3.1063	1.4500		
3.7402	0.3000	3.2243	0.8800	3.1052	1.4600		
3.7191	0.3100	3.2205	0.8900	3.1040	1.4700		
3.6996	0.3200	3.2170	0.9000	3.1028	1.4800		
3.6812	0.3300	3.2138	0.9100	3.1016	1.4900		
3.6636	0.3400	3.2108	0.9200	3.1003	1.5000		
3.6464	0.3500	3.2079	0.9300	3.0989	1.5100		
3.6293	0.3600	3.2051	0.9400	3.0976	1.5200		
3.6123	0.3700	3.2022	0.9500	3.0962	1.5300		
3.5956	0.3800	3.1991	0.9600	3.0948	1.5400		
3.5792	0.3900	3.1960	0.9700	3.0936	1.5500		
3.5633	0.4000	3.1929	0.9800	3.0925	1.5600		
3.5479	0.4100	3.1899	0.9900	3.0915	1.5700		
3.5332	0.4200	3.1872	1.0000	3.0906	1.5800		
3.5191	0.4300	3.1848	1.0100	3.0897	1.5900		
3.5060	0.4400	3.1827	1.0200	3.0888	1.6000		
3.4937	0.4500	3.1807	1.0300	3.0879	1.6100		
3.4824	0.4600	3.1787	1.0400	3.0870	1.6200		
3.4719	0.4700	3.1766	1.0500	3.0861	1.6300		
3.4620	0.4800	3.1743	1.0600	3.0851	1.6400		
3.4524	0.4900	3.1719	1.0700	3.0840	1.6500		
3.4430	0.5000	3.1695	1.0800	3.0829	1.6600		
3.4335	0.5100	3.1670	1.0900	3.0817	1.6700		
3.4241	0.5200	3.1645	1.1000	3.0804	1.6800		
3.4149	0.5300	3.1621	1.1100	3.0792	1.6900		
3.4061	0.5400	3.1599	1.1200	3.0780	1.7000		
3.3977	0.5500	3.1577	1.1300	3.0768	1.7100		
3.3899	0.5600	3.1557	1.1400	3.0757	1.7200		
3.3826	0.5700	3.1537	1.1500	3.0747	1.7300		
3.3758	0.5800	3.1518	1.1600	3.0737	1.7400		
3.3691	0.5900	3.1500	1.1700	3.0728	1.7500		
3.3627	0.6000	3.1482	1.1800	3.0720	1.7600		
3.3563	0.6100	3.1463	1.1900	3.0713	1.7700		
3.3500	0.6200	3.1443	1.2000	3.0706	1.7800		

ТРЕНАЖОРИ ЗА ПОДГОТОВКА НА ОПЕРАТОРИ НА БЕЗПИЛОТНИ АВИАЦИОННИ КОМПЛЕКСИ - СЪСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВИ

Петър Гецов, Георги Сотиров, Зоя Хубенова, Константин Методиев

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

Ключови думи: БЛА, тренажор, човек-оператор, обучение

Резюме: На научно-методологична основа е направен анализ на тренажорната подготовка на оператори в БЛК. Разгледана е ролята на компютърните тренажори при обучението и квалификацията на операторите. Предложена е програма и съответстващите форми за обучение за операторски състав на БЛА с оглед тяхната сертификация.

TRAINERS FOR OPERATOR'S PREPARATION OF UAV COMPLEXES – STATE AND PROSPECTS

Petar Getsov, Georgi Sotirov, Zoya Hrbenova, Konstantin Metodiev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: director@space.bas.bg; gsotirov@space.bas.bg

Key words: UAV, simulator, human operator, training

Abstract: On scientific-methodological basis it is make analysis of training preparation of operators UAV complexes. There is observed position of computer trainers for preparation and increasing qualification of operators. It is proposed program and corresponding form of training for UAV operator' and their certification.

Въведение

В настояще време в България, както и по света, стремително се развива и прилага безпилотна техника от всякакъв вид и големина, като интерес към нея проявяват не само силовите ведомства, но и гражданския сектор в икономиката. Безпилотните летателни апарати (БЛА) със специален полезен товар са с широки възможности да бъдат използвани в различни области: разузнаване; наблюдение; откриване, опознаване и съпровождане на обекти (цели); доставка на товари; мониторинг и контрол на околната среда, помощ в спасителни операции, контрол на въздушното пространство и др.

Ролята на човека в осигуряване функционирането на безпилотните летателни комплекси (БЛК) е основна, включваща организация на процеса на планиране, подготовка и използване на системата за управление, оценка на резултатите и ефективността на БЛА. При това, интерфейсът "оператор БЛА-ЕИМ" в архитектурата на системата за управление се счита за главен. Изборът и сертификацията на такъв интерфейс, а също организацията на процеса за обучение по него на операторите е свързан с разработването на специални програми.

Независимо че дистанционно пилотирани летателни апарати (ДПЛА) по същество са малки, то те си остават въздухоплавателното средство. Основната задача на нормативните документи в авиацията са свързани с осигуряването и поддържането на безопасността. Приложено към ДПЛА това означава осигуряване на безопасност за всеки друг във въздушното пространство, а също и за хората и инфраструктурата на земята. Необходимо е да се знаят и оценяват опасностите и риска за всеки конкретен ДПЛА, което налага тяхната регистрация и сертификация. Така на преден план възниква въпроса, свързан с подготовката и

квалификацията на специалисти по тяхната експлоатация, което налага идеята за създаване на центрове и школи за подготовка на такива специалисти.

Ролята на Човешкия фактор при експлоатация на БЛК

Във връзка с осигуряването на безопасността на полетите в понятието „безпилотна авиационна система“ следва да се включват, изследват и оценяват и операторите на БЛА, обслужващия персонал, а също системата за подготовка на операторите.

С отчитане на системния подход структурата на безпилотната авиационна система може да се представи като йерархия от три нива (фиг.1): на най-ниското ниво са сложните технически системи с БПЛА, на второто – безпилотният авиационен комплекс (БАК), а на третото – техническото звено се обединява в ергатично звено, включително тренажор за обучение [1,2]. Освен БПЛА, в състава на БАК влизат средствата за: връзка и управление, наземно обслужване, стартиране, кацане, спасяване, транспортиране и съхранение. Това представяне на структурата на безпилотната авиация позволява от единни позиции да се третират различните понятия и съставящите ги елементи, като се търси тяхната взаимовръзка.



Фиг. 1. Организационно-техническа система на БАС

Независимо, че тази техника е „безпилотна“, то влиянието на човешкия фактор остава негативното в повечето случаи на катастрофи с БЛА. Въобще взаимодействието "оператор - БПЛА" е различно за различните системи. При безпилотни системи с автоматичен полет по маршрут и кацане операторът само определя маршрута, като по време на полета не се намесва в управлението, а само контролира полета и да дава команда за аварийно кацане. За безпилотни системи с възможност за ръчно управление операторът може да изменя маршрута по време на полета и да извършва различни маневри, да излита и да каца. В първия случай безопасността зависи от надеждността на всички части на системата, а при втория се добавя и квалификацията на оператора.

Очевидно, че обучението и подготовката на персонала на БАС - пилота-оператор, оператора на полезния товар, обслужващите специалисти - могат съществено да повлият на безопасността. Това налага необходимостта от разработването на единни изисквания и програми за обучение на оператори, както и надеждни средства за обучение в зависимост от различните категории БЛА. Като основно средство за обучение се използват тренажори, които осигуряват индивидуална и колективна подготовка на операторите и подобряват квалификацията им в условия на сложна обстановка, различни ситуации/мисии и наличие или не на особени условия във въздушното пространство в зоната на действие.

Съвременният процес на обучение на тренажор се опира на понятието когнитивна образователна технология, свързана с целенасочено управление на когнитивните функции на обучаемия оператор-стажант: висши мозъчни функции, такива като памет, внимание, психомоторна координация, реч, мислене, ориентация, планиране и контрол на висшата психическа дейност. [3,4]. Когнитивната функция характеризира способността на човека към

възприятие и преработка на информация, а също използването ѝ за координация на неговите действия.

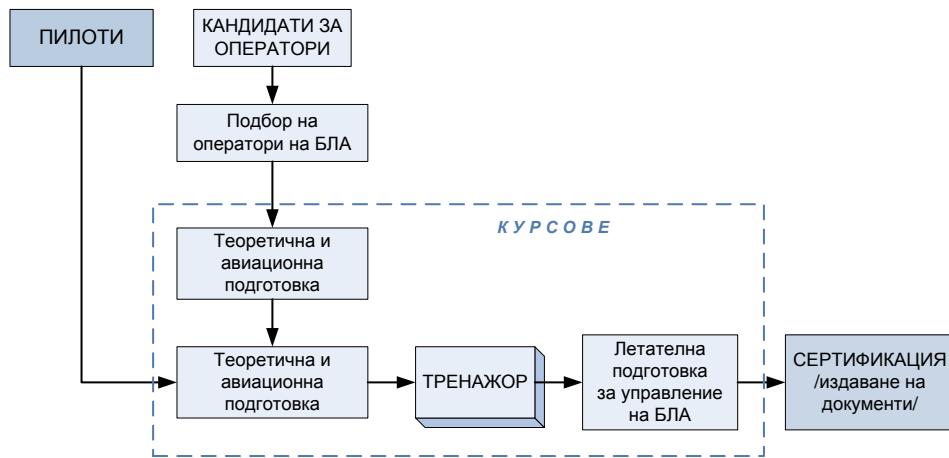
Тренажорите представляват модел на реални ергатични системи [5], предназначени за развиване на навици за управление на сложна техника. Това обуславя нашите научни интереси, свързани фундаментални и приложни изследвания в областта на формализация, моделиране и подбор на човека-оператор и работата му в екстремни условия. Тя се основава на съвременното разбиране за анализ и моделиране на „Човекът като управляваща система”, която разглежда човекът като сложна многомерна система. Такава система може да се анализира и формализира по различни структурни или функционални признания, характеризиращи се със редица особености като: асинхронност на процесите и изчислителните процедури; възможност за различни режими на функциониране – обучение, умение и самообучение; възможност за работа с данни, знания и собствени модели; възможност за работа с информация от различен „тип“ - сигнали, знаци, символи и on-line превключване и конвертиране от един в друг вид; сложна йерархично организирана система за управление с няколко структурни и функционални нива; фундаментална особеност на човека като управляваща система е наличието на ментален субективен модел в основната верига на управление. Тази структура е информационната среда, в която се формират динамични, алгоритмични модели на обектите на управление и закони на управлението.

Ефективността на ергатичната система в голяма степен зависи от индивидуалните когнитивни способности на ЧО при възприятие на информацията и естествено е, че всяка професия има свои изисквания към психофизиологическите параметри. Поради това в бъдеще е залегнато разработката на комплекс от тестови програми, предназначени за оценка на психофизиологическите параметри при възприемане на информацията от човека-оператор. Комплексът от програми, предназначен за оценка на когнитивните способности на оператора в състава на ергатичната система, е ориентиран за установяване фазите на устойчива работоспособност и нейната динамика в периода на работната смяна, както и установяването влиянието на вида и формите на предявяваната информация на работоспособността му.

На съвременното ниво на провеждане на обучение на оператори в коментираната сфера се налага необходимостта от достоверна оценка на действията на обучаващия се в хода на провежданите различни занятия.

Организация и професионална подготовка на оператори на БЛА

Организацията и професионална подготовка на оператори на БЛА включва провеждане на професионален подбор на кандидатите и организация на обучението и контрола на придобитите навици и знания на базата на тренажори и обучаващи системи.



Фиг. 2. Организационна структура на обучението

Програмата за обучение е съставна част от комплексната програма за подготовка на операторите, която е с акцент на практическата подготовка на кандидатите. При завършване на курса кандидатите трябва да имат изработени навици за бърза оценка на ситуацията, избор на стратегии за управление, вземане на оптимални решения в бързо променяща се среда. Формирането на тези качества и техническа култура предполага индивидуален подход към всеки участник.

Като цяло подготовката на операторите включва:

- овладяване на теоретични занятия;
- обучение и тренировки на тренажорен симулатор тип C-STAR SimLat;
- практически занятия с радиоуправляеми модели;
- практически занятия с БПЛА на полигон.

Организационната форма на обучение – слушане на теория в класно (10 человека); работа на тренажор 2x2 (4 человека) за две работни места с инструктор.

Теоретична част: лекции с лектор; предоставяне на учебник за самоподготовка

Минимални образователни изисквания : средно образование.

Обем на подготовката - 3 модула до 30 часа.

Форма на контрол – тестове и събеседване.

Учебната дисциплина включва курса “Основи на безпилотната техника”, който се състои от три модула и е подходящ за желаещи да се обучават като оператори на безпилотни летателни апарати, които нямат авиационно образование. Той има за цел да даде базови знания и е въведение преди обучението с инструктори на тренажори и в реални полети.

Предвидените модули са: Модул 1 - “Основи на аеродинамичния полет” дава знания за въздушната среда и взаимодействието ѝ с частите на летателния апарат; способите за получаване на аеродинамични сили и моменти за аеродинамично управление на самолети.

Модул 2 – “Конструктивни особености на безпилотните апарати” има за цел да въведе обучаемите в особеностите на конструкцията, компоновката със задвижващите системи, блоковете на електро- и радиоелектронни системи, наземните пултове за управление и стаприране, тяхната подготовка за полети.

Модул 3 – “Електрически и радиоелектронни системи” дава основни понятия за пропорционалното дистанционно управление, сервоуправлението (кормилни машини), многоканалното пропорционално управление, предавателите, приемниците, автопилотите, настройката и проверките за работа на каналите за управление и други практически препоръки за експлоатацията на устройствата за дистанционно управление, включително и нормативните разпоредби.

Като приложение се предлага: „Примерен проект по зададен двигател с вътрешно горене“ и „Габаритно масово проектиране на безпилотен самолет“.

Тренажор

Симулаторът C-STAR на израелската фирма SimLat дава възможност за обучение на екипаж от оператор и пилот в реално време. Тренажорният комплекс C-STAR симулира полет на БЛА с висока точност и същевременно дава възможност на инструктор да изменя полетната задача и работата на бордовите системи (например авария на агрегат по време на полет). Тези възможности създават динамична среда за работа на екипажа. Тренажорът C-STAR може да се конфигурира за всяка летателна платформа, полезен товар или мисия [6].

Допълнителна възможност на тренажорния комплекс е индивидуално обучение за пилот или оператор на полезния товар. Инструкторът в случая изпълнява задачите на липсващия член на екипажа.

Споменатите конфигурации за обучение са от особена полза при формиране на работни навици в членовете на екипажа. Други предимства на тренажора са следните:

- Високо ефективни средства за обучение на относително ниска цена;
- Едновременно обучение на пилот и оператор на определен товар в рамките на една полетна задача;
- Симулация с висока точност на динамиката и мисията на полета;
- Възможност за конфигуриране на тренажора за конкретни летателни платформи, полезен товар или полетна задача. Предвижда се обучение с checklist за изпълнение на процедури при нормални и извънредни ситуации.

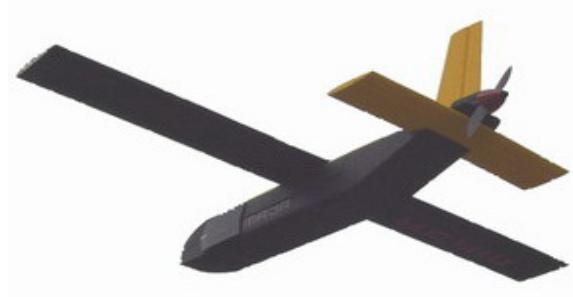
Базовата конфигурация на тренажора се състои от една станция за инструктора и по една станция за обучаемите – пилот и оператор на полезен товар. Пилотът се обучава за управление на БЛА както в ръчен, така и в автоматичен режим, контрол на състоянието на планера и бордовите системи, изпълнение на полетната задача. Операторът на полезен товар се обучава в управление на EO/IR камера, идентификация и съпровождане на целите в проигравания сценарий. Симулаторът разполага с интерком за комуникация между инструктора и обучаемите.

Практическа подготовка

След успешно завършване на подготовкителния курс на тренажора, в програмата за обучение се предвиждат практически занятия. Материалната част за занятията включва безпилотните самолети LHK-3M (Китай), [7], Maia (Германия), [8], FireFly 6 (САЩ), [9] и Zephyr (САЩ), [10]. Компоновката на последните два самолета е летящо крило, като FireFly е с

накланящи се ротори, позволяващи изпълнение на вертикално излитане и кацане. В цитираните източници са публикувани техническите данни за самолетите.

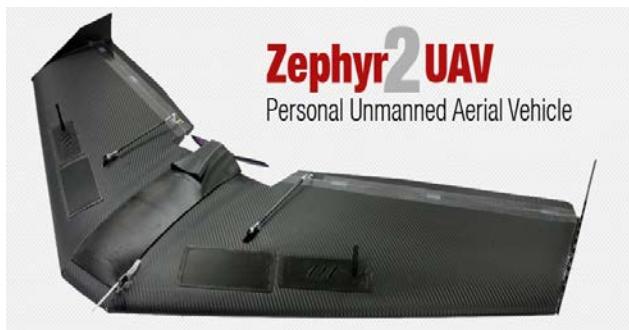
Самолет LHK-3M е оборудван с автопилот STA3x (Русия), [11], позволяващ изпълнение на автономен полет по зададен маршрут. Автопилотът включва триосни акселерометър, скоростен жироскоп и магнитометър, GPS приемник, преобразувател на налягане за тръба на Пито. Допълнително има възможност да се добавят и датчици за височина (ултразвуков), ниво на гориво, ъгъл на атака/плъзгане, както и устройство за автоматичен запис на параметрите на полета. Телеметрия се предава на земята посредством модеми XTend-PKG 900 MHz, [12] по интерфейс RS-232.



БЛА - Мая



БЛА - LHK-3M



БЛА - Zephyr

Всички изброени самолети са снабдени с електрически двигатели с постоянна стъпка на витлата. Единственото изключение е самолет LHK-3M, на борда на който е инсталиран ДВГ DLE-60 (Китай), [13]. По същество обаче това не внася особености в техниката на пилотиране на самолета.

Полезният товар на БЛА Maja се състои от камера BOSCAM с жиростабилизирана платформа, а полезният товар на БЛА – Zephyr включва:



Ricoh PX 16MP
жиростабилизирана
цифрова камера



Подвижна
жиростабилизирана камера



TetraCam ADC Micro
жиростабилизирана
мултиспектрална камера

4. Проблемни въпроси, свързани със сертификацията на оператори в ДУЛС

Във връзка с масовото производство на БЛС в Европейския съюз и в България тече дискусия по разработването на нормативна и законодателна база, позволяваща да се използват БЛА в единното въздушно пространство [14,15]. Освен това все още не е създадена и нормативно-правова база за сертифициране на БЛА, свързана с безопасността, както и нормативи за подготовката на специалисти и оператори на ДПЛА.

В България вече се подготвят документи от нормативна рамка, свързана с изследванията, проектирането, производството и техническото обслужване на БЛА

Дискусиите относно регулирането протичат както в рамките на ИКАО, така и на европейско равнище, като важна роля играе обсъждането в рамките на JARUS (Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems – Съвместни органи за изготвяне на правила по отношение на безпилотните системи) – международна експертна група от национални органи на гражданското въздухоплаване и регионални органи за безопасност на въздухоплаването [16].

Становището на Европейската комисия е „Интегрирането на ДУЛС в европейската система за въздухоплаване следва да се основава на принципа за ненакърняване на безопасността. Експлоатацията на ДУЛС следва да показва равнище на безопасност, равностойно на това при пилотираните апарати.“

Бъдещите европейски и световни разпоредби за дистанционно управляемите летателни системи следва да обхващат въпросите, свързани с [17]:

- летателната годност;
- сертификационните спецификации;
- използването – за търговски и развлекателни цели;
- идентификацията на безпилотните летателни апарати на собствениците, операторите;
- одобряването на организацията за обучение на пилотите;
- обучението и лицензирането на пилотите;
- операциите;
- отговорността и застраховането;
- защитата на данните и на правото на неприкосновеност на личния живот;
- изпращане на предупреждения при навлизане в определена географска зона („geofencing“);
- забранени за полети зони.

Заключение

Видно е, че професионалната подготовка на операторите на ДПЛА в зависимост от условията, при които се използват за гражданска цели, могат да предизвикват рискове – понякога големи, както с евентуални жертви, така и да причиняват материални щети. Поради високата степен на автоматизация, не на последно място, пряката отговорност за управлението носи оператора на БЛА.

С оглед на изготвянето на оптимални правила за ползване е необходимо регуляторните органи и професионалните организации, отговарящи за ДУЛС съвместно да създадат законодателна рамка за професионалната подготовка на пилоти и оператори, които управляват летателни апарати от разстояние и тяхното лицензиране. Така ще се намали и неяснотата по отношение на застрахователните аспекти и въпросите за правната отговорност. Това очевидно налага създаването на нови или по – високи стандарти, приложими както по отношение на личната, така и по отношение на търговската им експлоатация.

Литература:

1. Getzov, P., Z. Hubenova, D. Yordanov, W. Popov, Modeling of the Human – Operator in a Complex System Functioning Under Extreme Conditions, Journal AEROSPACE RESEARCH IN BULGARIA, Bulgarian Academy of Sciences, Volume 25, p. 206-227
2. Беспилотные летательные аппараты». Справочник. 1998 год
3. Maslow, A. H. 1968. Toward a Psychology of Being. 2nd Edition. USA. D. Van. Nostrand Company Inc.
4. Noel Burch. "Learning a New Skill is Easier Said than Done." Gordon Training International
5. Wiener, E.L., & Nagel, D.C. (Eds). (1988). Human factors in aviation. California: Academic Press Inc, 1988

6. Full Crew Training Systems (C-STAR); <http://www.simlat.com/#!full-crew-solution/cnu3>
7. <http://www.lhk-rc.com/chapinzhanshi/2015/0925/16.html>
8. http://bormatec.com/shop/product_info.php?language=en&products_id=3
9. <http://www.birdseyeview.aero/products/firefly6>
10. <http://www.marcusuav.com/zephyruav/>
11. http://www.ruav.ru/index.php?page=Products_Autopilots
12. <http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/modems/xtend>
13. <http://www.dle-engines.com/dleg0060.html>
14. Policy Statement Airworthiness Certification of Unmanned Aircraft Systems (UAS), Doc E.Y013-01/25-08-2009
15. ICAO "Doc 9806 AN/763. Human factors guidelines for safety audits manual", (Montreal, Canada), 2002
16. Unmanned Aircraft Systems (UAS), Cir328 AN/190 ICAO, www.icao.int
17. Предложение за резолюция на европейския парламент относно безопасното използване в гражданската авиация на дистанционно управляеми летателни системи (RPAS).

ОПРЕДЕЛЯНЕ ОРИЕНТАЦИЯТА НА БЕЗПИЛОТНО ВЪЗДУХОПЛАВАТЕЛНО СРЕДСТВО ЧРЕЗ ВГРАДЕНА СИСТЕМА

Константин Методиев

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

Ключови думи: Инерциална курсовертикалa, PIC18F2550, Микро – електромеханичен сензор

Резюме: Цел: Измерване ориентацията на беспилотно въздухоплавателно средство във функция на Ойлерови ъгли.

Метод: Използваният сензорен модул е AHRS GY-88 с 10 степени на свобода. Модулът включва триосни акселерометър и скоростен жироскоп, интегрирани в сензор MPU6050, триосен магнитометър HMC5883L и барометър BMP085. Данните се събират по протокол I²C. Получената информация се предава към персонален компютър чрез микроконтролер PIC18F2550, който от своя страна е свързан с компютъра по сериен порт. Данните от акселерометъра и скоростния жироскоп се обработват чрез линеен филтър на Калман. Използваните програмни среди са MikroC for PIC, MS Visual Studio, Matlab и Processing.

Резултати: В доклада се демонстрира приложимостта на сензорния модул в дистанционно управляеми авиомодели. Забранява се използването на модула на борда на пилотиран самолет от съображения за сигурност!

EMBEDDED SOLUTION FOR ATTITUDE DETERMINATION OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Konstantin Metodiev

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

Keywords: AHRS, PIC18F2550, MEMS

Abstract: Objective: An unmanned aerial vehicle attitude is to be measured in terms of Euler angles.

Method: The used sensor module is a ten degrees of freedom (10 DOF) GY-88 attitude and heading reference system (AHRS) including a three axis accelerometer and a rate gyro integrated within MPU6050 sensor, a three axes magnetometer HMC5883L, and a barometer BMP085. All data are collected through I²C protocol. The data being received are logged further into a PC by means of PIC18F2550 microcontroller unit which in turn interfaces the PC through a serial port. Both the accelerometer and the rate gyro outputs are processed further by means of linear Kalman filter. The utilized development environments are MikroC for PIC, MS Visual Studio, Matlab, and Processing.

Results: In the article hereby, the sensor applicability to a remotely controlled aerial vehicles is demonstrated. It is strictly forbidden to install the sensor onto a piloted aircraft for safety reasons.

Въведение

Разгледаният в доклада модул GY-88 представлява триосна система от сензори, която дава информация в реално време за ориентацията в пространството, а именно Ойлерови ъгли (или кватерниони), магнитен курс, както и атмосферно налягане и температура. Модулът спада към т. нар. група „Attitude and Heading Reference System – AHRS“. Най-близкият превод на български е „Инерциална курсовертикалa“, с уточнението, че използваните в AHRS сензори са от микро- електромеханичен тип (англ. MEMS – Micro- Electromechanical Sensor).

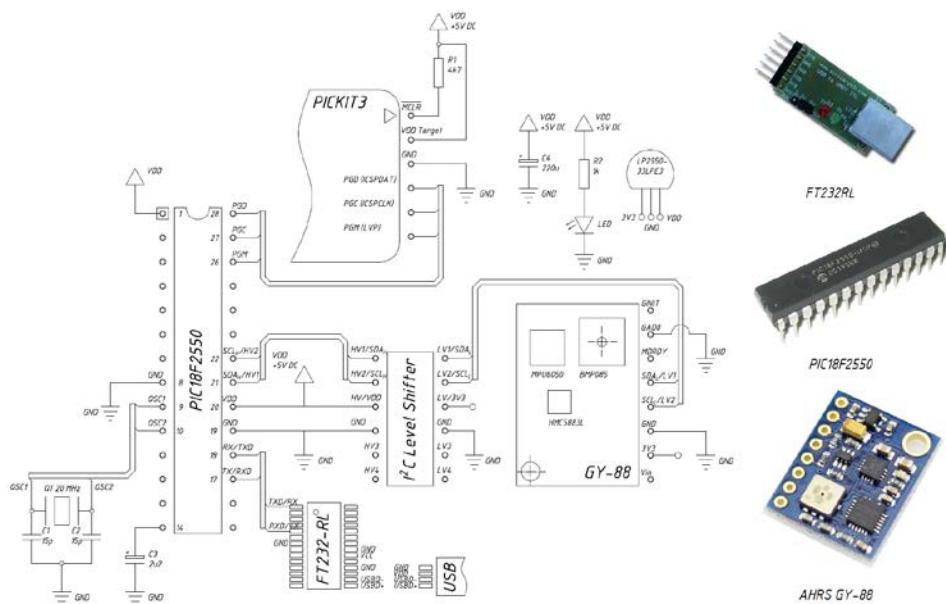
Модулите AHRS са проектирани да заменят традиционните инструменти, базирани на жироскопи, както и да осигурят по-надеждни и точни данни. Модулите AHRS не приемат

външен радиосигнал, например от GPS или VOR, което ги прави автономни. Приложенията им включват контрол и управление, измерване и корекция, навигация. Примери за приложение на AHRS са жиростабилизирана платформа за монтаж на камера на борда на въздухоплавателно средство, насочване и стабилизация на бордова камера към наземна цел, източник на пилотажно – навигационна информация.

В настоящия доклад е разгледано използването на AHRS модул GY-88 в безпилотни въздухоплавателни средства. Сензорите на модула се използват в популярния автопилот за авиомодели ArduPilot. В доклада е разгледана в детайли комуникацията между сензорите на модула и приемащия информацията контролер без да се използва цитираният автопилот. Докладът евентуално представлява интерес за авиомоделисти и разработчици на приложения за вграждане (англ. Embedded Applications).

Принципна схема и описание на използвания хардуер

Схемата на проекта включва микроконтролер PIC18F2550, работещ на 20 MHz тактова честота, преходник за логическо ниво за протокол I²C от 3.3V към 5V, преходник FT232RL от UART към USB и сензорен модул GY-88. Допълнително към контролера се включва и програматор PICKIT 3. Принципната схема на проекта и общият вид на използвани модули са показани на фиг. 1. Преходникът за логическо ниво може да се пропусне ако се използва контролер с MSSP модул за комуникация по I²C, работещ на +3.3V.



Фиг. 1. Принципна схема на проекта и общ вид на основните модули.

Модул GY-88 съдържа сензор MPU6050, състоящ се от триосен акселерометър и скоростен жироскоп, магнитометър HMC5883L и барометър BMP085. Модулът разполага с вграден регулатор на напрежение до +3.3V, поради което може да се захранва с +5V. Пиновете на модула са следните: **V_in** – вход +5V DC към регулатор на напрежение +3.3 V DC; **3V3** – вход +3.3V DC; **GND** – маса; **SCL** – I²C канал за честота; **SDA** – I²C канал за данни; **M_DRDY** – прекъсване от сензор HMC5883L; **G_AD0** – 7-битов I²C адрес за сензор MPU6050: AD0 = 0 (1101000), AD0 = 1 (1101001); **G_INT** – прекъсване от сензор MPU6050.

Механичните и електрически характеристики на сензорите MPU6050, BMP085 и HMC5883L при температура 25 °C са подробно описани в справочната литература [1], [2] и [3]. В настоящото изследване са използвани следните настройки:

- Скоростен жироскоп (сензор MPU6050): обхват $\pm 250^{\circ}/\text{s}$; чувствителност 131 LSB/($^{\circ}/\text{s}$)
- Акселерометър (сензор MPU6050): обхват $\pm 2 \text{ g}$; чувствителност 16384 LSB/g
- Барометър (сензор BMP085): обхват 300 ... 1100 hPa (надм. височина -500 ... +9000 m); резолюция 0.01 hPa; абсолютна точност $\pm 1 \text{ hPa}$
- Магнитометър (сензор HMC5883L): обхват -8 ... +8 gauss; чувствителност 980 (ос Z) и 1100 (оси X, Y) LSB/gauss; резолюция 0.73 ... 4.35 milli-gauss

Линеен филтър на Калман

Линейният филтър на Калман е реализиран в проекта като рекурсивен алгоритъм за оценка на минималната средноквадратична грешка на аритметичната средна на данните, получени от текущо измерване, [4]. Посредством използване на филтъра се получава статистически оптимална оценка на състоянието на системата въз основа на данни, „замърсени“ с шум. Подходът е подходящ за интегриране на данните от акселерометър и жироскоп (англ. Sensor Fusion), тъй като филтърът може да се проектира така, че да оценява както ориентацията на сензорния модул, така и дрейфа на жироскопа (англ. Gyro Bias).

Калмановият филтър може условно да се раздели на два етапа. Стъпка „Предсказване“ (англ. Predictor) оценява текущите променливи на състоянието и съответните грешки. Стъпка „Корекция“ (англ. Update) сравнява получените оценки с ошумените данни, като коригира оценката с комбинация от резултатите, получени на етап Предсказване и измерените данни, умножени с тегловен коефициент. Накрая се изчислява ковариационния момент (англ. Covariance) на оценката, който дава мярка за линейната зависимост между новото състояние и измерените данни.

Линейният филтър на Калман допуска, че процесите, измервани със сензора, са линейни и повлияни само от шумове на процеса и измерването с Гаусово разпределение. Това ограничение се представя математически чрез модел на предсказването и модел на измерването, [5]:

$$(1) \quad \begin{aligned} x_k &= Fx_{k-1} + Bu_k + N(0, Q_k) \\ z_k &= Hx_k + N(0, R_k) \end{aligned}$$

където F е матрица на преходния модел, която трансформира предишното състояние x_{k-1} в следващото състояние x_k ; B е матрица на управлението, която трансформира вектора на управляващите въздействия u_k в състоянието x_k ; H е матрица на модела на наблюдение, която трансформира предсказаното състояние x_k във вектора на наблюдението z_k ; матриците $N(0, Q_k)$ и $N(0, R_k)$ представляват източници на Гаусов шум с ковариации Q_k и R_k и аритметична средна 0.

Филтърът на Калман се проектира така, че да оценява ъглите на тангаж и крен на модула GY-88, а така също и дрейфа на скоростния жироскоп по надлъжната и напречна оси. Тогава векторът на състоянието x_k приема вида:

$$(2) \quad x_k = \begin{bmatrix} \vartheta & \gamma & \omega_{xb} & \omega_{yb} \end{bmatrix}_k^T$$

където ϑ е ъгъл на тангаж, γ е ъгъл на крен, ω_{xb} е дрейф на жироскопа по ос x, ω_{yb} е дрейф на жироскопа по ос y.

Векторът на наблюдението z_k се дефинира както следва:

$$(3) \quad z_k = \begin{bmatrix} \vartheta & \gamma & 0 & 0 \end{bmatrix}_k^T$$

Във формули (2) и (3) ъглите на тангаж ϑ и крен γ се определят от необработените данни (англ. Raw Data) според изразите:

$$(4) \quad \vartheta = \text{atan} \frac{-a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}}; \quad \gamma = \text{atan} \frac{a_y}{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}}$$

Тогава моделите на предиктора и измерването са следните:

$$(5) \quad \begin{aligned} \begin{bmatrix} \vartheta \\ \gamma \\ \omega_{xb} \\ \omega_{yb} \end{bmatrix}_k &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & -dt & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -dt \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \vartheta \\ \gamma \\ \omega_{xb} \\ \omega_{yb} \end{bmatrix}_{k-1} + \begin{bmatrix} dt & 0 & 0 & 0 \\ 0 & dt & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}_k + N(0, Q_k) \\ \begin{bmatrix} \vartheta \\ \gamma \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}_k &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \vartheta \\ \gamma \\ \omega_{xb} \\ \omega_{yb} \end{bmatrix}_k + N(0, R_k) \end{aligned}$$

Тук ω_x и ω_{xb} представляват респ. ъгловата скорост по ос x и съответния дрейф. В система (5) е направено допускането, че дрейфът на скоростния жироскоп е постоянен във времето.

Филтърът се настройва посредством ковариационните матрици $Q_k = \text{diag}[Q_x \ Q_y \ Q_{xb} \ Q_{yb}]$ и $R_k = \text{diag}[R_x \ R_y \ 0 \ 0]$ и затова е необходимо те да бъдат известни предварително. Смисълът на настройката е в степента на доверие към модела и измерването съответно. Ако се зададат малки стойности на Q_k например, това означава, че моделът е надежден и филтрираните стойности се получават близки до измерените. Добра практика е $Q_k \sim O(1E0)$; $R_k \sim O(1E-2)$.

Етапите на реализация филтъра са описани в табл. 1 ($H = \text{diag}(1 \ 1 \ 0 \ 0)$):

Таблица 1. Последователност на прилагане на линейния филтър на Калман

Екстраполация (предсказване) на вектора за състояние $k|k-1$ на системата по оценката от предишното състояние $k-1|k-1$ (априорна оценка)	$x_{k|k-1} = F_k x_{k-1|k-1} + B_k u_k$
Определяне на априорна ковариационна матрица на грешката за екстраполирания вектор на състоянието	$P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k$
Определяне на отклонението на наблюдението в стъпка k от априорното състояние в стъпка $k|k-1$	$y_k = z_k - H_k x_{k|k-1}$
Определяне на матрицата корелационни моменти за вектора на отклонението	$S_k = H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k$
Определяне на матрица от коефициенти на усилване на Калман	$K_k = P_{k|k-1} H_k^T S_k^{-1}$
Корекция на екстраполирания вектор на състоянието (постериорна оценка)	$x_{k|k} = x_{k|k-1} + K_k y_k$
Корекция на ковариационната матрица P	$P_{k|k} = (I - K_k H_k) P_{k|k-1}$

Описаната линейна форма на филтъра е предложена от Калман и Бюси през 1961 г.

Събиране на данните

Данните от измерването се събират от микроконтролера и пренасочват към PC по UART протокол. Обменът на данни между сензорния модул GY-88 и микроконтролера е осъществен по сериен протокол I²C, който е реализиран хардуерно в модул MSSP. Честотата на шина SCL е 100 kHz. Програмата за събиране на данни е разработена в програмна среда Mikro C for PIC (Mikroelektronika, Сърбия). След компилация, полученият hex файл за записва в контролера с програматор PICKIT 3, фиг. 1, от програмна среда MPLAB X IDE (Microchip, САЩ).

Адресът за писане по протокол I²C в сензор MPU6050 е 0xD0. Инициализацията се извършва чрез записване на байт 0x00 в регистри 0x1C и 0x1B съответно за акселерометъра и жироскопа. След издаване на стартов сигнал от контролера, прочитането на данните от акселерометъра следва последователността, показана в табл. 2.

Таблица 2. Прочитане на показанията на акселерометъра по протокол I²C

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Master	S	Write 0xD0		Write 0x3B		RS	Write 0xD1			Read ACK		Read ACK
Slave			ACK		ACK			ACK	DATA		DATA	

Таблица 2. Продължение

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Master		Read ACK		Read ACK		Read ACK		Read NACK	P
Slave	DATA		DATA		DATA		DATA		

Съкращенията, използвани в табл. 2, са следните: S – Start; RS – Repeated start; (N)ACK – (Not) Acknowledge, P – Stop. Данните, които се предават (DATA), имат дължина от 1 байт. Показанието за линейно ускорение по трите оси се предава от сензора в последователност за осите X, Y, Z. Необработените данни от акселерометъра се съхраняват в целочислена променлива с дължина 16 бита signed int. За събиране на данни от трите оси се прочитат общо 6 байта. Събирането на данни спира, когато контролерът предаде бит NACK и сигнал STOP.

По аналогичен начин се събират необработените показания от скоростния жiroskop. Разликата е само в адреса на регистъра от колонка 5, табл. 2. Вместо 0x3B се записва 0x43. Последователността за събиране на данни от сензор MPU6050 е описана подробно в ръководство [1].

Процедурата за прочитане на необработени данни от магнитометъра започва с инициализация на сензора в Continuous Measurement Mode. Събирането на данните е аналогично на посоченото в табл. 2. Разликите са в адреса за писане (колонка 3 – 0x3C) и адреса на регистъра с данни (колонка 5 – 0x03). Последователността на предаване на данните от сензора за трите оси обаче е X, Z, Y. Последователността на събиране на данните е подробно описана в ръководство [3].

Най-трудоемко е събирането на необработени данни от барометъра BMP085, в частност некомпенсираните температура и атмосферно налягане. Адресът за писане е 0xEE. Последователността на комуникация по I²C е описана в табл. 3.

Таблица 3. Прочитане на некомпенсираната температура от барометъра по протокол I²C

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Master	S	Write 0xEE		Write 0xF4		Write 0x2E		P	S		Write 0xEE		Write 0xF6	
Slave			ACK		ACK		ACK				ACK		ACK	

Таблица 3. Продължение

	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Master	RS	Write 0xEF			Read ACK		Read NACK	P	
Slave			ACK	DATA		DATA			

Резултатът от измерване на некомпенсирана температура се съхранява в целочислена променлива от тип signed int. По аналогичен начин се прочита некомпенсираното налягане. Разликата е в колонка 7, табл. 3. Вместо числото 0x2E се записва числото 0x34. Сензорът предава три байта, които, след последователни отмествания през 8 бита, се съхраняват в целочислена променлива от тип unsigned long int. Инициализация на барометъра не е необходима, тъй като истинските налягане и температура зависят от уникални за барометъра калибровъчни коефициенти.

Събирането на необработени данни се извършва в среда Visual Studio (Microsoft, САЩ) чрез конзолно приложение под Win32. Програмата прочита сериен порт и съхранява данните в текстов файл. Номерът на порта се задава автоматично от операционната система след инсталиране на драйвер за преходника на FTDI, фиг. 1. Символната скорост (англ. Baud Rate) се задава както в програмата за контролера, така и в програмата за събиране на данните. Логично е, че стойностите трябва да се еднакви и в двете програми, в случая 57600 bps.

Получените посредством контролера необработени данни от акселерометъра и жirosкопа на сензор MPU6050 се обработват с линеен филтър на Калман в среда Matlab, следвайки формулите в табл. 1.

Събранныте необработени данни от сензор BMP085 за некомпенсираните температура и налягане се обработват следвайки трудоемка процедура, която е изложена подробно в ръководство [2]. Стойностите на действителното налягане и температура зависят от единадесет калибровъчни коефициента, които са уникални за всеки сензор и следва да се прочетат еднократно от контролера. В ръководство за потребителя [2] са показани примерни изчисления с междуинни резултати за хипотетични стойности на калибровъчните коефициенти. Това дава възможност на програмиста да тества функцията за обработка на некомпенсираните данни. Поради ограничения обем на доклада тази процедура не е описана. Читателят може да направи справка в ръководство [2], стр. 13.

Както е известно, магнитният север не съвпада с географския. Това налага получените данни от магнитометър HMC5883L да се коригират със стойността на магнитната деклинация. Последната зависи от географското положение на сензора и от времето. Справка за локалната и текуща стойност на деклинацията може да се направи в [6].

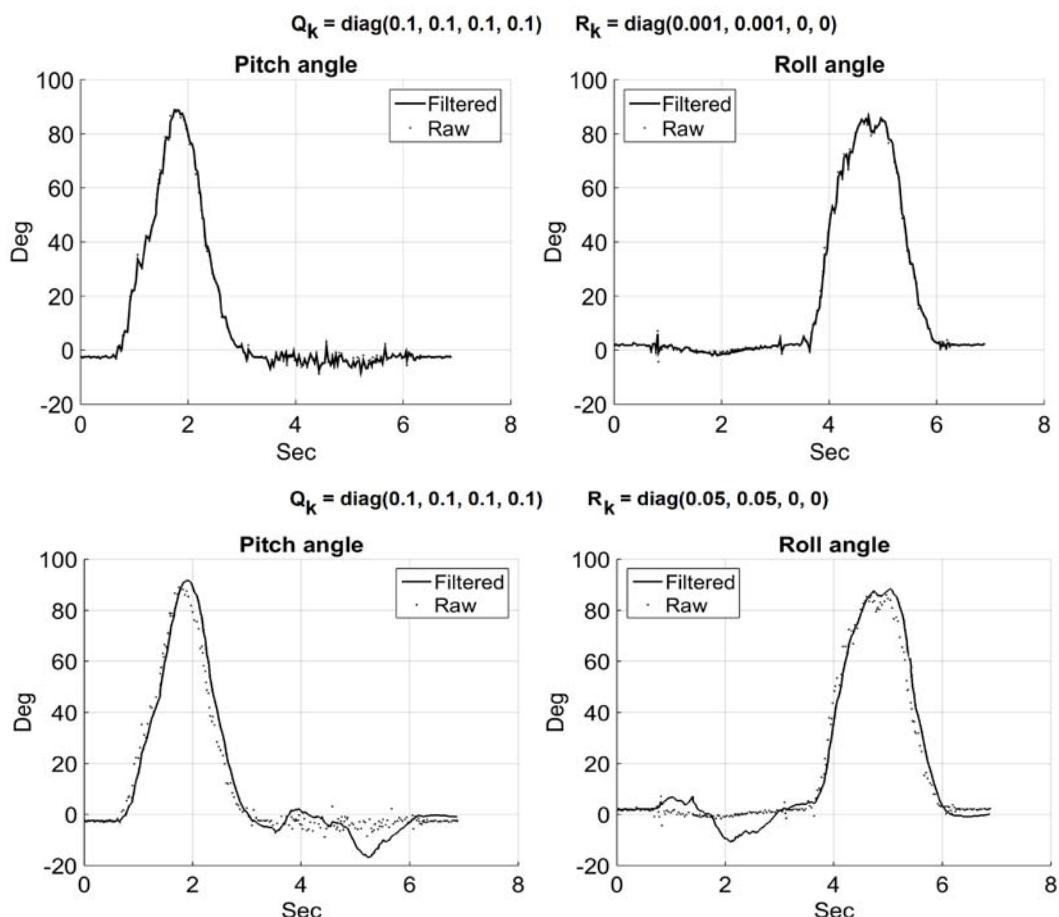
Резултати

За последователно измерени ъгли на тангаж и крен бяха обработени данните с линеен филтър на Калман за различни стойности на матриците от корелационни моменти Q_k и R_k .

Резултатите са показани на фиг. 2. Ясно проличава смисълът на ковариационните матрици, които отразяват степента на доверие в модела и получените данни.

Калибровката на датчиците и точността на измерване се гарантират от производителя. За потребителя е достатъчно да направи еднократно измерване, за да се получи резултат с точност, посочена в документи [1], [2] и/или [3]. Изключение е температурният офсет, като в цитираните документи са описани начини за компенсиране на резултата.

Стойността на действителните температура и атмосферно налягане на 08 септември, 2015 г., 12:30 часа, гр. София се получиха съответно 24.4°C и 95318.43 Pa , съответстващи на надморска височина 512 м. Грешката на резултатите е посочена в документ [2].



Фиг. 2. Филтриране на измерените ъгли на тангаж (ляво) и крен при различни ковариационни матрици R_k

Заключение

Приложението на метода за определяне ориентацията на БЛА в пространството във функция на Ойлерови ъгли е ограничено поради редица свойствени недостатъци. За трите Ойлерови ъгли тангаж, крен и рискане съществуват 12 различни последователности на въртене, които не са инвариантни. Например след последователни завъртания с тангаж 90° и крен 90° , БЛА приема ориентация, която е различна при същите ъгли на завъртане, но приложени в обратна последователност. Друг недостатък са сингуларности в математическия модел за стойности на Ойлеровите ъгли, както следва: рискане $\pm 2\pi$, тангаж $\pm \pi/2$, крен $\pm 2\pi$. Недостатък също се наблюдава когато един от Ойлеровите ъгли приема стойност $|\pi/2|$. В този случай БЛА губи една степен на свобода (рус. Складывание рамок, англ. Gimbal Lock). Произволното изменение на останалите два ъгъла води до еднакво отклонение на БЛА в пространството, [7].

Всички споменати недостатъци на метода отпадат при определяне на ориентацията на БЛА чрез кватерниони и т. нар. обобщен филтър на Калман (англ. Extended Kalman Filter). Описаният в доклада метод обаче е по-лесен за реализация и приложим за неманеврени БЛА.

Поради ограничения обем на доклада са спестени подробности относно програмирането на микроконтролера и персоналния компютър. Читателят получава пълен

достъп до изходния код, публикуван от автора в GitHub, [8], но само след цитиране на настоящия доклад. Демонстрация на използването на сензора може да се наблюдава на адрес [9], където данните се събират в PC чрез програмна среда Processing.

Литература:

1. MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification, Rev. 3.4, InvenSense Inc., 2013
2. BMP085 Digital Pressure Sensor, Data Sheet, Bosch Sensortec, 2008
3. 3-Axis Digital Compass HMC5883L, Honeywell, Rev. E, 2013
4. Watson, M., The Design and Implementation of a Robust AHRS for Integration into a Quadrotor Platform, MSc Thesis, University of Sheffield, May, 2013
5. Minkler, G., J. Minkler, Theory and Application of Kalman Filtering, Palm Bay, FL: Magellan Book Co., ISBN 0962161829, 1993
6. <http://www.magnetic-declination.com>
7. <http://www.youtube.com/watch?v=zc8b2Jo7mno&t=0m40s>
8. <https://github.com/samolet4e/AHRS-GY-88>
9. <https://www.youtube.com/watch?v=nsk0kRp7GIA>

INTERNET OF THINGS AND DRONES

Svetoslav Zabunov

Sofia University St. Kliment Ohridski
e-mail: s14@jalmst.net

Keywords: Internet of Things, Unmanned Aerial Vehicles

Abstract: “Internet of Things” (IoT) is a modern term gathering all or almost all devices that connect to the Internet. But why not connect drones to the Internet and control them using the Internet?

Drones are another modern trend in the high-end technological revolution and all innovations in the unmanned aerial vehicle avenue are most welcome by industry and the general user.

There are a few benefits from implementing Internet of Things in the drones and a few drawbacks. The current paper tries to disclose all aspects of using drones as Internet of Things. The author also proposes a new approach that is a partial Internet of Things realization thus avoiding the disadvantages of IoT that may be dangerous and simultaneously harvesting some of the advantages an IoT application may bear.

ИНТЕРНЕТ НА НЕЩАТА И ДРОНОВЕТЕ

Светослав Забунов

Софийски университет «Св. Климент Охридски», Физически факултет
e-mail: s14@jalmst.net

Ключови думи: Интернет на нещата, Безпилотни летателни апарати

Резюме: “Интернет на нещата” е модерен термин, обхващащ всички или почти всички устройства, свързани към Интернет. Но защо да не приложим интернет на нещата при дроновете и да ги управляваме чрез Интернет?

Дроновете са друго модерно течение във високо-технологичната революция и всички инновации при безпилотните летателни апарати са добре посрещнати от индустрията и потребителите.

Съществуват няколко полезни момента при използването на интернет на нещата при дроновете и няколко недостатъка. Настоящата статия се опитва да разкрие всички аспекти на използването на дроновете чрез интернет на нещата. Авторът предлага един нов подход, който представлява частична реализация на интернет на нещата и така избягва недостатъците на интернет на нещата, които могат да бъдат опасни. В същото време чрез този подход се оползотворяваат някои от предимствата, които едно приложение на интернет на нещата може да породи.

Introduction

“Internet of Things” (IoT) is a modern technology, or rather a field of technologies. It is not like drones, which date back from the 1930s. But what is Internet of Things? How do we define it?

Assuming that we know what the Internet is, we might think that defining IoT is an easy task, but practice has proven that it is not. There is still no universal definition of IoT that most institutions and universities have agreed upon. Without a formal and official definition we could use a broader definition that is drawn from the words in the term and also from its practical and obvious implementations. IoT is about things. With ‘things’ it is meant devices. It is about all kinds of devices from refrigerators, doors, cooking ovens to robots, smart phones, sensors and so on. Any device that can connect to the Internet through a LAN card or other means is a thing in the IoT avenue. But Internet of Things presumes mostly wireless connections. And of those wireless connections mostly Wi-Fi is meant. Some more radical devices that may become IoT are food packages like mink cans, bottles of vine and so on. Then IoT may be also clothes, luggage bags, shoes and hats. Well, anything

that is connected to the Internet might be qualified as Internet of Things, as long as this thing has electronics in it that communicate some information to and/or from the Internet.

If so many things are IoT then a question arises quickly: "What is not Internet of Things?". The answer goes like this: All things that are not connected to the internet or those connected to the Internet that have been connected for a quite a while, like laptops, tablets and smart phones. But for the smart phones no one is quite sure.

On a larger scale, IoT might be defined as smart grids, connected cities, industrial Internet.

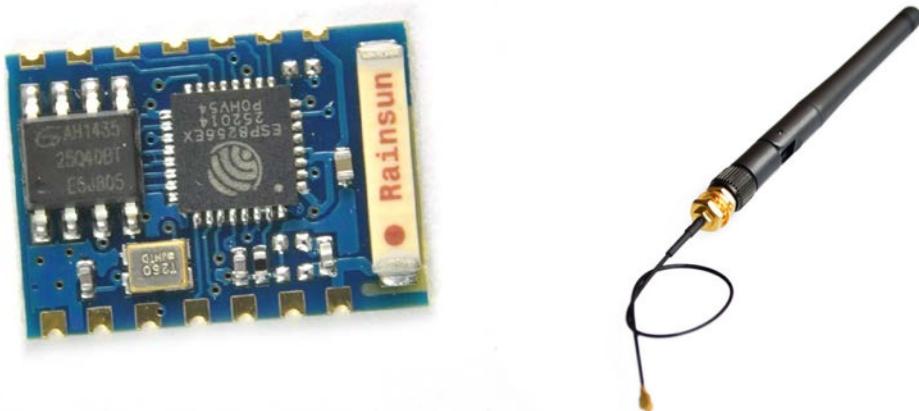


Fig. 1. Wi-Fi module with ceramic antenna (on the left) and external antenna for it (on the right).

Note: scale of the two images is not equal.

Drones and the Internet

This paper is about drones, no, it is about Internet and drones, or the reverse. Anyway, drones are obviously things and they do have a lot of electronics inside. Almost every drone has an onboard computer. Also almost every drone communicates with the base station. This communication is wireless. Then the questions arises: "Why not connect a drone to the base station through the Internet?". Of course it is possible and has been done many times. We shall examine the benefits and drawbacks of such an approach first. Then we shall suggest an approach that is a compromise, something in the middle of ordinary wireless connection and IoT method.

The Benefits of an IoT Drone

These are rather obvious. You may not need to establish a wireless network, but rather use a readymade one. Options are many. Let's elaborate on some of them.

1. Use a satellite phone. These are not very heavy and may be carried with ease by a midsized drone. If the satellite phone operator provides Internet access then you have IoT drone that can fly anywhere under the blue sky having the satellite network has coverage where the drone is flying. A nice solution. Universal one, one might say.
2. Use a terrestrial cell phone network. As in the previous point, but this time a cell phone, rather than a satellite phone. Having the operator provide Internet access, you have an IoT drone ready to fly. Now you may fly wherever there is coverage. If the operator is in one state – you may fly in one state. If the terrestrial cell phone operator supports roaming you might well extend your range. For example roaming got much cheaper in the European Union recently. Why not fly from London to Sofia using IoT drone carrying your cell phone (and enough fuel)?
3. Use local Wi-Fi networks. As long as you have access to these networks, wherever they are, you may connect your drone using a Wi-Fi LAN card onboard to these networks (see fig. 1). You may fly in a city, in a small region or have you.
4. Use some other wireless technology that connects to the Internet, like Bluetooth for example. Yes, the range may be shorter, or ever larger than Wi-Fi. Such a solution, nevertheless, will not be so universal, but it is still IoT, isn't it?



Fig. 2. Wi-Fi router

The benefits, as said are obvious:

1. You get cheap network access (not always), you pay for the access to it and the device on board.
2. You get almost worldwide coverage using a satellite phone.
3. Your drone may extract information from the Internet directly, not passing through your base station or the IoT server.
4. Your drone may post information directly to the Internet, not passing through your base station or the IoT server, having the places where the drone tries to post information allow robots to post.
5. Your base station needs to be connected to the Internet, but you don't always need a dedicated base station. You may use an improvised base station – your smart phone, your desktop computer, you name it.
6. You may want to use an IoT server, but for a highly autonomous drone you may go without even an IoT server. How about e-mail conversation between you and your drone?



Fig. 3. Wi-Fi amplifier

The Drawbacks of an IoT Drone

Most of the denoted drawbacks are true for all IoT devices, not only to drones. Internet is not a safe place and when a device is connected to the Internet it may be hacked. If this device can do harm then it is not a good idea to connect it to the Internet. The drone is a dangerous device, it may do a lot of damage if used improperly and enabling a potential access to it from an offender through the Internet is a drawback. Some countermeasures are always possible like super strong encryption and protection of the IoT server, the base station and the drone computer from attacks, but the risk is there and it is crucial. Another drawback is that some drones may need stable connections. The Internet is not so stable and has downtimes. On the other hand there are no networks with guaranteed coverage or with 0% downtime. A gap in communication due to the network infrastructure or the Internet connection may lead to catastrophic results in some scenarios.

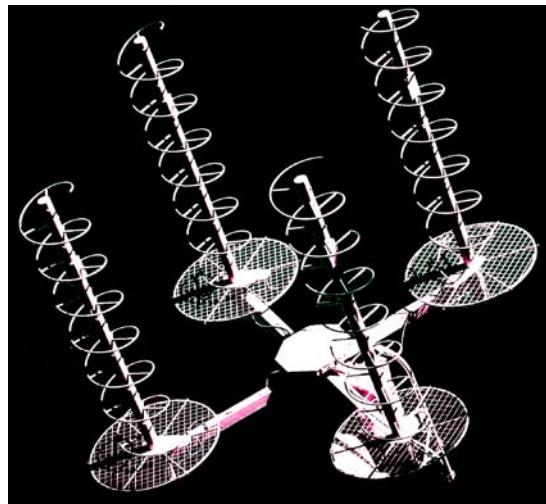


Fig. 4. Wi-Fi helix antenna

A Compromise between IoT Solution and a Standard Wireless Communication Solution

One might utilize some of the benefits of IoT method and also implement certain aspects of the classic wireless communication used to control drones. An example of such an approach is proposed by the author of the current article in the following sections.

Using a readymade wireless network meant for the Internet is a benefit. There are over the shelf devices for wireless Internet connectivity available for a very low cost. These are the Wi-Fi devices used for the IoT connectivity and the well-known wireless network routers, repeater and amplifiers. The idea is to create such a dedicated wireless Wi-Fi network that will connect the unmanned aerial vehicles and the base station without going through the Internet. The drone should be equipped with a micro-WLAN card (see fig. 1). The ground base station might use an ordinary Wi-Fi router (see fig. 2) whose performance could be enhanced using a Wi-Fi amplifier (see fig. 3) and a special purpose 2.4 GHz high gain directional antenna with circular polarization (see fig. 4). 5.8 GHz Wi-Fi frequency band is also an option, but the higher frequency has its drawbacks.

The circular polarization would eliminate some unwanted effects that deteriorate the wireless connection when applying high frequencies in the decimetre and centimetre bands.

Conclusions

Internet of Things is beneficial to drones control, but implementing it fully or partially should be done with care in order to avoid the dangers that accompany it. Drones are among the most hazardous devices of the modern technological advances and coupled with the weaknesses of IoT may result to catastrophic result if not dealt with as needed. On the other hand utilizing the benefits of IoT in the drones sphere bears new horizons for the inventors and engineer to harvest.

References:

1. Denise E. Zheng, William A. Carter. Leveraging the Internet of Things for a More Efficient and Effective Military, A Report of the CSIS Strategic Technologies Program, 2015.
2. Raman Chitkara, Werner Ballhaus, Olaf Acker, Dr. Bin Song, Anand Sundaram and Maria Popova. The Internet of Things: The next growth engine for the semiconductor industry, PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, 2015.
3. MICHAEL MILLER. The Internet of Things. How Smart TVs, Smart Cars, Smart Homes, and Smart Cities Are Changing the World, ISBN-13: 978-0-7897-5400-4, ISBN-10: 0-7897-5400-2.
4. Mark Heckler, James Weaver, Sean Phillips. Creating Our Robot Overlords. Autonomous Drone Development with Java and IoT. Copyright © 2014, Oracle and/or its affiliates.
5. Eric A. Fischer. The Internet of Things: Frequently Asked Questions, Congressional Research Service, 2015
6. Roberto Minerva, Abyi Biru, and Domenico Rotondi, Towards a Definition of the Internet of Things (IoT), IEEE Internet Initiative, May 27, 2015.
7. Adam Thierer. The Internet of Things and Wearable Technology: Addressing Privacy and Security Concerns without Derailing Innovation, Mercatus Center (George Mason University), November 19, 2014.

Session 3

***Remote Sensing
and
Geoinformation Systems***

Chairman: Assoc. Prof. Georgi Jelev
Secretary: Chief Assistant Denitsa Borisova

MODELLING THE ECOLOGICAL NICHE OF MACROPHYTOBENTHOS SPECIES ALONG THE BULGARIAN BLACK SEA COAST

Dessislava Ganeva

University of Southampton - UK
e-mail: dessislava.ganeva@gmail.com

Keywords: Ecological niche modeling, Maxent, Cystoseira barbata, Marine monitoring network

Abstract: This work is part of the effort to build statistically sound marine monitoring network to support the implementation of Article 11 (coordinated monitoring programmes) of the EU Marine Strategy Framework Directive (MSFD) in Bulgaria for the period 2014-2018. It is known that the existing monitoring is insufficient to meet the requirements of MSFD. A statistically sound sampling strategy is needed to provide adequate data for environmental status assessment. The first step in order to build a marine monitoring network is to develop an ecological niche model (ENM) of each ecosystem of the region.

Because of the nature of the available field data, a presence-only ENM was selected and Maxent modelling tool was chosen. A Maxent model of *Cystoseira barbata* (brown algae) was developed and instructions are provided in order to develop an ENM for the rest of the ecosystems. The environment predictor variables used to develop the Maxent model are existing monitoring information combined with satellite-derived information.

МОДЕЛИРАНЕ НА ЕКОЛОГИЧНАТА НИША НА МАКРОФИТОБЕНТОСИ ПО БЪЛГАРСКОТО ЧЕРНОМОРСКО КРАЙБРЕЖИЕ

Десислава Ганева

University of Southampton
e-mail: dessislava.ganeva@gmail.com

Ключови думи: Модел на екологичната ниша, Maxent, *Cystoseira barbata*, Морска мониторингова мрежа

Резюме: Тази разработка е част от усилията да се създаде статистически стабилна морска мониторингова мрежа, за да се подкрепи прилагането на член 11(координирани мониторингови програми) от Европейската Рамкова директива за морска стратегия (РДМС) в България за периода 2014-2018. Съществуващият мониторинг е недостатъчен за постигане на изискванията на РДМС. Статистически стабилна стратегия за пробонабиране е необходима, която да предостави достатъчно данни за оценка на състояние на околната среда. Първата стъпка при изграждане на морска мониторингова мрежа е разработката на модел на екологичната ниша (МЕН) за всяка екосистема в района.

Моделът Maxent, който е „presence-only”, бе избран поради натурата на достъпните полеви данни. За *Cystoseira barbata* (вид кафяви водорасли) бе изработен Maxent модел. Предоставени са инструкции за изработване на МЕН за останалите видове от екосистемите. Променливите, които определят околната среда използвани в Maxent модела, са съществуващи мониторингови данни комбинирани със спътниково данни

Introduction

This study is the first step in order to develop a monitoring network of the Bulgarian Black Sea by modelling the spatial distribution of the different ecosystems (Amorim *et al.* 2014, Fyhr *et al.* 2013). Existing monitoring information will be combined with satellite-derived information to enable the design of statistically sound species distribution of the ecosystems using GIS tools.

This study focuses on modelling the ecological niche of *Cystoseira barbata* (macrophytobenthos species) along the Bulgarian Black Sea coast using Maxent tool and gives

practical steps in order to perform a Maxent model for the rest of the identified ecosystems. The present report is a summary of this study that could be downloaded from www.academia.edu.

Methodology

In the literature there is sometimes confusion between species distribution model (SDM) and ecological niche model (ENM) (Anderson 2012), however it is important question for the interpretation of the results (Araujo and Guisan 2006). In this study the ENM is considered as described by Anderson 2012, because only the suitable conditions (abiotically) will be modeled.

Modelling techniques are especially useful when there is a lack of biological surveys, as is the case in the Black sea. While ENM cannot replace the actual monitoring, its predictions can be used to construct effective marine monitoring strategies for impact and ecological status assessments needed for the implementation of ecosystem-oriented management regulations such as the European Marine Strategy Framework Directive (Fyhr *et al.* 2013, Reiss *et al.* 2014).

In order to establish the best sample sites for the monitoring program the species ecological niche should be estimated. Therefore a correlative ENM will be developed (Amorim *et al.* 2014, Stohlgren *et al.* 2011). Correlative ENM are empirical models relating field observations (sampling data) to environmental predictor variables, based on statistically or theoretically derived response surfaces (Guisan A. and Thuiller W. 2005). Therefore the quality of the input data is of course of great importance for the model (Lozier *et al.* 2009, Soberon and Peterson 2004), as Pearson, 2009 states: "Garbage in, garbage out". In our case this applies for the sampling data and the environment data.

There are two main groups of ENM that are divided by the type of data they use: presence-absence and present-only data (Brottons *et al.* 2004). The available data for seabed habitats in the Bulgarian part of the Black sea is a presence-only data. Therefore only those types of ENM will be considered. Another specificity of the available data is that the sample size is very small. For example there are 20 sampling locations for *Cystoseira barbata* in 2012 monitoring.

The Maximum Entropy model was chosen as the most appropriate, considering the specificity of the available data and its predictive capabilities even for small sample size (Anderson and Gonzalez 2011, Magris and Déstro 2010, Meißner *et al.* 2014, Merow *et al.* 2013, Reiss *et al.* 2011, Stockwell and Peterson 2002, Wisz *et al.* 2008) and Maxent v3.3.3.3k software (Phillips *et al.* 2006) was used.

Maxent relies on an unbiased data, however our data is highly biased therefore special care was taken in order to limit the effect of the sampling bias (Barnes *et al.* 2014, Elith *et al.* 2010, Fourcade *et al.* 2014, Kramer *et al.* 2013, Phillips *et al.* 2009, Syfert *et al.* 2013). The split correction was used when creating the bias file, in the sense that for the strip 0-3m a Gaussian function was applied and for the strip 3-end of the distribution area of the species a value of almost 0 density was applied.

The choice of the environment predictor variables is a very important step in modelling species ecological niche because those models use correlative approaches that use the environmental variables to explain patterns of species ecological niche (Reiss *et al.* 2011). Maintaining a small number of predictor variables, when having small sampling size is a sound strategy (Warren *et al.* 2014). Along with substrate characteristics and wave regime the environment predictor variables from remote sensing in Table 1 were used.

Table 1. Products from GlobColor (www.globcolor.info) used in the study

Environmental predictor variables from remote sensing	Product from ACRI-ST GlobColour Team 2014	Remarks
Total suspended matter concentration	TSM	Chosen because validated for water type II
The Secchi Disk depth	ZSD-DORON	Chosen because validated for water type II
Chlorophyll-a concentration	CHL-2	Chosen because validated for water type II
Photosynthetically Available Radiation	PAR	

Another important aspect of a model is the spatial extend of the study area because the model performance relies on it (Anderson & Raza 2010, Barbet-Massin *et al.* 2012, Barve *et al.* 2011). The study area should be the geographical area accessible to the species over given time period (Fourcade *et al.* 2014, Anderson & Raza, 2010). After discussion with Bulgarian macrophytobenthos experts (Elitza HINEVA from Institute of Oceanology Varna and Dimitar BEROV from the Institute of Biodiversity and Ecosystem Research at the Bulgarian Academy of Sciences in Sofia), it was agreed

that the most probable habitat distribution of *Cystoseira barbata* along the Bulgarian Black Sea coast is between 0 and 15m water depth.

With different scale and resolutions of the data, different patterns are visible (Austin 2007, Guisan and Thuiller 2005, Haegeman and Etienne 2010, Pearson and Dawson 2003, Pearson *et al.* 2004), it is why a great care was taken in adjusting the right spatial scale for the application. On one hand, the samples were taken from a square of 15m X 15m and their exact location is unknown. Therefore a coarser resolution than 15m X 15m would better take into account this uncertainty. On the other hand the substrate is the predictor variable that is the most important and the resolution should be fine enough to distinguish correctly the hard substrate. A resolution of about 50m correctly represents the substrate. On the third hand the study area for each species is a narrow strip of less than 2km wide along the Bulgarian Black Sea coast and is less than 400km long. Therefore a spatial resolution of about 50m per cell size was chosen for all the variables in the Maxent model.

The calibration and selection of the suitable model is done following Scheglovitova and Anderson (2013) and Pearson *et al.* 2007 for small sampling size. The model was run with different types of features and regularization and optimising first the omission rate and then the AUC. The lowest presence threshold rule (Pearson *et al.* 2007) or the equivalent minimum training presence threshold (in Maxent) was used in order to determine if a test sample is within or out of the predicted area. Because of the small sample size the chosen threshold represents a conservative rule preventing to overestimate the area suitable for the species. Therefore the omission rate is the number of times a test sample is outside of the predicted area, the lower the omission rate the better. The types of feature for which the model was tested are L (linear), Q (Quadratic) and H (Hinge) following Philipps and Dudik 2008 recommendations because of the sample size of 20. Using complex features increase the complexity of the model and could lead to an overfitting. The following features or group of features will be used for the test: L, Q (LQ and QH are the same as Q), H (LH is the same as H), LQH. Regularization of the other hand gives more or less tolerance in the selected variable value and therefore smaller regularization value will probably result in more restricted predictions and larger regularisation values in less discriminating predictions. The regularization multipliers 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.50, 1.75, 2 were used.

This study utilises two tests to evaluate the model: (i) Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (AUC) (ii) test for significance of the results. An AUC value of 1 is considered a perfect prediction and a value of 0.5 or less is considered a prediction no better than random. In other words a model with AUC = 0.89 ranks the suitability of the site correctly 89% of the time. The "leave-one-out" approach for model evaluation was applied as described by Pearson *et al.* 2007.

Results

The tests with lower omission rate are the tests for every tested feature class with the regularization multiplier of 1.75 and 2. For each feature class, higher regularization multipliers correspond to lower omission, which correspond to the results from Scheglovitova and Anderson (2013). The tests with the regularization multiplier 1.75 were selected as optimal settings because of the downscale resampling of the remote sensing data from 1000m to 50m spatial resolution. Therefore more value tolerance for those variables is not necessary.

For the tests with lower omission rate, an average AUC was calculated from the 20 "leave-one-out" runs of the model, results in Table 2. For each model a P-value was computed with the tool proposed by Pearson *et al.* 2007 in their Appendix. All the models are statistically significant (P-value < 0.05).

Table 2. AUC and P-value for the tests with the lowest omission rate

Test	AUC mean test	P-value
Test H, 1.75	0,8426	0,000019
Test LQH, 1.75	0,84885	0,000027
Test Q, 1.75	0,84835	0,000027
Test L, 1.75	0,8303	0,000015

Conclusions

The calibration of the Maxent model shows 4 models with similar performances, see Table 2. Although it is still under consideration which of those models to choose, the less complex model was selected (L1.75, Linear feature and regularization multiplier 1.75). Only 3 out of the 6 variables contribute to the model (substrate, waves, chlorophyll-a).

The proposed *Cystoseira barbata* ecological niche as an input for modelling the monitoring network is in Figure 1.

Proposed *Cystoseira barbata* ecological niche as an input for modelling the monitoring network

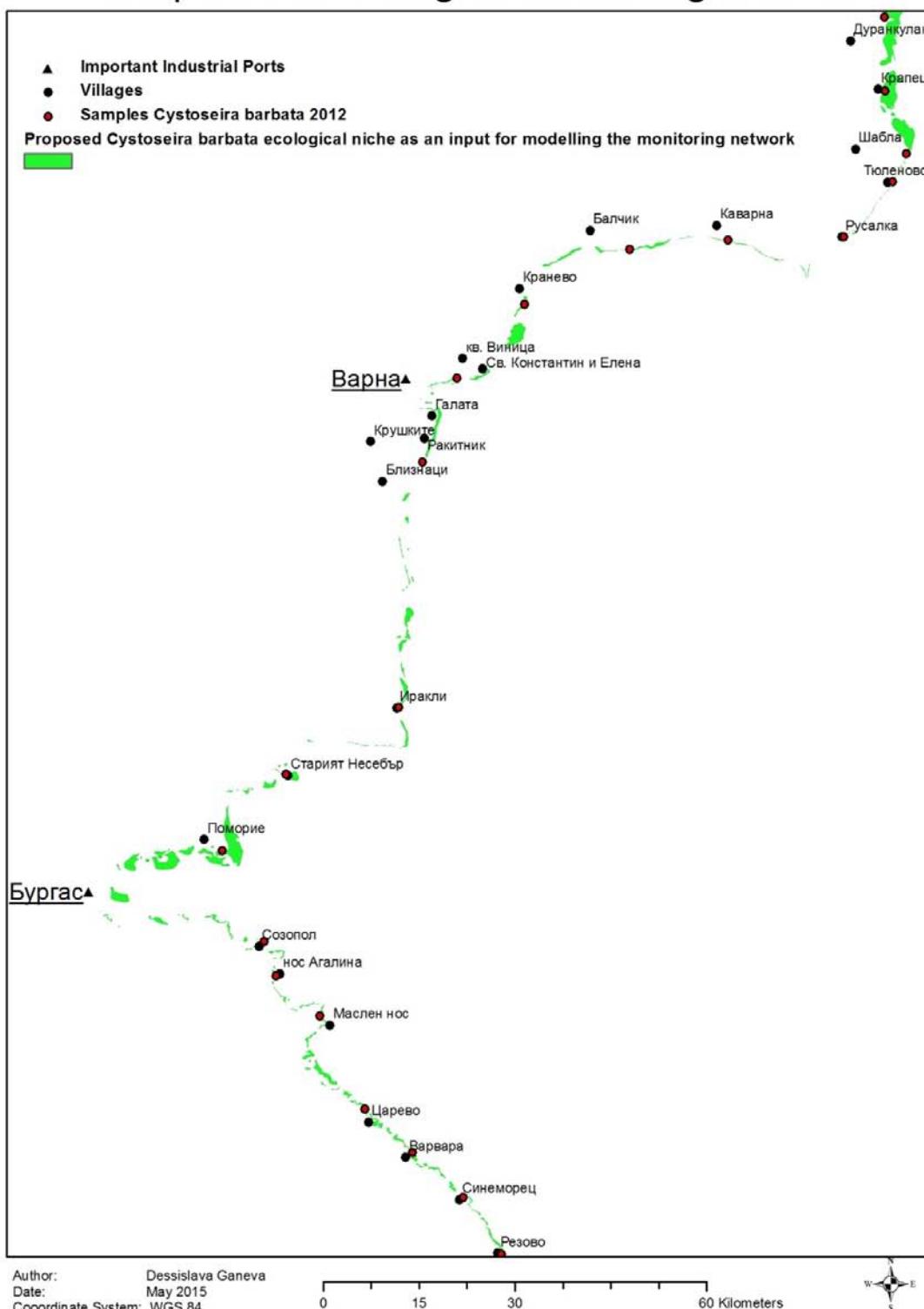


Fig. 1. Proposed *Cystoseira barbata* ecological niche as an input for modelling the monitoring network

References:

1. Amorim, F., Carvalho, S.B., Honrado, J., Rebelo, H., 2014. Designing Optimized Multi-Species Monitoring Networks to Detect Range Shifts Driven by Climate Change: A Case Study with Bats in the North of Portugal. *PLoS ONE*, 9(1), e87291
2. Anderson, R.P., 2012. Harnessing the world's biodiversity data: promise and peril in ecological niche modeling of species distributions. *Annals of the New York Academy of Science*, 1260, 66-80
3. Anderson, R.P. and Raza, A., 2010. The effect of the extent of the study region on GIS models of species geographic distributions and estimates of niche evolution: preliminary tests with montane rodents (genus *Nephelomys*) in Venezuela. *Journal of Biogeography*, 37, 1378–1393
4. Anderson, R.P. and Gonzalez Jr., I., 2011. Species-specific tuning increases robustness to sampling bias in models of species distributions: An implementation with Maxent. *Ecological Modelling*, 222, 2796–2811
5. Araujo, M.B. and Guisan, A., 2006. Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, 33, 1677–1688
6. Austin, M., 2007. Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches. *Ecological modelling*, 200, 1–19
7. Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Albert C.A. and Thuiller, W., 2012. Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? *Methods in Ecology and Evolution*, 1–12
8. Barnes, M.A., Jerde, C.L., Wittmann, M.E., Chadderton, W. L., Ding, J., Zhang, J., Purcell, M., Budhathoki, M. & Lodge D.M., 2014. Geographic selection bias of occurrence data influences transferability of invasive *Hydrilla verticillata* distribution models. *Ecology and Evolution*, 4(12), 2584–2593
9. Barve, N., Barve, V., Jimnez-Valverde, A., Lira-Noriega, A., Maher, S.P., Peterson, A.T., Soberyn, J. and Villalobos, F., 2011. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling*, 222, 1810–1819
10. Brotons, L., Thuiller, W., Araujo, M.B. and Hirzel, A.H., 2004. Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability, *ECOGRAPHY*, 27, 437–448
11. Elith, J., Kearney, M. and Phillips, S., 2010. The art of modelling range-shifting species, *Methods in Ecology and Evolution*, 1, 330–342
12. Fourcade, Y., Engler, J.O., Rodder, D., Seundi, J., 2014. Mapping Species Distributions with MAXENT Using a Geographically Biased Sample of Presence Data: A Performance Assessment of Methods for Correcting Sampling Bias. *Plos One*, 9(5), e97122
13. Fyhr, F., Nilsson, Å., Nyström, S.A., 2013. A review of Ocean Zoning tools and Species distribution modelling methods for Marine Spatial Planning. Aquabiota Water Research paper
14. Guisan, A. and Thuiller, W., 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models, *Ecology Letters*, 8, 993–1009
15. Haegeman, B. and Etienne, R.S., 2010. Entropy Maximization and the Spatial Distribution of Species, *The American Naturalist*, 175(4), E74–E90
16. Kramer-Schadt, S., Niedballa, J., Pilgrim, J.D., Schroder, B., Lindenborn, J., Reinfeldter, V., Stillfried, M., Heckmann, I., Scharf, A.K., Augeri, D.M., Cheyne, S.M., Hearn, A.J., Ross, J., Macdonald, D.W., Mathai, J., Eaton, J., Marshall, A.J., Semiadi, G., Rustam, R., Bernard, H., Alfred, R., Samejima, H., Duckworth, J. W., Breitenmoser-Wuersten, C., Belant, J.L., Hofer H. and Wilting, A., 2013. The importance of correcting for sampling bias in MaxEnt species distribution models. *Diversity and Distributions*, 19, 1366–1379
17. Lozier, J. D., Aniello, P. and Hickerson, M. J., 2009. Predicting the distribution of Sasquatch in western North America: anything goes with ecological niche modelling, *Journal of Biogeography*, 36, 1623–1627
18. Magris, R.A. and Déstro, G.F.G., 2010. Predictive Modelling Of Suitable Habitats For Threatened Marine Invertebrates and implications for Conservation Assessment In Brazil, *Brazilian Journal of Oceanography*, 58, 57–68
19. Meißner, K., Fiorentino, D., Schnurr, S., Martinez Arbizu, P., Huettmann, F., Holst, S., Brix, S., Svavarsson, J., 2014. Distribution of benthic marine invertebrates at northern latitudes — An evaluation applying multi-algorithm species distribution models, *Journal of Sea Research*, 85, 241–254
20. Merow, C., Smith, M. J. and Silander, J.A. Jr., 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter, *Ecography*, 36, 1058–1069
21. Pearson, R.G. and Dawson, T.E., 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12, 361–371
22. Pearson, R.G., Dawson, T.P. and Liu, C., 2004. Modelling species distributions in Britain: a hierarchical integration of climate and land-cover data. *Ecography*, 27, 285–298
23. Pearson R.G., Raxworthy C.J., Nakamura M. and Peterson A.T., 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34, 102–117
24. Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259
25. Phillips, S.J. and Dudík, M., 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31, 161–175
26. Phillips, S.J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C.H., Lehmann, A., Leathwick, J., Feffer, F., 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications*, 19(1), 181–197
27. Reiss, H., Cunze S., König, K., Neumann, H., Kröncke, I., 2011. Species distribution modelling of marine benthos: a North Sea case study, *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES*, 442, 71–86

28. Reiss, H., Cunze S., König, K., Neumann, H., Kröncke, I., 2011. Species distribution modelling of marine benthos: a North Sea case study, *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES*, 442, 71–86
29. Reiss, H., Birchenough, S., Borja, A., Buhl-Mortensen, L., Craeymeersch, J., Dannheim, J., Darr, A., Galparsoro, I., Gogina, M., Neumann, H., Populus, J., Rengstorf, A.M., Valle, M., van Hoey, G., Zettler, M.L. and Degraer, S., 2014. Benthos distribution modelling and its relevance for marine ecosystem management. *ICES Journal of Marine Science*
30. Shcheglovitova, M. and Anderson, R.P., 2013. Estimating optimal complexity for ecological niche models: A jackknife approach for species with small sample sizes. *Ecological Modelling*, 269, 9–17
31. Soberon, J. and Peterson, A.T., 2004. Biodiversity informatics: managing and applying primary biodiversity data. *Le Royal Society B*, 359, 689–698
32. Stockwell, D.R.B. and Peterson, A. T., 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling*, 148, 1–13
33. Stohlgren, T.J., Kumar, S., Barnett, D.T. and Evangelista, P.H., 2011. Using Maximum Entropy Modeling for Optimal Selection of Sampling Sites for Monitoring Networks, *Diversity*, 3, 252-261
34. Syfert, M.M., Smith, M.J., Coomes, D.A., 2013. The Effects of Sampling Bias and Model Complexity on the Predictive Performance of MaxEnt Species Distribution Models. *Plos One*, 8(2), e55158
35. Warren, D.L., Wright, A.N., Seifert S.N. and Shaffer H.B., 2014. Incorporating model complexity and spatial sampling bias into ecological niche models of climate change risks faced by 90 California vertebrate species of concern. *Diversity and Distributions*, 20, 334–343
36. Wisz, M. S., Hijmans, R. J., Li, J., Peterson, A. T., Graham, C. H., Guisan, A., 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, 14, 763–773

**WINTER WHEAT CROP STATE ASSESSMENT, BASED ON SATELLITE DATA
FROM THE EXPERIMENT SPOT-5 TAKE-5, UNMANNED AIRIAL VEHICLE
SENSEFLY eBee AG AND FIELD DATA IN ZLATIA TEST SITE, BULGARIA**

Eugenia Roumenina¹, Georgi Jelev¹, Petar Dimitrov¹, Vassil Vassilev¹, Veneta Krasteva², Iliana Kamenova¹, Monko Nankov³, Viktor Kolchakov²

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²The Institute of Soil Science, Agro-Technology and Plant Protection “Nikola Pushkarov”,
Agricultural Academy, Bulgaria

³Maize Research Institute – Kneja, Agricultural Academy, Bulgaria
e-mail: roumenina@space.bas.bg

Key words: SPOT 5 Take 5, SenseFly eBee Ag, NDVI, Winter Wheat, Physiological State

Abstract: this article presents the first results from the agricultural application of satellite time series data from the SPOT5/HRG XS in Zlatia Test Site (ZTS), Bulgaria. Those time series were acquired within the SPOT 5 Take 5 experiment, which was carried out between April and September 2015 as an initiative of CNES and ESA. The main objective of the study is to perform spatial analysis and assessment of the winter wheat physiological state in three test fields using time series of satellite NDVI imagery from SPOT5/HRG XS (product level L2A). The crop state is assessed using a qualitative scale with three levels: poor, satisfying and good condition. This division was based on NDVI threshold values determined during this study using the method natural breaks classification. Assessment maps are prepared for three winter wheat phenological stages: stem elongation, milk development and dough development. Field experiment was carried out on 8 and 9 June 2015 to verify the maps. Image of the test fields was acquired using the specialized unmanned aerial system for mapping senseFly eBee Ag. In addition were performed phenological observations, biometrical measurements and plant samples were collected from nine sampling plots to assess the actual state of the crops. The NDVI values from both eBee Ag/S110NIR and from SPOT5/HRG2 XS pixels have been classified using natural breaks method in three NDVI ranges, corresponding to three classes of crop state (poor, satisfying and good). Those classes coincide entirely with the ground observations of the physiological crop state established during the field campaigns. The results from the study carried out in ZTS show that the high spatial and temporal resolution of the SPOT 5 Take 5 image dataset substantially increase the potential for monitoring of winter wheat and assessment of its state at local level.

**АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕ НА ПОСЕВИ ОТ ЗИМНА ПШЕНИЦА
НА БАЗАТА НА СПЪТНИКОВИ ДАННИ ОТ SPOT-5 TAKE 5, ИЗОБРАЖЕНИЯ
ОТ SENSEFLY eBee AG И ПОЛЕВИ ИЗМЕРВАНИЯ НА ТЕСТОВИ УЧАСТЬК
„ЗЛАТИЯ“, БЪЛГАРИЯ**

**Евгения Руменина¹, Георги Желев¹, Петър Димитров¹, Васил Василев¹, Венета Кръстева²,
Илиана Каменова¹, Монко Нанков³, Виктор Колчаков²**

¹Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

²Институт по почвование, агроекология и растителна защита „Н. Пушкиров“ – ССА

³Институт по царевицата – Кнеша, ССА
e-mail: roumenina@space.bas.bg

Ключови думи: SPOT 5 Take 5, senseFly eBee Ag, NDVI, зимна пшеница, състояние на посевите

Резюме: В настоящата статия са представени първите резултати свързани с използване на спътникови времеви серии от сензора SPOT5/HRG2_XS за земеделски приложения на територията на

тестови участък (ТУ) „Златия“, България. Те са получени по време на експеримента SPOT 5 Take 5 който е осъществен в периода април-септември 2015 г. по инициатива на CNES и ESA. Основана цел на изследването е да се извърши пространствена оценка и анализ на състоянието на посеви от зимна пшеница на три полета разположени на територията на ТУ „Златия“ с използване на спътниково времеви серии от NDVI изображения генериирани от сензора SPOT5/HRG2_XS (продукт ниво L2A). Състоянието на посевите е оценено на 3 степени – лошо, удовлетворително и добро на базата на установени в процеса на изследването праговите стойности на NDVI за всяка от тях. Съставени са оценъчни карти за три от фазите на развитие на зимната пшеница - временене, млечна и восьчна зрелост. За верифициране на съставените карти на 08 и 09.06.2015 г. е осъществен полеви експеримент. Извършено е заснемането със специализирана безпилотна система за въздушно картографиране senseFly eBee Ag. Проведени са и наземни фенологични наблюдения, биометрични измервания и събиране на растителни пробы от 9 елементарни площадки за оценка на реалното състояние на посевите. За трите полета е изградена гео-база данни. Установено е, че стойностите на NDVI на пикселите от изображенията NDVI eBee Ag/S110NIR и NDVI SPOT5/HRG2 XS, съответстващи на местоположението на елементарните площадки, изцяло попадат в границите на праговите стойности на индекса, отговарящи на трите изследвани състояния на посевите.

Резултатите от проведените изследвания на ТУ „Златия“ показват, че високата пространствена и времева разделителна способност на изображенията получени от експеримента SPOT 5 Take 5 повишават значително потенциала за извършване на мониторинг на посеви от зимна пшеница и оценка на тяхното състояние на локално ниво.

Introduction

Large number of documents in the common agricultural policy of the European Union (EU), are intended to rule and regulate the use of satellite imagery to control the agricultural practices, to assess the crop state of agricultural fields and to predict their yields. With the launch of Sentinel-1A in 2014, starts the EU program for Earth observation – Copernicus [<http://copernicus.eu>]. On 23 June 2015 the satellite Sentinel – 2A was launched with temporal resolution of 10 days, operating in 13 spectral channels, with spatial resolution of 10 m, 20 m and 60 m. After the launch of Sentinel – 2B, planned for 2016 is expected that satellite imagery with this type of characteristics to be acquired every 5 days. Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) and the European Space Agency (ESA) have initiated the project SPOT 5 TAKE 5 [[https://earth.esa.int/web/...](https://earth.esa.int/web/)] in 2015 before the launch of Sentinel – 2A. The project goal was to change the orbit of the satellite SPOT 5, to the intended orbit of Sentinel – 2 in order to generate imagery with 5 days temporal resolution mimicking Sentinel – 2 imagery. In December 2014, ESA have opened a call for project proposals for test areas around the world, where dense time-series of satellite imagery will be acquired and made available for experiments and the data processing cost will be funded by ESA's Earthnet program. Space Research and Technology Institute (SRTI) and the Institute of Soil Science, Agro-Technology and Plant Protection "Nikola Pushkarov" (ISSAPP) proposed a territory in North-West Bulgaria – Zlatia Test Site (ZTS), the test site was accepted together with other 150 test areas around the world [<http://www.cesbio.ups-tlse.fr/...>]. In the period between April and September 2015 field data collection campaigns in ZTS were carried out. The imagery acquired during the SPOT 5 TAKE 5 experiment are preprocessed by THEIA Land Data Centre. The satellite imagery was available in two types of products L1C (Ortho-rectified images expressed in top of atmosphere reflectance) and L2A (Ortho-rectified images expressed in surface reflectance with a cloud and cloud shadow mask). During the vegetation period in 2015, over ZTS are acquired 21 satellite images, with 12 of them with relatively low cloud cover. In this paper are presented the results from the first experiment conducted during the summer in 2015. The main goal of the experiment is to perform spatial analysis and assessment of the winter wheat physiological condition in three agricultural fields in ZTS. NDVI time series are generated using the sensor SPOT5/HRG2_XS. The crop condition was assigned in one of the three classes: poor, satisfying and good condition, using NDVI threshold values. The threshold values are determined with natural breaks classification.

Study area

Winter wheat (*Triticum aestivum*) is traditionally grown in Bulgaria. There is substantial amount of research dealing with the spectral characteristics of this crop and its ecological and physiological features [Kancheva R. et al 2013]. In Bulgaria, satellite vegetation indices have been broadly used for

mapping the physiological state of winter wheat and other agricultural crops [Roumenina E., et al 1989, 2000, 2011, 2013, 2014, 2015; Vassilev V. et al 2014].

The study area investigated during the field experiments comprises of three agricultural fields, located in North – West Bulgaria, near the village of Kneja, municipality Pleven. This area is one of the most extensive agricultural regions in Bulgaria and the Danube plain, with average elevation of 136 m. The remarkable fertility of this territory is mostly due to the soil type – typical chernozem. The test fields are sown with the cultivar *Enola*, 4 cm deep, with norm of 26 kg/dka. The spatial analysis and assessment of the test fields are performed in the period April – July 2015, during the experiment *SPOT 5 TAKE 5*. In the beginning of the project, the crop is in phenophase stem elongation on 15 April 2015 and the end of the project coincides with the harvest on 10 and 11 July 2015.

Methods and data

It is vital for the farmers to have in-time estimates of local crop condition anomalies within the fields. This information enables taking on-time decision making and prevents such cases and supports sustainable usage of the agricultural resources. Different technologies are applied for controlling and crop condition assessment: ground data collection equipment with high accuracy but very time and resource consuming; unmanned aerial vehicles, airplanes and satellite imagery. The current article satellite derived information from the experiment *SPOT 5 TAKE 5* was used a data source. Based on image processing and analysis in ArcGIS environment, crop condition maps are composed for winter wheat for three fields in the studied period. For validation of the achieved results sub-satellite ground measurements were conducted between 07-09.06.2015. Crop condition assessment was based on: ground phonological information, biometric measurements, collection of plant tissue samples conducted in the Institute of Maize in Knezha. During the experiments a unmanned aerial vehicle senseFly eBeeAg was used. All collected data during the experiments were included in the ArcGIS geodatabase.

Multispectral Satellite and aerial imagery

The spatial resolution and winter wheat crop condition analysis in the studied fields is based on multispectral satellite imagery from SPOT5/HRG2 XS (product L2A) collected from the *SPOT 5 TAKE 5* experiment. They have 4 spectral bands at the following wavelengths: 1) $\lambda\lambda$ 0.50 – 0.59 μm ; 2) $\lambda\lambda$ 0.61 – 0.68 μm ; 3) $\lambda\lambda$ 0.79 – 0.89 μm и 4) $\lambda\lambda$ 1.58 – 1.75 μm . The spatial resolution is 10 meters. Nine cloud free images were processed, acquired in the period between 19.04.2015 – 13.07.2015.

The Canon S110 camera was used for the image acquisition with the specialized unmanned aerial vehicle equipment senseFly eBee Ag. The camera has the following spectral bands: 1) $\lambda\lambda$ 0.52 – 0.59; 2) $\lambda\lambda$ 0.58 – 0.67 и 3) $\lambda\lambda$ 0.80 – 0.90. In order to get spatial resolution of 10 cm/pixel for the images the UAV flight height of 286 m is set.

Ground data collection

Crop calendar information was obtained from a local farmer including the following information: previous sown crop, date of sowing and harvest, beginning and end date of all major phenonological stages of the crops, achieved yield, date and type of the agricultural treatments, date of fertilizing, herbicides and insecticide treatments.

During the conducted sub-satellite experiments on 08-09.06.2015, information for 9 sampling units with size 1m^2 within the studied fields was collected: crop phenophase, LAI, height and density of the crop canopy, soil moisture and GPS measurement. The collected plant tissue samples ware evaluated in the laboratory for quantity of fresh biomass, dry matter, chlorophyll content, caronines and total nitrogen content.

Building-up a spatial Geodatabase

A geodatabase for all three studied fields was created in UTM WGS84 projection including:

- Collected sampling data for each field including: accurate location, soil properties, crop calendar;
- Raw multispectral imagery from: 1) SPOT-5/HRG2 XS (product L2A) and 2) eBee Ag/Canon S110 NIR camera

- Ground collected data and laboratory measurement;
- Processed information layers from the conducted analysis.

The crop condition assessment was applied utilizing the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

$$(1) \quad \text{NDVI} = (\rho\text{NIR} - \rho\text{Red}) / (\rho\text{NIR} + \rho\text{Red})$$

Where, където:

ρNIR – **near** infrared reflectance values
 ρRed – **red** reflectance values

The NDVI index is presented first in the work of Rouse et al, 1973 and it is the mostly applied vegetation index ever since for satellite vegetation monitoring. The NDVI values traditionally lies between -1 and +1. The NDVI index can be generated with vast amount of satellite imagery with different spatial resolution, which have available spectral bands in the red and NIR portion of the electromagnetic spectrum ($0.55\text{-}0.75 \mu\text{m}$) and ($0.75\text{-}1.0 \mu\text{m}$), respectively [P. Sellers, C. Turker et al., 1994]. The algorithm for calculating the NDVI is implemented in most of the dedicated software's for image processing. The index is mostly used for vegetation season dynamics evaluation for example monitoring the season analysis and condition of crops.

The procedure for image processing includes the following stages:

- 1) Orthorectified imagery creation from the eBee Ag/Canon S110 NIR camera;
- 2) NDVI generation from SPOT 5/HRG XS and the eBee Ag/Canon S110/NIR camera;
- 3) Applying crop mask only for the selected crop fields;
- 4) Applying 15 m buffer within the border of the fields;
- 5) Aggregation of the unmanned aerial vehicle to the spatial resolution of the satellite images from the experiment SPOT 5/HR2 XS to 10 meters.
- 6) Applying of natural jerks classification algorithm (*Jenks' Natural Breaks Algorithm*) [Jenks G., 1967] to the selected winter wheat fields with 4 classes. This algorithm determines the borders from preliminary determined classes is based on natural data grouping of the images and differentiate between the class values the best way possible. For each class a threshold values are determined which resembles the best grouping of values. This enables to minimize the variations of the NDVI values. Three crop condition classes are defined for the winter wheat: poor condition, satisfactory and good condition. One additional class is defined not occupied with winter wheat cover. Winter wheat crop condition maps are composed and the area occupied by each class is calculated.

Results and Discussions

The winter wheat condition determined by the NDVI threshold values is constantly changing during the vegetation season (Figure 1.) From the moment the winter wheat is sown they start to accumulate biomass and the values of the index start to increase. At milk dough phenophase the accumulated biomass is at its peak, and afterwards the values start to decrease towards the end of the vegetative season. The lower values of the vegetation index is evidence for occurring stress situation, which in most cases is due to pest infestations or bad soil moisture conditions. The average values of the NDVI derived from SPOT 5/HRG2 XS for the three studied fields for all images varies between 0.20-0.85 (Figure 1).

Using the vegetative crop calendar and the average values analysis of the NDVI/SPOT 5/HRG2 XS (Figure 1.) three acquisitions dates were selected: 19.04.2015, 08.06.2015 and 08.07.2015. Threshold values are determined for these dates and crop condition maps were created (Figure 2, 3, 4).

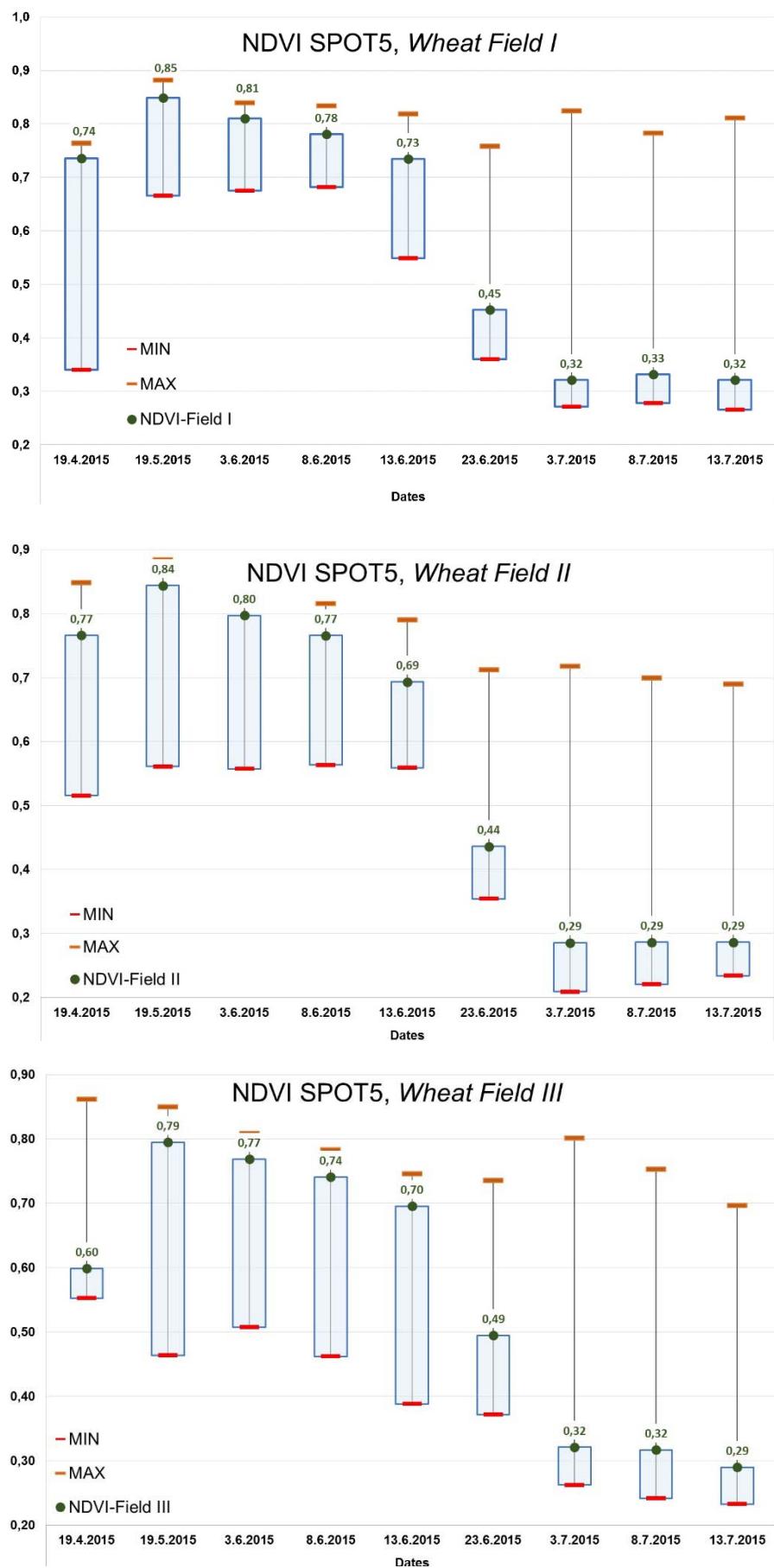


Fig. 1. Mean, maximal, and minimal NDVI from the SPOT 5/HRG2 XS over the studied winter wheat fields for the period 19.04.2015 – 13.07.2015.

Table 1. Threshold NDVI values for the SPOT 5 HRG2 XS sensor

Date	Phenophase	Condition	NDVI Threshold values
19.04.2015	Stem elongation	Poor	0,34 - 0,58
		Satisfying	0,59 - 0,75
		Good	0,76 - 0,86
08.06.2015	Milk Dough	No winter wheat areas	0,35 - 0,59
		Poor	0,6 - 0,7
		Satisfying	0,71 - 0,75
		Good	0,76 - 0,82
08.07.2015	Maturity	Weeds	0,49 - 0,7
		Poor	0,35 - 0,48
		Satisfying	0,3 - 0,34
		Good	0,22 - 0,29

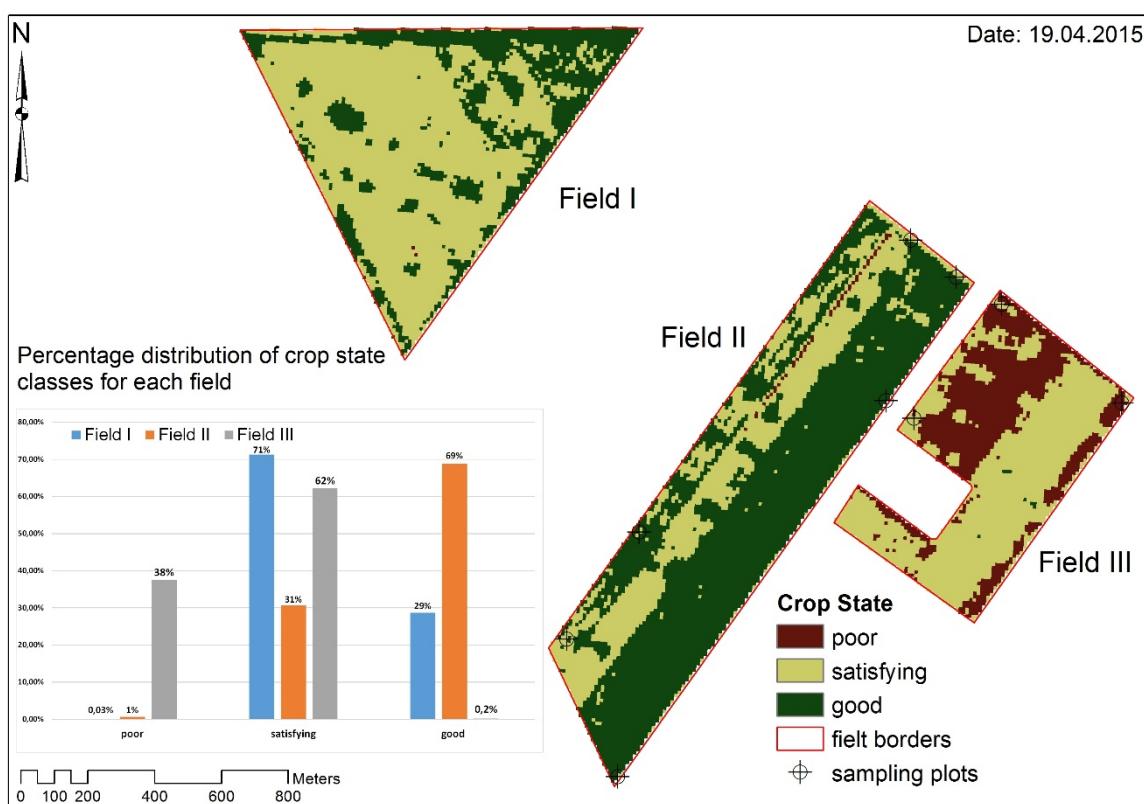
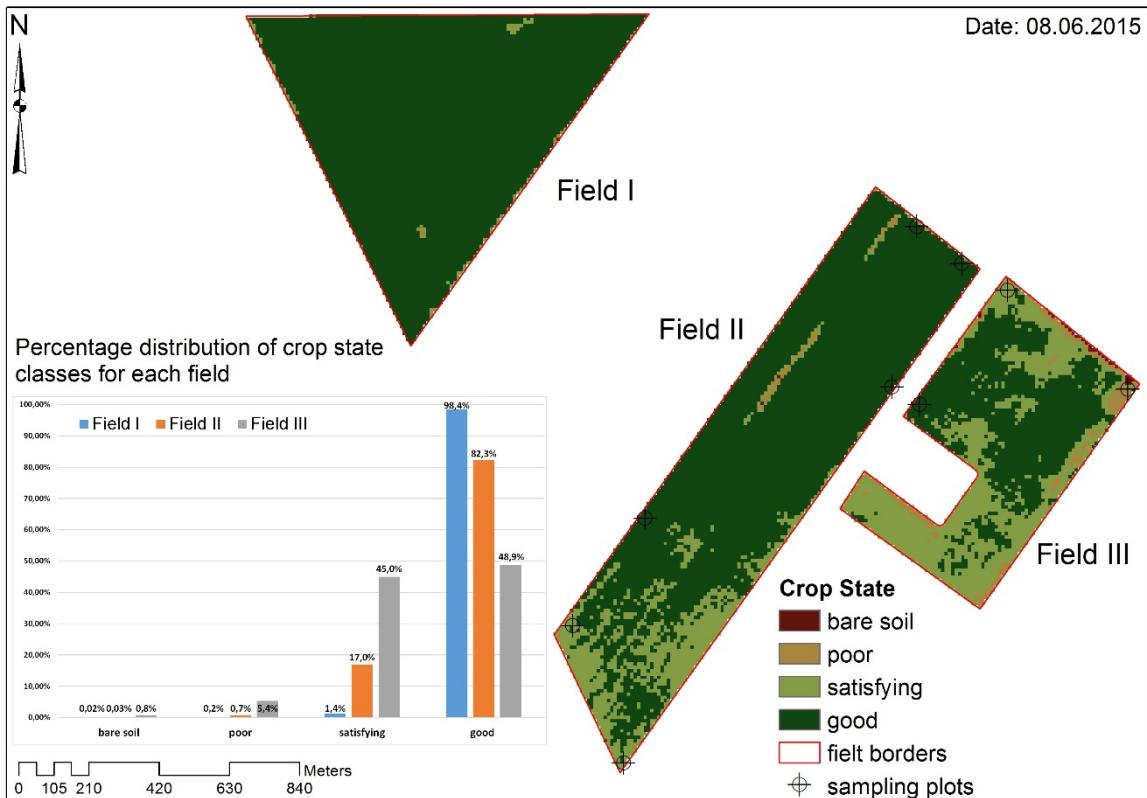
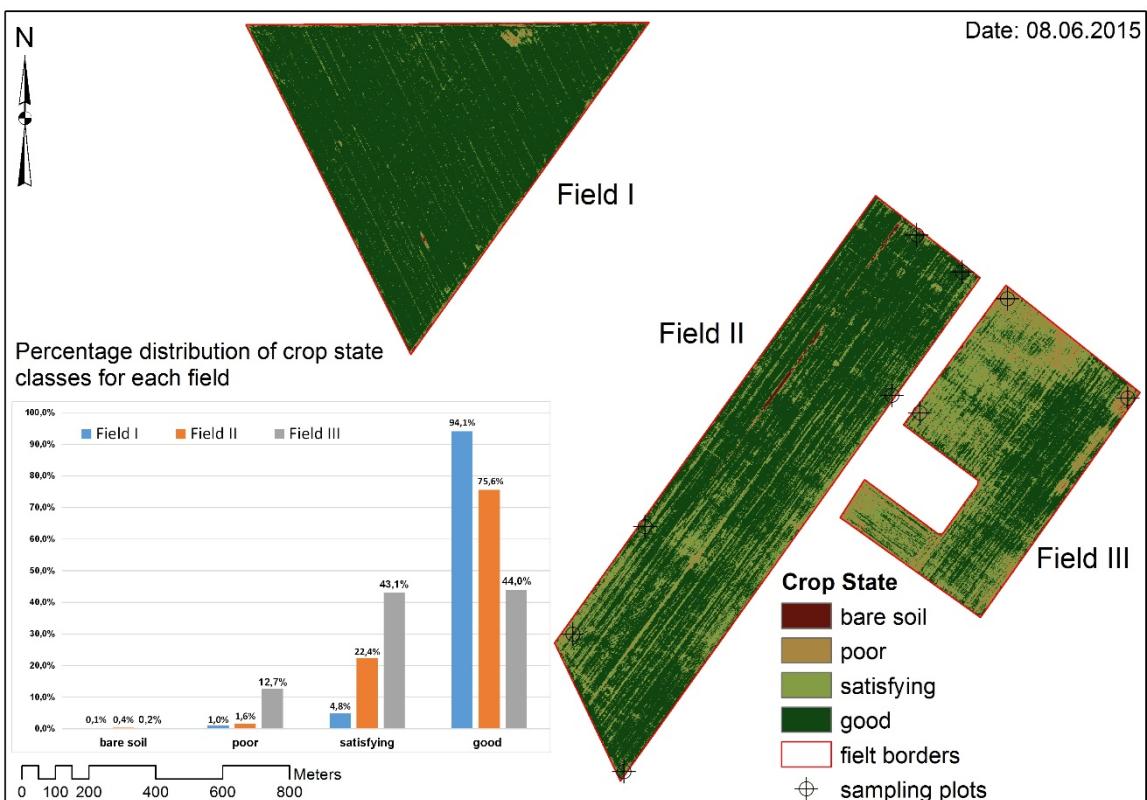


Fig. 2. Winter wheat crop state assessment map for 19.04.2015 produced using a classification of NDVI image from the SPOT 5/HRG2_XS sensor



a)



b)

Fig. 3. Winter wheat crop state assessment map for 08.06.2015 produced using a classification of NDVI image from: a) the SPOT 5/HRG2_XS sensor, and b) the eBee Ag/Canon S110NIR camera.

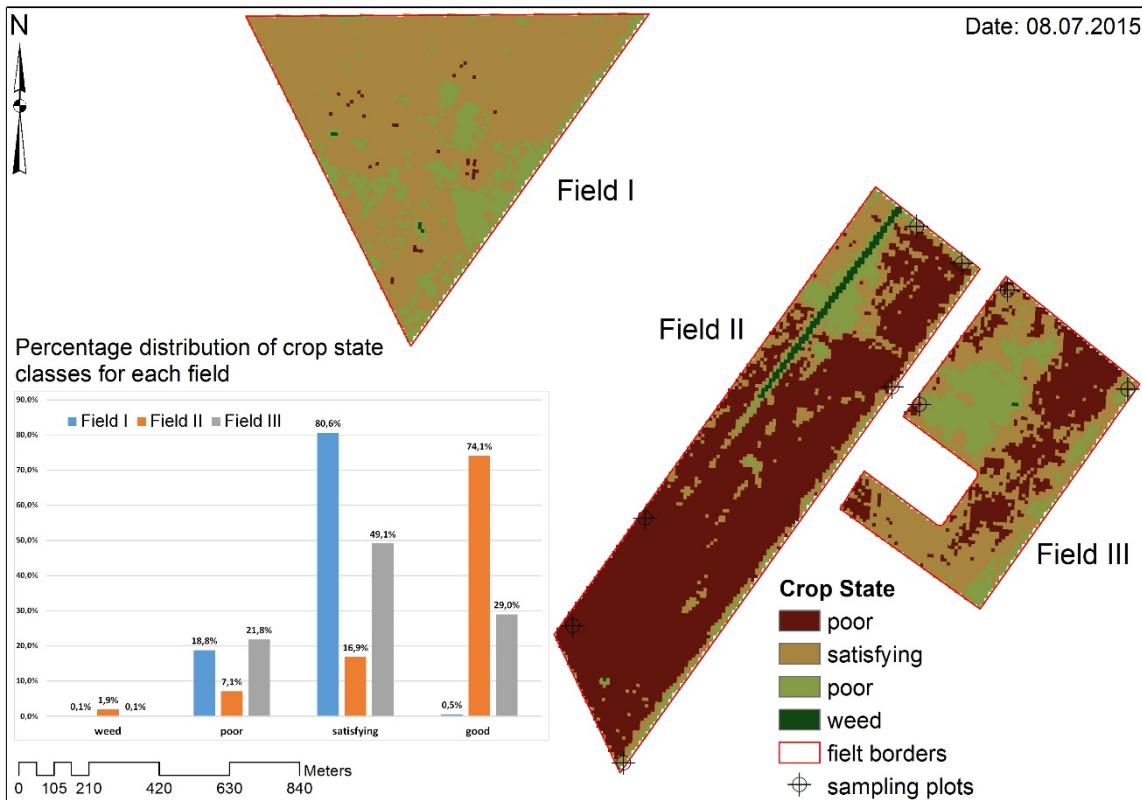


Fig. 4. Winter wheat crop state assessment map for 08.07.2015 produced using a classification of NDVI image from the SPOT 5/HRG2_XS sensor

It is evident from the generated maps that the winter wheat is growing not evenly over the three fields. On all three fields the sowing dates were at the optimal time for this region. The first and second fields were sown on 07 and 08.11. 2014, and the field three was sown on the 23.11. 2014. The first two fields head towards winter at the stem elongation phenophase, while the third field was at emergence phenophase at that time. The areas with winter wheat at stem elongation phenophase are characterized with high threshold values (Table 1). Because of late development some parts of the fields with low NDVI values were assigned to satisfactory condition. They occupy 71% of the total area of field I ad 62% of the total area of field II. In the worst condition is field III, occupying 38% of the total area. On the 19.04.2015 the field was treated with insecticide for Eurigaster integriceps with pest population between 3-8 individuals for 1 m². The following formula was used for NDVI change evaluation:

$$(2) \quad \Delta \text{NDVI} = (\text{NDVI}_2 - \text{NDVI}_1) / (\text{NDVI}_2 + \text{NDVI}_1)$$

Where NDVI_2 is the average values of the NDVI for every field at milk dough phenophase and NDVI_1 – average values of NDVI for each field at stem elongation phenophase [P'yankov S., et al., 2009]. A map was generated based on the NDVI change values (Figure 5). The NDVI values for field III are the highest, where evolution of the crop condition was observed.

On 08.06.2015 the winter wheat was at milk dough phenophase, which started on 30.05.2015. The good condition in the fields I and II is occupying 83% of the total area (Figure 3 a), whereas field III the percentage of good condition is 48% of the total area. The same situation can be observed when using the eBee Ag/S110 NIR (Figure 3 b).

Based on the analysis of the NDVI threshold values (Table 2.) it was estimated that the classes satisfactory and poor condition from the NDVI eBee Ag/S110NIR are with low values with wide range compared to data extracted from the satellite imagery. There is a big difference between the threshold values of the class no winter wheat cover (0.11 – 0.46) from the eBee SPOT5/HRG2 XS and (0.35 – 0.59) derived from NDVI SPOT5/HRG2 XS. More research is necessary to investigate this issue in more detail.

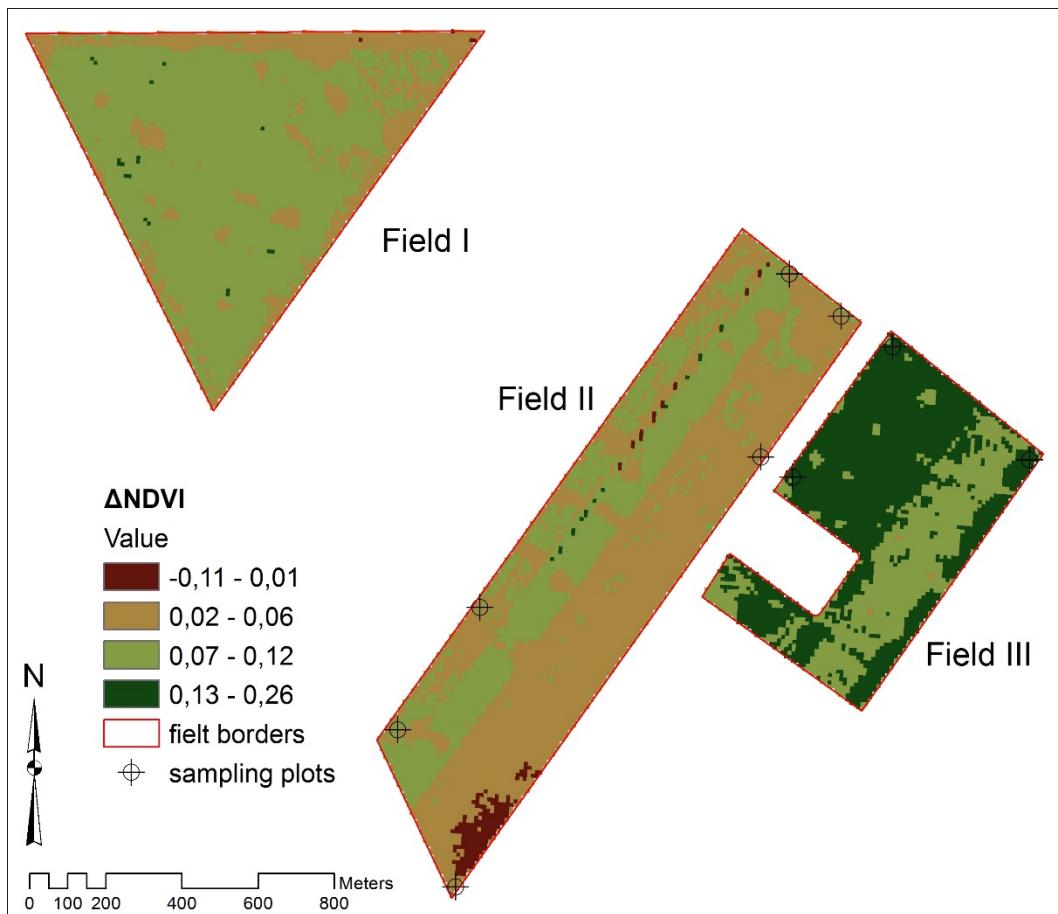


Fig. 5. Map of the change in NDVI values (Δ NDVI) between phenological stages stem elongation and milk drought

Validation process using the ground collected data

When comparing satellite derived NDVI at local level it is obligatory to take in consideration the border between the soil and vegetation cover, which can have different index values. Validation procedures are required to be accomplished using ground collected data. In many articles such as [C.Tucker, P. Sellers, 1986; M. Gandhi et al., 2015] consider the NDVI index as a indicator for the environment processes dynamics such as vegetation cover productivity. These authors share the opinion that the NDVI is an integral indicator of the vegetation activity.

Table 2. Results from the field measurements on 8 and 9 June 2015 for winter wheat state assessment and NDVI threshold values.

Parameter	Crop state		
	Poor	Satisfying	Good
Crop height (cm)	62	78	83
Canopy coverage (%)	51	80	90
Aboveground biomass - (kg/0.75 m ²)	1.1	1.5	1.7
Dry matter (%)	91.62	91.61	90.26
Chlorophyll a+b (mg/g fresh biomass)	3.7	4.8	5.6
Carotenoides (mg/g fresh biomass)	0.72	0.86	0.94
Total nitrogen (N) content in the dry sample (%)	1.57	1.98	1.91
Soil moisture VWC % mean	10.9	11.9	10.5
NDVI threshold - eBee Ag/S110NIR	0.47 – 0.64	0.65 – 0.70	0.71 – 0.86
NDVI threshold - SPOT5/HRG2 XS	0.60 – 0.70	0.71 – 0.75	0.76 – 0.82

The present article utilizes the information from a sub-satellite experiment conducted on the 08 and 09.06.2015, for evaluating the actual winter wheat condition. Ground data was collected for 9 sampling points within fields II and III. SPOT 5/HRG2 XS image acquired on 08.06.2015 was used for the experiment over Zlatia test site. Three sampling units were selected representing areas with poor condition, four representing satisfactory condition and two with good condition. The collected ground data for each sampling unit is summarized in Table 2.

The NDVI values derived from the eBee Ag/S110 NIR and SPOT 5/HRG2 XS are correlated with the threshold values from the sampling units.

Conclusion

The conducted experiment in Zlatia test site shows that the better spatial and temporal resolution from the SPOT 5 TAKE 5 experiment enhance the potential for better crop monitoring and evaluation of their accurate condition at local scale.

The winter wheat condition evaluated based on the threshold values of the NDVI both from SPOT 5/HRG2 XS and NDVI eBee Ag/S110 NIR, over the vegetative season gives opportunity to conduct both quantitative and qualitative assessment on field level.

Acknowledgements

We express our gratitude to CNES and ESA who granted us the satellite images from the experiment SPOT 5 TAKE 5.

We would like to express our appreciation to the farmer Svetlin Ilchovski, who granted us the ground truth data and the opportunity to conduct sub-satellite experiments on his fields.

The study used a part of the equipment purchased under Project *Information Complex for Aerospace Monitoring of the Environment (ICASME)*. Grant Contract BG161PO003-1.2.04-0053-C0001, under OP Development of the Competitiveness of the Bulgarian Economy 2007-2013, procedure BG161PO003-1.2.04 Development of Applied Studies in Bulgarian Research Organizations, European Regional Development Fund; 2013-2014

References:

1. Jelev, G., E. Roumenina, M. Nankov, P. Dimitrov, I. Kamenova, V. Krasteva, I. Ilieva, Y. Naydenov. 2016. Application of Specialized Unmanned Systems Sensefly eBee Ag For Mapping And Evaluation of Maize Crop State With Different Fertilizing Rate, Eleventh scientific conference with International Participation "Space, Ecology, Safety" (SES 2015) pp. 154-166. (In Bulg.).
2. Gandhi, M., N. Parthiban, A. Thummala. 2015. Christy. NDVI: Vegetation change detection using remote sensing and GIS – A case study of Vellore District. 3rd International Conference on Recent Trends in Computing 2015 (ICRTC-2015) Procedia Computer Science 57 1199 – 1210. Published by Elsevier B.V
3. Jenks, G. 1967. The data model concept in statistical mapping, International Yearbook of Cartography, 7, pp 186–190.
4. Kancheva, R., Borisova D., Georgiev G. 2013. Deriving information on winter wheat performance from in-season variations of crop canopy reflectance. Proceedings of Nghs Scientific Conference with International Participation "Space, Ecology and Safety" (SES 2012), Sofia, Bulgaria, Published by SSTRIBAS.pp. 294-302.
5. P'yankov, S., N. Kalinin, E. Sviyazov, A. Smirnova, I. Nekrasov. Monitoring of conditions of agricultural crops in the Perm Krai on information of the remote sensing of Earth. Bulletin of Perm University. Biology. 10 (36). pp. 147-153. УДК 528.88:528.87:528.855. (In Russian)
6. Roumenina, E., Atzberger, C., Vassilev, V., Dimitrov, P., Kamenova, I., Banov, M., Filchev, L., Jelev, G.. Single- and multi-date crop identification using PROBA-V 100 and 300 m S1 products on Zlatia test site, Bulgaria. Remote Sensing, 7, 10, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2015, ISSN:2072-4292, DOI:10.3390/rs71013843, 13843 - 13862. SJR:1.17, ISI
7. Roumenina, E., P. Dimitrov, L. Filchev, G. Jelev. (2014). Validation of MERIS LAI and FAPAR products for winter wheat-sown test fields in North-East Bulgaria. // International Journal of Remote Sensing, Vol. 35, Issue 10, pp. 3859–3874, <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2014.919681>. ISSN :0143-1161 (Print), 1366-5901 (Online),
8. Roumenina, E., V. Kazandjiev, P. Dimitrov, L. Filchev, V. Vassilev, G. Jelev, V. Georgieva, and H. Lukarski (2013) Validation of LAI and assessment of winter wheat status using spectral data and vegetation indices from SPOT VEGETATION and simulated PROBA-V images. // International Journal of Remote Sensing, Vol. 34, No 8, Publisher Taylor & Francis, ISSN 0143-1161 print/ISSN 1366-5901 online, pp. 2888-2904. DOI: 10.1080/01431161.2012.755276.
9. Vassilev, V., Roumenina E. (2014). Mapping Crop Condition Using Quickbird-2 and Worldview-1 Satellite Images and Derived Products. A Precision Agriculture Case Study for Part of Zhiten Test Site in

Northeast Bulgaria. Aerospace Research in Bulgaria, 27, Bulgarian Academy of Sciences. Space Research and Technology Institute., 2015, ISSN:1313 – 0927, pp 78 - 91

10. Methodological Requirements for Testing PROBA-V and VEGETATION data for agricultural applications in Bulgaria and Romania (PROAGROBURO) developed and published in two bi-lingual versions (English-Bulgarian) and (English-Romanian). 2011. Edited by: E. Roumenina, V.Kazandjiev, G.Stancalie. // Prof. Marin Drinov Academic Publishing House, Sofia. 2011. p. 148.
11. Roumenina, E. 2000. Polygon Sub-Satellite Experiments in Bulgaria – State and Prospects. Proceedings of Int. Scientific Session "30 Years of Organized Research in Bulgaria". Published by SR I, BAS, Sofia. pp. 138-145. (In Bulg.).
12. Roumenina, E., N. Pelova, N. Achkov. 1989. Interactive Processing of Multichannel Air Photos to Study the Condition of Farming Crops. Journal "Earth Study from Space". № 5. Published by Russian Academy of Sciences. Moscow. pp. 60-64. (In Russian).
13. Rouse, J., R. Hass, J. Schell, D. Deering. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third ERTS Symposium*, NASA, SP-351 I, pp 309-317.
14. Tucker, C., P. Sellers. 1986. Satellite remote sensing of primary production, International Journal of Remote Sensing, 7:11, 1395-1416, DOI: 10.1080/01431168608948944
15. Sellers, P., C. Tucker, G. Collatzs, C. Los, O. Justice, D. Dazlich, D. Randall. 1994. "A global 1° by 1° NDVI data set for climate studies. Part 2: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from the NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, 15 (17): pp 3519-3545 [DOI: 10.1080/01431169408954343]
16. Kogan, F., L. Salazar, L. Roytman. 2012. Forecasting crop production using satellite-based vegetation health indices in Kansas, USA // International Journal of Remote Sensing. Vol. 33. No. 9. pp. 2798–2814.
17. Copernicus program Website – <http://copernicus.eu>
18. Information Website of the SPOT-5 Take 5 ESA Call – https://earth.esa.int/web/guest/pi-community/apply-for-data/ao-s?IFRAME_SRC=%2Fpi%2Fesa%3Fcmd%3Daodetail%26aoname%3DSPOT5T5%26displayMode%3Dcenter%26targetFramePage%3D%252Fweb%252Fguest%252Fpi-community%252Fapply-for-data%252Faos
19. SPOT5 (Take5) sites Website – <http://www.cesbio.ups-tlse.fr/multitemp/?p=4615>
20. SenseFly Company Website, Drones, eBea Ag – <https://www.sensefly.com/drones/ebee-ag.html>

ПРИЛОЖЕНИЕ НА СПЕЦИАЛИЗИРАНА БЕЗПИЛОТНА СИСТЕМА *SENSEFLY eBee AG* ЗА КАРТОГРАФИРАНЕ И ОЦЕНКА СЪСТОЯНИЕТО НА ЦАРЕВИЧНИ ПОСЕВИ С РАЗЛИЧНА НОРМА НА ТОРЕНЕ

**Георги Желев¹, Евгения Руменина¹, Монко Нанков², Петър Димитров¹, Илина Каменова¹,
Венета Кръстева³, Илияна Илиева¹, Йордан Найденов¹**

¹Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

²Институт по царевицата – Кнежа, ССА

³Институт по почвование, агроекология и растителна защита „Н. Пушкиров“ – ССА
e-mail: gjelev@space.bas.bg

Ключови думи: дрон *senseFly eBee Ag*, земеделие, царевични посеви, картографиране, NDVI

Резюме: В настоящата статия са представени резултатите от провеждения на 09.07.2015 г. полеви експеримент за картографиране на състоянието на посеви от царевични хибриди Кнеша-517 и Кнеша-435 съответно група по ФАО - 500-599 и 400-499, при различни норми на торене с използване на данни от специализираната безпилотна система за въздушно картографиране *senseFly eBee Ag*. Съставената карта, получена на базата на NDVI изображение генерирано по данни от камерата NIR/eBee AG, отразява различията в състоянието на царевичните посеви отглеждани в опитните площиадки при условия без торене и при извършено минерално торене. Състоянието на посеви от царевичца е определено в четири степенна скала – лошо, средно, добро и много добро. Отделен е и самостоятелен клас почва. За определяне на реалното състояние на царевичните посеви в дее от опитните площиадки синхронно с въздушното заснемане с БЛА *eBee Ag* са извършени полеви наблюдения и измервания. Данните от тях потвърждават определените чрез прагови стойности на NDVI състояния на царевичните посеви в изследваните опитни площиадки.

На основата на положителните резултати получени от провежденият експеримент може да се разработи методика за извършване на оперативен мониторинг на състоянието на царевични посеви със специализираната безпилотна система за въздушно картографиране *SenseFly eBee Ag*.

APPLICATION OF SPECIALIZED UNMANNED SYSTEMS *SENSEFLY eBee AG* FOR MAPPING AND EVALUATION OF MAIZE CROP STATE WITH DIFFERENT FERTILIZING RATE

**Georgi Jelev¹, Eugenia Roumenina¹, Monko Nankov², Petar Dimitrov¹, Ilina Kamenova¹,
Veneta Krasteva³, Iliana Ilieva¹, Yordan Naydenov¹**

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²Maize Research Institute – Kneja, Agricultural Academy, Bulgaria

³The Institute of Soil Science, Agro-Technology and Plant Protection "Nikola Pushkarov",
Agricultural Academy, Bulgaria
e-mail: gjelev@space.bas.bg,

Key words: unmanned aerial vehicle, *senseFly eBee Ag*, agriculture, maize, mapping of crop state, NDVI

Abstract: This paper presents results from a field experiment carried out on July, 9th 2015 for mapping the state of maize cultivars Knezha-517 and Knezha-435 (FAO groups 500-599 and 400-499 respectively), grown at different fertilizing rates, using data from the specialized unmanned aerial vehicle (UAV) - *senseFly eBee Ag*. The generated map is based on NDVI image, acquired from the NIR/eBee Ag camera data, and depicts the differences in the state of maize crops grown on test plots with and without fertilizer. The state of the maize crop is characterized using a four-level scale – poor, satisfactory, good, and very good. Bare soil is mapped as separate class. In order to determine the actual state of the maize crops in situ measurements and observations

were performed simultaneously with the aerial image acquisition on two of the test plots. The data from these measurements match the crop state determined by the NDVI threshold values of the four-level scale.

Based on these results a methodology for operational monitoring of maize crops state can be developed using the specialized UAV senseFly eBee Ag.

Използването на беспилотни летателни апарати (дронове) все повече навлиза в полевите дистанционни изследвания. Те са много полезни при заснемане на изследваните обекти поради малките размери, висока оперативност и получаване на бързи и надеждни резултати. Наличието на камери, заснемащи както във видимата, така и в близката инфрачервена област на електромагнитния спектър дават възможност за регистриране на състоянието на земеделски посеви. За постигане на устойчиво земеделско производство съществена роля играят агротехническите фактори (обработка, норма на минерално торене, вида на предшественика, напояване и др.), като основни звена на технологиите за производство. Залагат се опити за изследване на влиянието на тези фактори върху развитието на земеделските култури. Най-често големината на парцелите които се използват за залагане на опитите е малка, в някои случаи и под 50 m². За количествена и качествена оценка на развитието на посевите се използват предимно методите за наземно точково измерване. Като допълнителен компонент за тази оценка могат да се използват специализирани беспилотни системи за въздушно картографиране. Такава система тип senseFly eBee Ag е използвана по време на проведения на 09.07.2015 г. полеви експеримент на територията на опитното поле на Института по царевица - гр. Кнежа (Фиг. 1.). Системата включва беспилотен летателен апарат (БЛА), две камери и програмно осигуряване за планиране на полета и обработка на снимките, получени по време на картографирането.

Целта на полевия експеримент е да се картографира и направи оценка на състоянието на посеви от царевица при различни норми на торене с използване на данни от специализираната беспилотна система за въздушно картографиране (СБСВК) senseFly eBee Ag

Методологията на провеждане на полевия експеримент включва следните етапи на работа:

- ✓ Избор на опитни полета и площиадки;
- ✓ Планиране и заснемане със СБСВК senseFly eBee Ag на опитното поле на Института по царевицата - гр. Кнежа;
- ✓ Провеждане на наземни изследвания и наблюдения на реалното състояние на царевичните посеви;
- ✓ Обработка на получените от камерата NIR/eBee Ag изображения;
- ✓ Генериране на индексни карти;
- ✓ Картографиране и анализ на данните в среда на ArcGIS;
- ✓ Верифициране на съставените оценъчни карти с наземни данни.

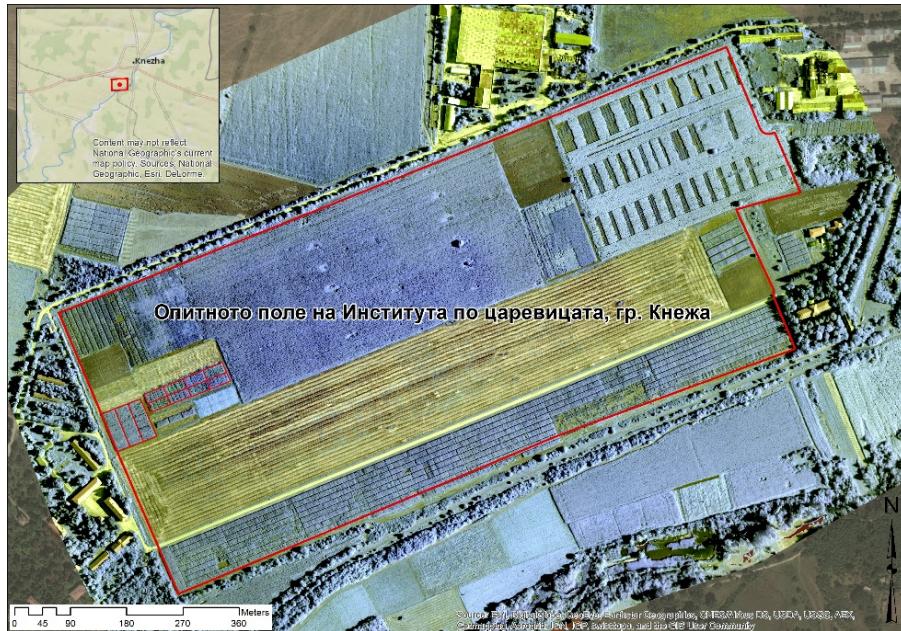
Обект на изследване

Обект на изследване са две опитни полета засети с царевица за зърно, разположени на територията на Института по царевицата, гр. Кнежа (Фиг. 1.). На поле 1 в опитните площиадки (ОП) от 1 до 8 (Фиг. 2.) царевицата се отглежда като монокултура от 54 години. През 2015 г. те са засети с царевичен хибрид Кнежа-435, група на зрялост по ФАО – 400-499 [6]. Опитът е заложен по блоковия метод в 4 повторения на почвен тип типичен чернозем, при неполивни условия, в два варианта:

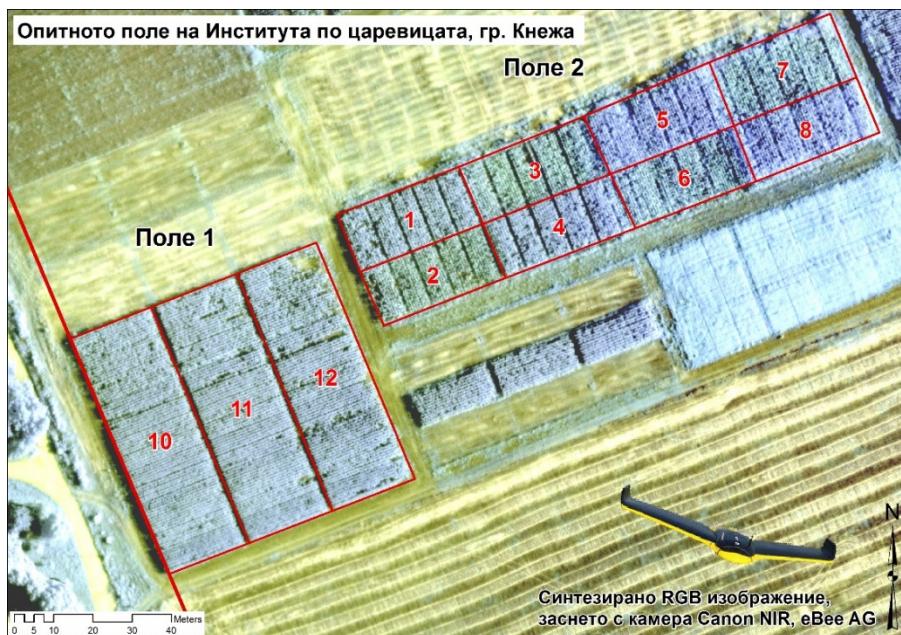
- при условия без торене – ОП 2, 3, 6 и 7;
- при извършено минерално торене с торова норма N₁₀P₁₀ килограма активно вещество на декар – ОП 1, 4, 5 и 8. (Фиг. 2.).

На поле 2 в опитните площиадки от 10 до 12 (Фиг. 2.) се отглежда царевичен хибрид Кнежа-517 от група на зрялост по ФАО - 500-599 с предшественик овес и еднаква гъстота на посева. Сейтбата е проведена на 27.04.2015 г., три дни по-късно от тази на поле 1. И за двете полета сейтбената норма е една и съща. На трите ОП – 10, 11 и 12 царевичният посев е отглеждан при три различни норми на торене, съответно - N₉P₇K₇ kg dka⁻¹, N₁₂P₉K₉ kg dka⁻¹, N₁₅P₁₁K₁₁ kg dka⁻¹.

Торенето с фосфор и калий е извършено през есента на 2014 г. Азота е внесен през пролетта преди последното култивиране (20.02.2015 г.) под форма на амониева селитра. Сеитбата на царевицата е извършвана в оптималните агротехнически срокове за района на 24.04.2015 г. при сеитбена норма - 5 000 растения на декар и широчина на междуредието 70 см.



Фиг. 1. Район на изследване



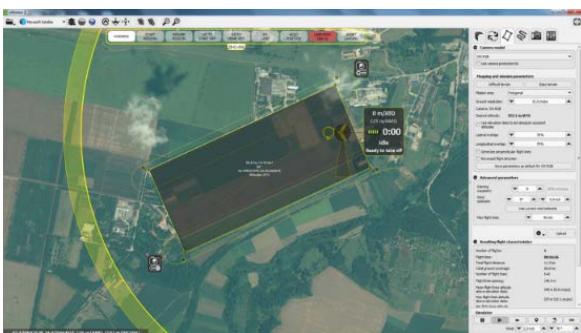
Фиг. 2. Опитни площиадки на които е проведен експериментът

Планиране и заснемане със СБСВК senseFly eBee Ag, на опитното поле на Института по царевицата - гр. Кнежа

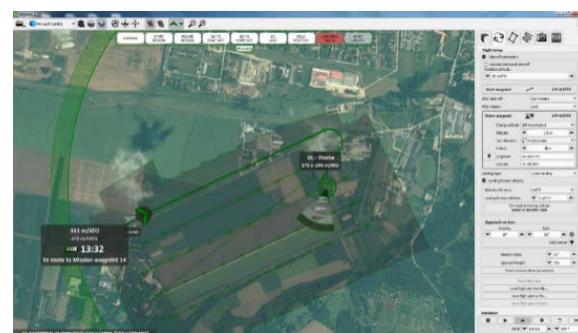
Преди да се извърши самото заснемане с NIR/eBee Ag на опитното поле на Института по царевицата - гр. Кнежа е съставен план на полета и е проведена симулация. Използван е софтуерният продукт eMotion 2 за планиране и симулиране на полета (Фиг. 3. и 4.). Това става в няколко стъпки [4]:

- ✓ Задава се видът на камерата – S110 NIR;

- ✓ Определя се мястото на пускане на дрона – стартова позиция и точка на приземяване (*на терена дрона автоматично се позиционира и определя своята стартова позиция чрез вградения си GPS*);
- ✓ Изчертава се полигонът на заснемане и се определят неговите параметри;
- ✓ Задава се желаната пространствената разделителна способност на изображенията – 10 см/пиксел, като автоматично се изчислява височината на полета на базата на техническите характеристики на камерата – 286,1 м;
- ✓ Определя се в проценти застъпването на снимките в двете посоки – 70%;
- ✓ Симулира се посока и скорост на вътъра като се задават съответно в градуси и m/s (*на терена скоростта и посоката на вътъра се определят автоматично*);
- ✓ Задава се максималното време на полета (*то зависи от живота на батерииите и е до 40 min*);
- ✓ Задава се обхват на радиомодема – 2 500 м;
- ✓ Определя се посока и ширина на сектора за приземяване в градуси;
- ✓ Задават се рестириции при аварийни ситуации;
- ✓ Симулира се полетът и се преглежда генерираният рапорт;
- ✓ Записва се мисията за качване(зареждане в паметта) на дрона преди полета на терен.

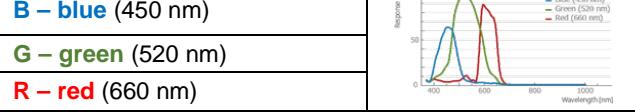
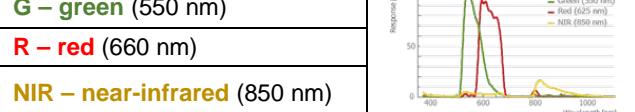


Фиг. 3. Прозорец от програмата eMotion 2 при задаване на параметрите на полета



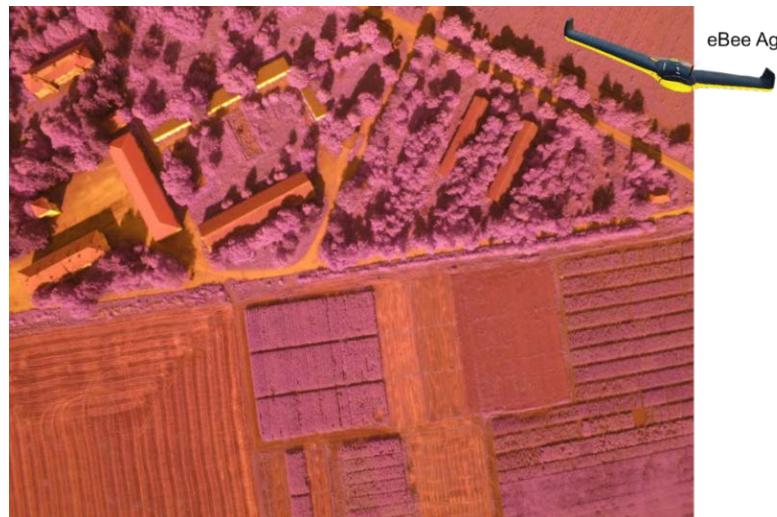
Фиг. 4. Симулация на полета в eMotion 2

Табл. 1. Техническа спецификация на камерите Canon [4]

Пространствена разделителна способност	12 Mp		
Пространствена разделителна способност на 100 м	3.5 cm/pixel		
Размер на сензора (CCD матрицата)	7.44 x 5.58 mm		
Разстояние между елементите на сензора	1.33 μm		
Формат на изображението	JPEG и/или RAW		
Камери и спектрални канали	Canon, RGB	B – blue (450 nm)	
		G – green (520 nm)	
	Canon, NIR	R – red (660 nm)	
		G – green (550 nm)	
		R – red (660 nm)	
		NIR – near-infrared (850 nm)	

От двете налични камери – Canon/RGB и Canon/NIR (Табл. 1.) за заснемането на района е избрана камерата Canon, NIR/eBee Ag поради наличието на близък инфрачервен канал, подходящ за определяне на състоянието на растителността и генериране на индексни изображения – NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) и SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*).

След провеждане на заснемането са получени 81 бр. сруви (*необработени*) изображения, заснети с камерата NIR/eBee Ag на 09.07.2015 г. (Фиг. 5.) от района на изследване (*опитното поле на Института по царевицата - Кнежа*).

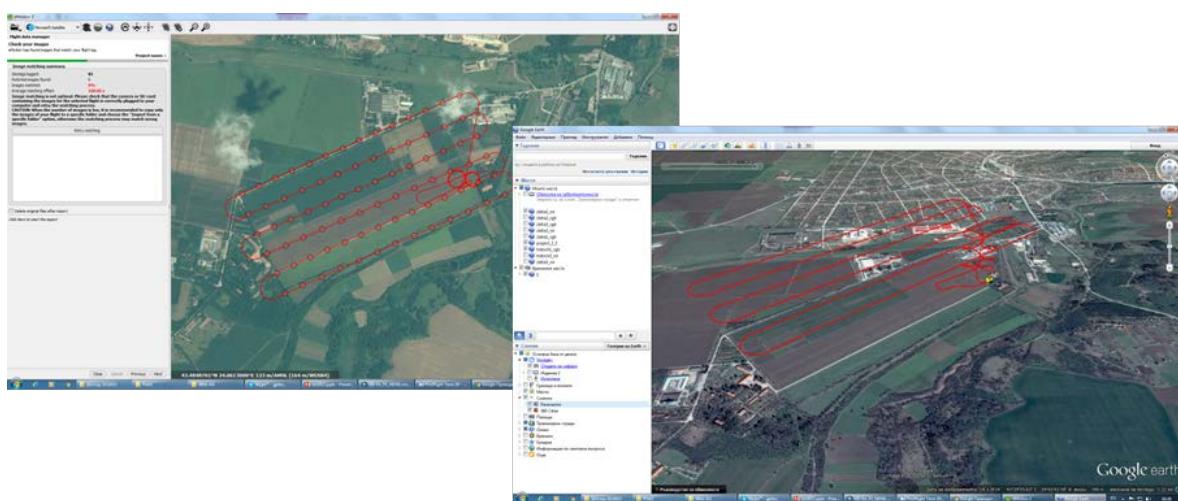


Фиг. 5. Единично сурово (необработено) изображение от камерата NIR/eBee Ag, заснето на 09.07.2015 г.

Обработка на получените от камерата NIR/eBee Ag изображения

Получените от камерата NIR/eBee Ag 81 броя изображения са подложени на първична обработка.

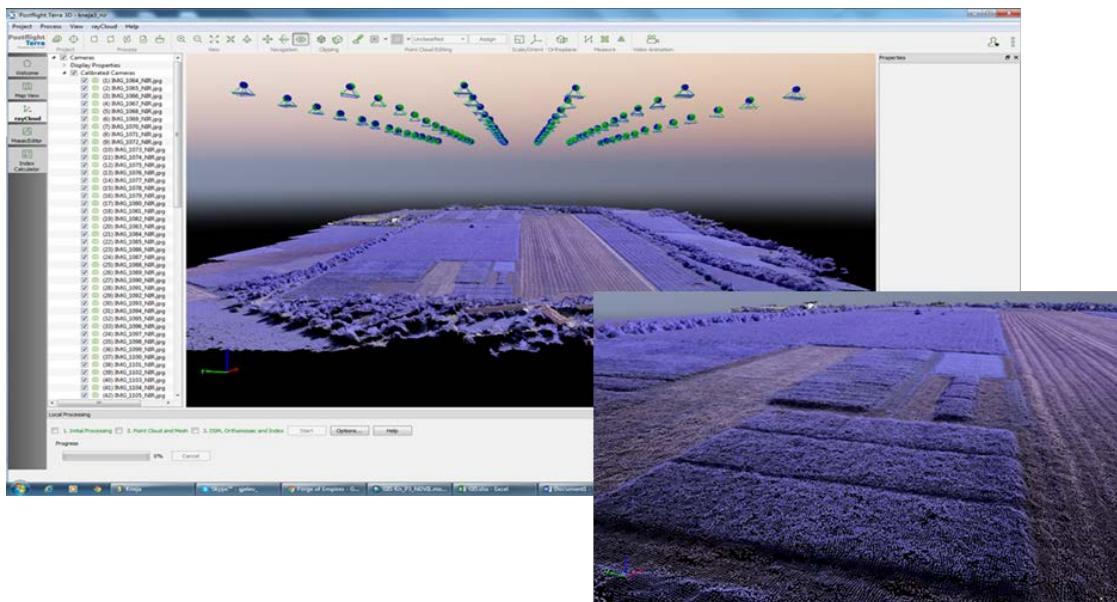
Първата стъпка е подготовката на изображенията и свързването им с данните от GPS на дрона, което се извършва със софтуера eMotion 2. Те са геореферирани по данните от бордовия GPS в координатна система UTM зона 35, датум World Geodetic System (WGS) 1984. Като рапорт се дава за реалното трасе на полета експортирано в *kml* формат в Google Earth (Фиг. 6.).



Фиг. 6. Прозорци от програмата eMotion 2, където се геориферират изображенията и от Google Earth, където се вижда реалното трасе на полета

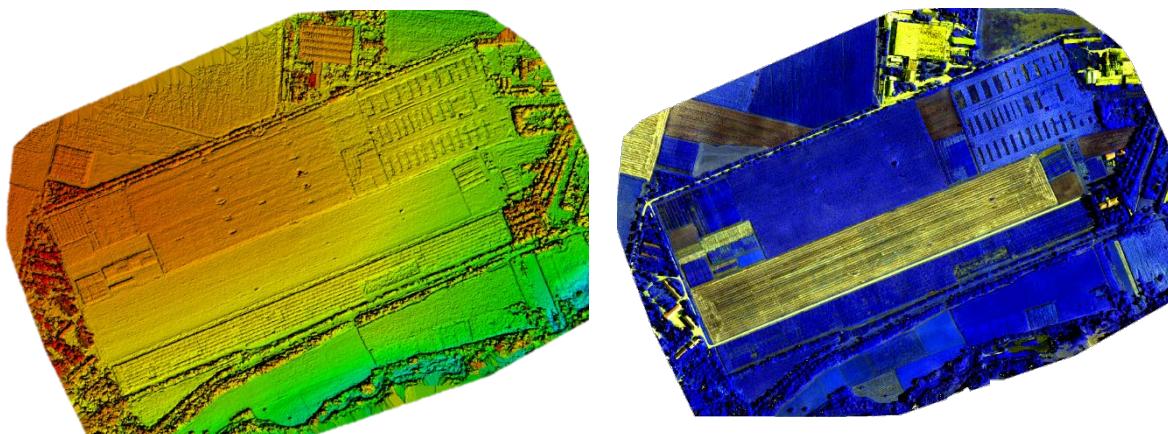
Следващите стъпки от обработката се извършват изцяло в програмата Postflight Terra 3D и са:

- ✓ Орторектифициране и генериране на мрежа от изображенията (Фиг. 7.);
- ✓ Генериране на DSM (цифров модел на повърхността);
- ✓ Изчисляване на средна пространствена разделителна способност в см/пиксел, която в случая е 9.60262;
- ✓ Композиране на ортофотомозайка;
- ✓ Създаване на облак от точки (Фиг. 7.);
- ✓ Калкулиране на индексни карти;
- ✓ Генериране на рапорти на всеки от етапите в *.pdf формат.



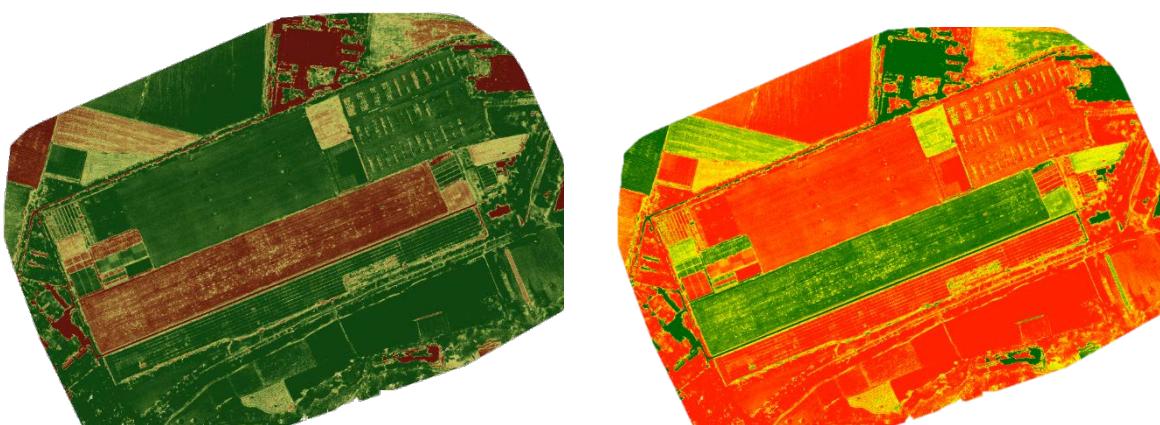
Фиг. 7. Ортoreктифициране и генериране на мрежа от изображенията и създаване на облак от точки

На базата на създадения DSM-цифров модел на повърхността (Фиг. 8.) и на карта на отражение на повърхността - *Reflection map* (Фиг. 9.) са изчислени различни индексни карти – NDVI (Фиг. 10.), SAVI (Фиг. 11.).



Фиг. 8. DSM-цифров модел на повърхността

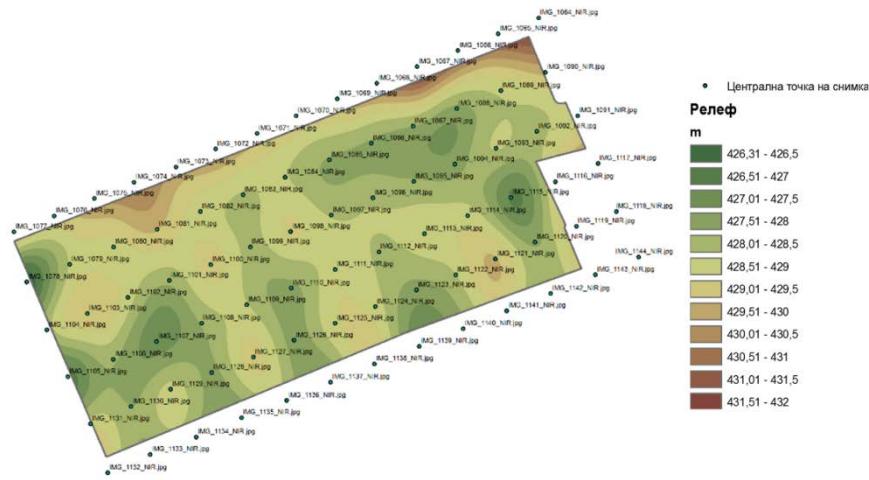
Фиг. 9. Карта на отражение на повърхността – (*Reflection map*)



Фиг. 10. Индексна карта – NDVI

Фиг. 11. Индексна карта – SAVI

По данните от GPS на дрона за центъра на всяка снимка е генериран цифров модел на релефа с точност 5 m (Фиг. 12.).



Фиг. 12. Цифров модел на релефа

След всяка обработка се генерира автоматичен рапорт за резултатите и грешките в *.pdf формат.

Картографиране и анализ на данните в среда на ArcGIS

Последващите обработка и интерпретация на данните са извършени в ГИС среда, като са използвани следните инструменти, заложени в софтуерния продукт ArcGIS [5]: 3D Analyst Tools – *Raster Reclass*; Analysis Tools – *Extract*; *Overlay*; *Summary Statistics*; Data Management Tools – *Database*; *Features*; *Fields*; *Georeferencing*; *Joins*; *Projection and Transformation*; *Table*; *Raster*; Analyst Tools – *Surface*; *Extraction*; *Interpolation*; *Zonal*.

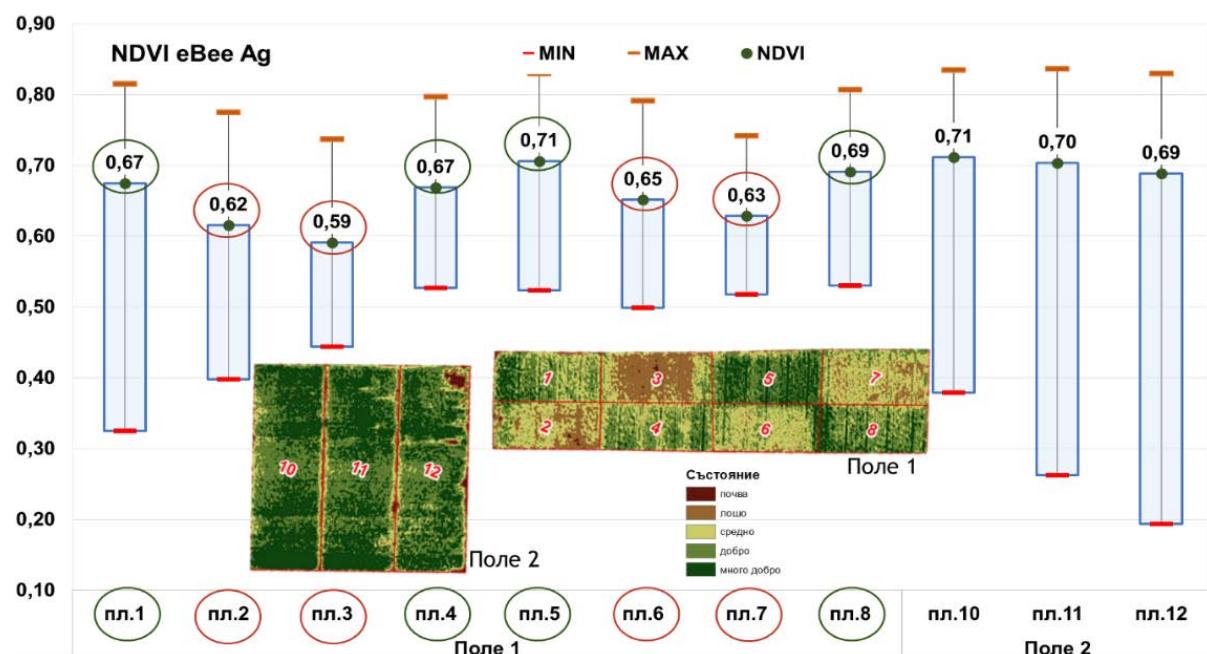
Преди да се съставят оценъчните карти на състоянието на царевичните посеви на базата на генерираното NDVI изображение, то е изрязано по границата на опитните полета и площадките в тях. На Фиг. 13. са представени средни стойности, максимални, минимални и размах на стойностите на NDVI за всяка от опитните площаадки в двете полета. Стандартното отклонение е в границите от 0,03 – 0,04. В ОП 3 и 10 то е малко по-голямо, съответно 0,05 и 0,06. Стойността на NDVI за всички опитни площаадки варира от 0,19 до 0,84.

Определянето на състоянието на посева се базира на различията в NDVI индекса, като за определяне на праговите стойности на различните състояния е използван метода на естествените граници на Jenks (*Jenks natural breaks classification method*). Той е разработен за точно представяне на атрибуутите на пространствените данни във вид на карта [3]. Определени са пет интервала: четири интервала на състояние на посева (лошо, средно, добро и много добро) и един – почва. Праговите стойности на NDVI са съответно: за почва – 0,19-0,49, лошо състояние – 0,49-0,60, средно – 0,60-0,66, добро – 0,66-0,71 и много добро състояние – 0,71-0,84 (Фиг. 14). На тяхна база е съставена оценъчна карта на състоянието на царевичните посеви в изследваните полета (Фиг. 15).

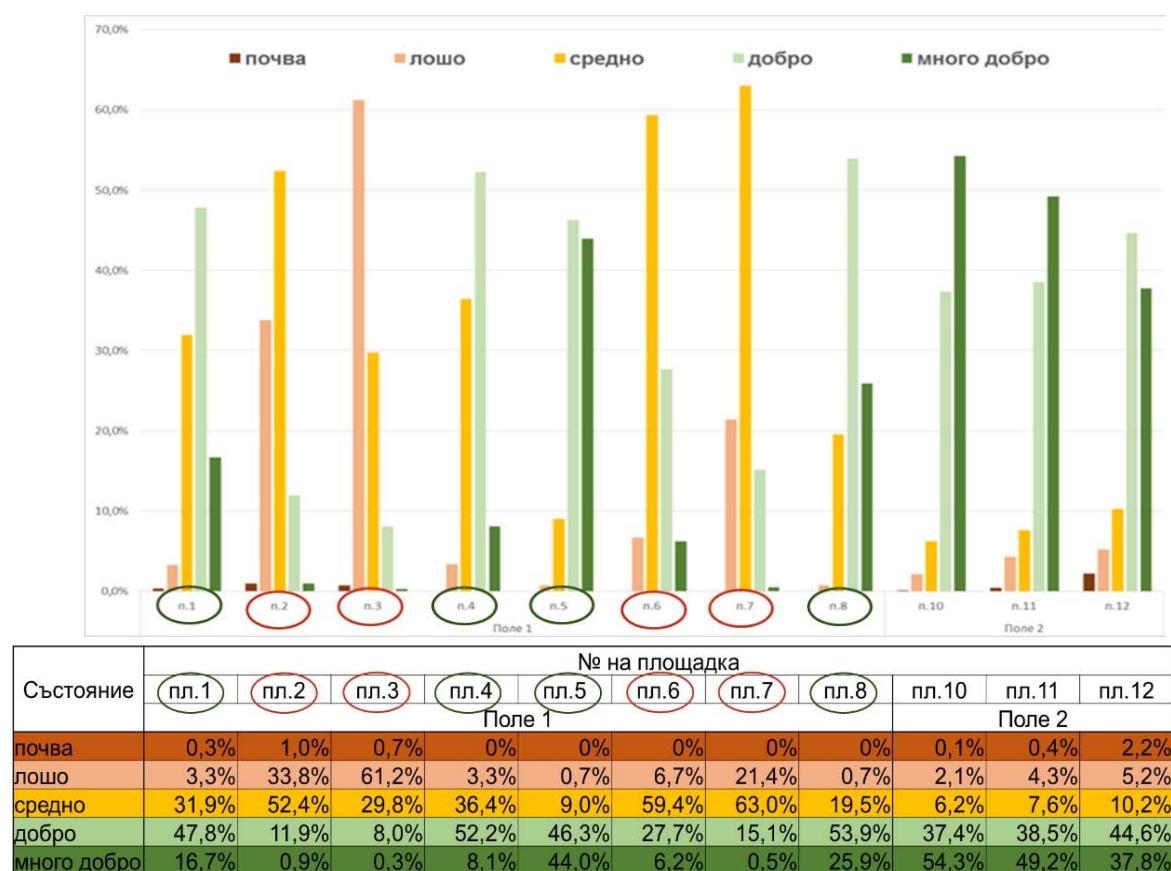
Наблюдава се неравномерно развитие на посевите в отделните полета (Фиг. 14 и 15). Ясно се разграничават две групи опитни площаадки в които се регистрират различия в тяхното състояние. Към първата група спадат тези в които над 66% от площа им е заета от класовете лошо и средно състояние. Във втората група са отделени опитните площаадки в които класовете добро и много добро състояние заемат над 60% от площа им.

В поле 1 към първата група спадат четири опитни площаадки, на които царевица се отглежда като монокултура от 54 години (Фиг. 16.). Опитите заложени на тях са с царевичен хибрид *Кнежка-435* отглеждани при условия без торене. По време на експеримента царевицата е във фенофаза цъфтеж, на метлица-изсвиляване на кочан, настъпила на 06.07.2015 г. Най-слабо развитие на посевите се регистрира в ОП 2, 3 и 7 където 84-91 % от площа им е заета от класовете лошо и средно състояние. За ОП 6 този показател е 66 % (Фиг. 14 и 15), като в нея 34 % от посева е в добро и много добро състояние, за разлика от останалите, при които този процент варира между 8.3% и 15.6 %. Площите незаети от растителност във всички площаадки

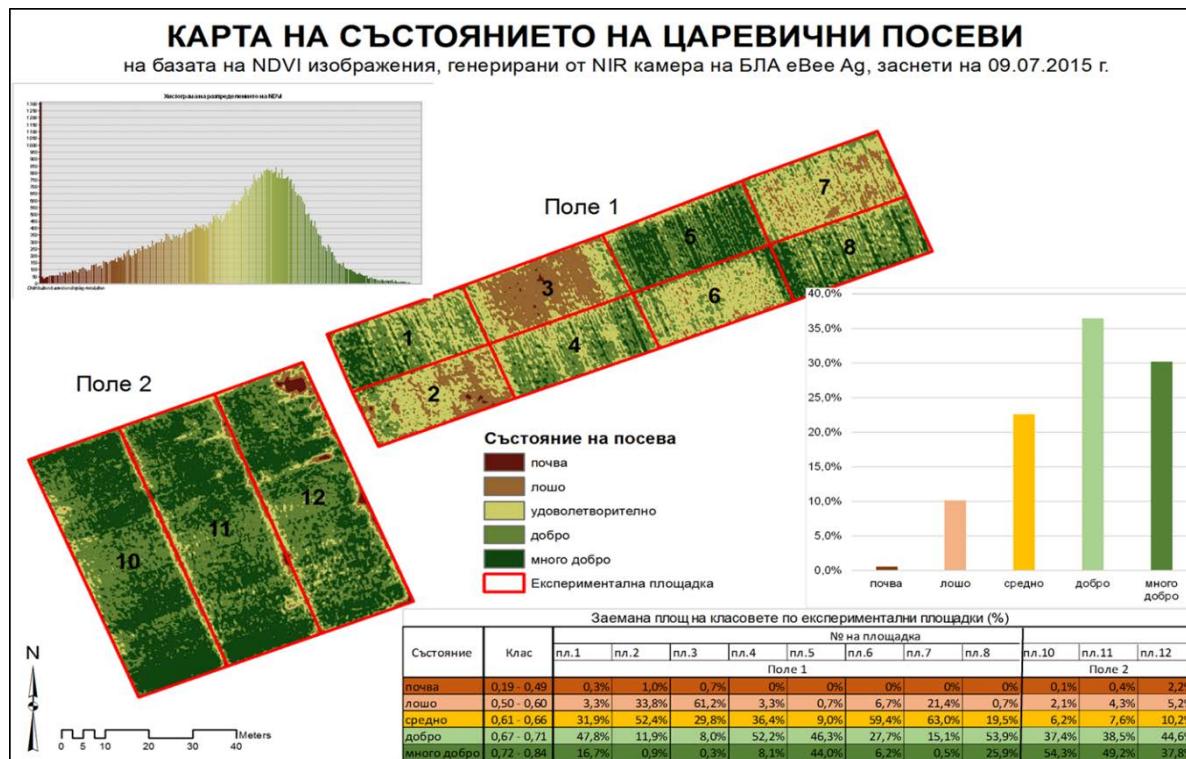
са под 1%. Средните стойности на NDVI на полетата от тази група варират в границите 0,59 – 0,65.



Фиг. 13. Средни, максимални и минимални стойности, и размах на NDVI за всяка от опитните площиадки в двете полета



Фиг. 14. Процентно разпределение на класовете на състоянието на царевичните посеви за всяка опитна площа в двете полета



Фиг. 15. Оценъчна карта на състоянието на царевичните посеви в изследваните полета

Към втората група (Фиг. 16.) спадат седем опитни площаадки - ОП 1, 4, 5 и 8 от поле 1 и всички от поле 2. Тези опитни площаадки се отличават от първата група с това, че на тях е извършено минерално торене. За ОП 1, 4, 5 и 8 от поле 1 торова норма $N_{10}P_{10}$ килограма активно вещество на декар. По време на експеримента те са във фенофаза цъфтеж, на метлица-изsvиляване на кочан, която е настъпила по-рано – на 01.07.2015 г. В най-добро състояние се отличава ОП 5, където 90,3% от площта ѝ е заета с царевичен посев в добро и много добро състояние, следвана от ОП 8 (80 %). Те имат високи средни стойности на NDVI и са с малък размах (Фиг. 14.). С по-ниски характеристики са ОП 1 и 4, където в това състояние са 60-65 % от посевите. Двете площаадки имат сходно процентно разпределение на състоянието на посевите, както и еднакви средни стойности на NDVI, които са по-ниски от останалите в тази група – 0,67 (Фиг. 14.). От тях се очакват по-ниски добиви.



Фиг. 16. Опитните площаадки на двете полета и пунктове на проведените наземни измервания

Посевите от царевичен хибрид *Кнежа-517* в трите опитни площи на поле 2 също като ОП 5 и 8 от поле 2 се отличават с най-добро развитие. Средните стойности на NDVI са високи в границите на 0,69-0,71, но размахът им е много голям (Фиг. 13.), като за ОП 12 достига до 0,64. Това се дължи на наличието на непокрити от растителност участъци, които в ОП 12 заемат 2,2 % от площта ѝ (Фиг. 15.).

В средата и на трите площи се наблюдават ясно изразени участъци, в които състоянието на посевите е добро, за разлика от останалите, които са с преобладаващо много добро състояние (Фиг. 15.). Независимо от това, че и трите площи са засети с един и същ царевичен хибрид – *Кнежа-435*, който по време на експеримента е във фенофаза изметляване на кочан, – се наблюдават различия в тяхното състояние (Фиг. 14. и 15.). Това вероятно се дължи на внесените различни норми на минерално торене.

Най-добре са развити посевите в ОП 10 и ОП 5, в които площите са заети от царевични хибриди – съответно *Кнежа-517* и *Кнежа-435*. Над 90 % от площта им е заета от класовете добро и много добро състояние (Фиг. 14. и 15.).

Верифициране с наземни данни

За верифициране на получени от камерата *NIR/eBee AG* при картографиране на състоянието на посеви от царевица в изследваните опитни площи са проведени синхронни наземни наблюдения и измервания в 5 пункта. Три от тези пунктове (1, 2, и 3) са в поле 2 и характеризират състоянието на царевичния посев хибрид *Кнежа-435* с различна норма на торене. В поле едно са определени два пункта в които се отглежда царевица като монокултура от 54 години и през 2015 г са засети с царевичния посев хибрид *Кнежа-517* в два варианта: 1) при условия без торене и 2) при минерално торене с торова норма $N_{10}P_{10}$ килограма активно вещество на декар с приложена нестандартна обработката на почвата (на дълбочина 10-12 см). Във всеки пункт е направена експертна оценка на състоянието и е определено по едно представително растение на което са извършени фенологични наблюдения, биометрични измервания и са взети пробы за определяне на съдържанието на общ азот и сухо вещество на надземната биомаса (Табл. 2.), както и съдържание на хлорофил а+ба+b и каротиноиди в листата на растенията. Лабораторните анализи са извършени в Института по царевицата – гр. Кнежа.

Таб. 2. Резултати от представените измервания

Характеристика	Пункт № 1	Пункт № 2	Пункт № 3	Пункт № 4	Пункт № 5
Царевичен хибрид	Кнежа-435	Кнежа-435	Кнежа-435	Кнежа-517	Кнежа-517
Височина на посева (cm)	240-260	240-250	245	210	270
Брой листа/кочани	13/2	13/2	12/2	11/2	12/2 бр. и 1 малък
Общо плоенно покритие ОПП (%)	100	100	100	80	90
заплевеност (0-4 бала)	0	0	0	1	1
Тегло на надземната биомаса на 1 растение (kg)/кочани	1,26/0,47	1,25/0,32	1,28/0,42	0,60/0,16	1,22/0,48
Сухо в-во в надземната биомаса на 1 растение (%)	91,43	92,46	90,23	90,43	91,01
Съдържание на общ азот в пробата след изсушаване (% сухо в-во)	3,14	2,96	3,57	2,56	2,39
Влажност на почвата VWC % средно	33,35	26,85	29,27	37,15	26,62

Измерването на листната площ е извършено с апарат LI-3000C (*LI-COR, USA*) на всички листа от първия прикачен лист до върха на растението. При царевичните растения взети от пунктове 1, 2, 3 и 5 първият прикачен лист отговаря на пети същински лист, докато при пункт 4 това е шести същински лист (Табл. 3.). Листната площ на прикачения лист на растението от пункт 4 е с 26 % по-ниска в сравнение с пункт 2 където тя е най-висока. Този процент се

увеличава при последните етажи на листа където листната площ на растението взето от пункт 4 е с 60% по-ниска в сравнение с пункт 1.

В прикочанните листа на растенията от пунктове 2, 3 и 5 в малки граници варира съдържанието на хлорофил a+b ($5,35-5,39 \text{ mg/g свежа маса}$) и каротин ($0,68-0,72 \text{ mg/g свежа маса}$). Най-висока стойност то достига в растителните преби от пункт 1 ($6,03 \text{ mg/g свежа маса хлорофил и Car(разолиши) } 0,85 \text{ mg/g свежа маса}$). Съществени различия се наблюдават в пункт 4 където те са два пъти по-малки ($\text{Chl a+b } 2,57 \text{ mg/g свежа маса и каротиноиди } 0,47 \text{ mg/g свежа маса}$).

Съдържанието на общ азот варира в малки граници в събраните растителни преби след изсушаване ($3,0-3,57 \% \text{ mg N}$) в пунктовете от поле 2. В растителните преби от поле 1 то е значително по-малко, съответни 2,6 и 2,4 % mg N (Табл. 2.).

С най-добри параметри са царевичните растения взети от пункт 1 и 5. При вторият пункт се регистрира наличие на 2 броя кочани и 1 малък ? растението е най-високо (Табл. 2.), площта на листата е по-малка (Табл. 3.) в сравнение с пункт 1. Това се дължи на разликата в царевичните хибриди. Независимо от това и в двата пункта са регистрирани високи стойности на NDVI ($0,79$ и $0,82$) и на съставената карта те спадат към един и същи клас – царевични посеви в много добро състояние (Фиг. 14. и 15.).

Добре развити са царевичните растения хибрид *Кнежа-435* в пунктове 2 и 3. Те са в една и съща фенофаза – изметляване на кочана. За разлика от растенията в пункт 1 и 5 те са по-ниски, като последният етаж на листа се формира от единадесети същински лист (Табл. 3.). Измереното в горните етажи на листата съдържание на хлорофил ($3,72-3,75 \text{ mg/g свежа маса}$) и каротин ($0,52-0,57 \text{ mg/g свежа маса}$) е по-малко отколкото в пункт 1 и 5 където то е съответно за хлорофила $4,60 - 5,06 \text{ mg/g свежа маса}$ и за каротина $0,68-0,83 \text{ mg/g свежа маса}$. Стойностите на NDVI ($0,69$ и $0,71$) в тези пунктове са по-ниски и на съставената карта те спадат към един и същи клас – царевични посеви в добро състояние (Фиг. 14. и 15.).

Таб. 3. Листна площ на царевичните растения

Пункт №	Листна площ на лист №, [cm ²]							
	5	6	7	8	9	10	11	12
1	676,67	764,11	670,47	700,14	620,24	575,03	467,71	177,80
2	747,70	734,09	710,94	644,48	559,61	459,63	265,96	-
3	655,21	670,66	648,72	619,55	564,50	466,71	274,72	-
4	-	549,92	488,29	447,04	369,85	282,23	183,78	105,38
5	663,12	682,82	688,65	635,63	553,19	460,90	370,66	169,70

В по-лошо състояние е царевичен хибрид *Кнежа-517* в опитна площадка 2. На нея царевица се отглежда като монокултура от 54 години при условия без торене. Растителната преба взета от пункт 4 е в същата фенофаза (цъфтеж, на метлица-изсвиване на кочан) както тази в пункт 5, но с по-лоши показатели (Табл. 2.). Височината на растението е с 0,60 см по-малка, имат 11 бр. развити листа, като тяхната площ е значително по-малка (Табл. 3.). Същата тенденция се наблюдава и при съдържанието на хлорофил a+b ($2,7 - 3,0 \text{ mg/g свежа маса}$) и каротин ($0,45 - 0,58 \text{ mg/g свежа маса}$) измерено в горните етажи на листата. Стойността на NDVI ($0,57$) е значително по-ниска от тази на останалите пунктове и на съставената карта спадат към класа – царевични посеви в лошо състояние (Фиг. 14. и 15.).

Заключение

✓ Мобилността и експресната обработка на получените данни от специализираната безпилотна система за въздушно картографиране *SenseFly eBee Ag* дават възможност за картографиране на опитни полета и площици и определяне на състоянието на посевите. Краткият живот на батерията е лимитиращ фактор за продължителността на полета, а оттам и за площта, която се заснема.

✓ Софтуерът за управление (*eMotion 2*) дава възможност за предварителна симулация на полета, която позволява значително да се повиши надежността при провеждане на реалния полет и самото заснемане.

- ✓ Работата със софтуера за обработка на изображения *Postflight Terra 3D* е бърза и интуитивна. Обработката на сировите изображения и събирането им в мозайка, генерирането на различните индекси в растерния калкулатор е лесно и бързо по отношение на ползвателя.
- ✓ Получените изображения са с много висока пространствена разделителна способност (10 cm/px), което дава възможност да се използват за локални наблюдения и детайлни изследвания.
- ✓ Обработката на данните в среда на ГИС дава възможност за пълна интерпретация, извлечане на информация за статистическа обработка и визуализация като тематични карти.
- ✓ Съставената карта, получена на базата на NDVI изображение генерирано по данни от камерата *NIR/eBee AG*, отразява различията в състоянието на царевичните посеви отглеждани като монокултура при условия без торене и при извършено минерално торене с торова норма N10P10 (индекси?) килограма активно вещество на декар.
- ✓ Данните от осъществените синхронно със заснемането с камера *NIR/eBee AG* полеви измервания и наблюдения потвърждават определените чрез прагови стойности на NDVI състояния на царевичните посеви в изследваните опитни площиадки.
- ✓ На основата на получените положителните резултати от проведените експеримент може да се разработи методика за извършване на оперативен мониторинг на състоянието на царевични посеви със специализираната безпилотна система за въздушно картографиране *SenseFly eBee Ag*.

Благодарности

В изследването е използвана част от апаратурата, (Фиг. 17.) закупена по Проект "Информационен комплекс за аерокосмически мониторинг на околната среда" (ИКАМОС), Полевия измерителен комплекс (ПИК), Договор за безвъзмездна финансова помощ BG161PO003-1.2.04-0053-C0001, по ОП „Развитие на конкурентоспособността на българската икономика” 2007-2013, процедура BG161PO003-1.2.04 „Развитие на приложните изследвания в изследователските организации в България”.



Фиг. 17. Използвана апаратурата, закупена по проекта ИКАМОС и включена в Полевия измерителен комплекс (ПИК):

- ✓ Специализирана безпилотна система за въздушно картографиране *senseFly eBee Ag*;
- ✓ GNSS системи *Leica GS08 plus* за високоточни измервания за определяне на местоположението и привързване на изображенията;
- ✓ LI-3000C (*LI-COR, USA*) за измерване на листната площ.

Литература:

1. Вълчинков, Ст., А. Попов, П. Христова, П. Петров., 2005. Царевичен хибрид Кнежа 517, Растениевъдни науки, 42, с. 21-24
2. Нанков, М., Л. Глогова, В. Спиров. 2013. Влияние на минералното торене върху добива, масата на 1000 зърна и височината на растенията при царевицата за зърно, научни трудове на Русенския университет, том 52, серия 1.1, стр. 77-80.
3. Jenks, G. 1967. The data model concept in statistical mapping, International Yearbook of Cartography, 7, 186–190.
4. SenseFly Company Website, Drones, eBea Ag – <https://www.sensefly.com/drones/ebee-ag.html>
5. Data classification methods, ESRI, Help page – <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/mapping/symbols-and-styles/data-classification-methods.htm>
6. Институт по царевицата, гр. Кнежа, Научни продукти, ФАО 500-599 – <http://www.ic-kneja.com/fao-500-599>

КОРЕЛАЦИОНЕН АНАЛИЗ НА NDVI-ВРЕМЕВИ СЕРИИ ЗА КАРТОГРАФИРАНЕ НА ЗЕМЕДЕЛСКИ КУЛТУРИ

Петър Димитров, Илина Каменова, Георги Желев

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

Ключови думи: разпознаване на земеделски култури, годишна динамика на NDVI, PROBA-V

Резюме: Обработката на времеви серии от спътниково NDVI изображения е ефективен метод за картографиране на земеделските култури. Той разчита на възможността за разпознаване на културите на базата на фенологичните им особености, отразени в годишния ход на NDVI. Докладът има за цел да тества управляван класификационен подход, при който времевата серия от NDVI изображения се сравнява, пиксел по пиксел, с набор от референтни NDVI-времеви серии на търсения класове. Пикселят приема този клас, до чиято референтна времева серия е най-близък, като критерият за близост е коефициентът на корелация. Методът е приложен върху времева серия съставена от 14 еднодневни PROBA-V изображения заснети в периода март-октомври 2014 г. с цел да бъдат картографирани следните класове: пшеница, рагица, царевица, слънчоглед, тютюн и рагица плюс втора култура царевица. Общата точност на класификацията е 70,1%.

CORRELATION ANALYSIS OF TIME SERIES NDVI DATA FOR CROP MAPPING

Petar Dimitrov, Ilina Kamenova, Georgi Jelev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: petar.dimitrov@space.bas.bg;

Keywords: crop identification, within season NDVI variation, PROBA-V

Abstract: NDVI time series analysis, using satellite imagery is an effective tool for crop mapping. It is based on the possibility to distinguish between crops using their phenological differences as represented in the annual NDVI profile. The aim of this paper is to test a supervised classification approach where the NDVI time series is compared, pixel wise, with a set of reference NDVI time series of the classes to be mapped. Each pixel is assigned to the most similar reference class. The measure of similarity is the coefficient of correlation. The method is applied to map six classes (wheat, rapeseed, maize, sunflower, tobacco and double crop) making use of 14 daily PROBA-V images collected between March and October 2014. The overall accuracy of the classification is 70.1%.

Въведение

Възможността за получаване на изображения на земната повърхност през кратки интервали от време е едно от ключовите предимства на спътниковите дистанционни методи, позволяващо наблюдението на сезонната динамика на растителността. Оптичните спътникови сензори позволяват да се проследи изменението на количеството зелена биомаса през вегетационния период. Традиционно използвана мярка за количеството на зелената биомаса са спектралните индекси, като например индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, Rouse et al., 1974; Roumenina et al., 2010). Сензори като MODIS, AVHRR и PROBA-VEGETATION предоставят NDVI данни през интервали от порядъка на десетдневие или месец, което освен за фенологични изследвания е полезно за картографиране на типовете земно покритие и растителност. Годишният ход на NDVI, т.нар. времева траектория, в много случаи има характерна форма при различните растителни съобщества или видове, включително при

отделните земеделски култури, и може да се използва за тяхното разпознаване по спътниковите времеви серии (Evans, Geerken 2006; Doraiswamy et al., 2007).

В литературата се срещат различни подходи използвани върху времеви серии от NDVI за разпознаване на типове растителност, земно покритие или земеделски култури. Например Vassilev (2013) прилага алгоритъма за клъстеризиация ISODATA върху NDVI времева серия от десетдневни композитни изображения от сензора SPOT-VEGETATION за да разграничи четири основни култури на територията на България. Като предварителна стъпка при класификация на земното покритие в глобален мащаб Loveland et al. (2000) използват неуправляван алгоритъм за клъстеризиация на месечни композитни NDVI изображения от AVHRR. Формираните в резултат на клъстеризиацията спектрални класове (т.нар. „greenness classes“) представляват райони, хомогенни по отношение на сезонния ход на развитие на растителността. Друг подход за анализ на времеви серии от NDVI е да се извлекат „фенологични“ променливи като например максимален годишен NDVI, кумулативен годишен NDVI, момент на настъпване на максималния NDVI, NDVI на най-топлия месец и др., които да се използват в последваща класификация. Подобни променливи, калкулирани по месечни AVHRR данни, използват Hansen et al. (2000) в своята класификация на земното покритие в света. Сходна стратегия прилагат Moody и Johnson (2001) използвайки неуправлявана класификация, но вместо самите AVHRR NDVI изображения класифицират фазата и амплитудата на първите два хармоника получени при преобразуването на времевата серия чрез анализ на Фурье. Сред прилаганите методи за обработка на времеви серии от NDVI могат да се споменат още анализ на главните компоненти и управлявана класификация по метода на максималното правдоподобие (Townshend et al., 1987).

Geerken et al. (2005) предлагат подход за класифициране на времеви серии, в основата на който стои коефициентът на линейна корелация. Корелацията се използва за да се определи сходството на всеки пиксел с предварително определени референтни времеви серии на търсените класове. Методът е приложен от авторите за полу-пустинна територия с тревно-храстова растителност. Използвани са 36 десетдневни NDVI изображения, като времевите серии са филтрирани чрез анализ на Фурье преди класифицирането. Настоящото изследване е мотивирано от въпроса дали опростен вариант на корелационния подход на Geerken et al. (2005) може успешно да бъде приложен за класифициране на земеделски култури, както и дали методът е приложим при времева серия с малък брой изображения. За целта е използвана NDVI-времева серия от спътника PROBA-V съставена от избрани, безоблачни изображения в рамките на вегетационния сезон на 2014 г., с помощта на която са класифицирани шест земеделски типа земно покритие: „пшеница“, „рапица“, „царевица“, „слънчоглед“, „тютюн“ и „рапица/царевица“.

Материал и методи

Район на изследване и полеви данни. Използваните в настоящото изследване полеви данни са събрани в рамките на проект, осъществен през 2014 г., целящ да демонстрира възможностите на изображенията от спътника PROBA-V с пространствена разделителна способност (ПРС) 100 m за разпознаване на земеделски култури (Roumenina et al., 2015). Данните включват ГИС слой със 105 полигона с атрибутивна информация за засетите култури през селскостопанска година 2013/2014 (съседни полета засети с една и съща култура са обединени в един полигон). Основната част от полетата са засети с пшеница, рапица, слънчоглед и царевица. Две полета са засадени с тютюн, а в едно поле са отгледани две култури през сезона – рапица и царевица. Полетата засети с люцерна са с много малки размери, поради което тези култура е изключена от по-нататъшния анализ. Полетата се намират в западната част на Дунавската равнина в района на гр. Кнежа. Информация за почвените и климатичните условия в района може да се намери в Roumenina et al. (2015).

Спътникови NDVI данни. Основната цел на програмата PROBA-V (Project for On-Board Autonomy – Vegetation) е осъществяването на непрекъснат мониторинг на растителността и земното покритие в глобален мащаб (Dierckx et al., 2014). За териториите северно и южно от приблизително 40° г. ш. спътникът PROBA-V предоставя пълно покритие с данни със 100 m ПРС на всеки пет дни (Wolters, Dierckx, Swinnen, 2015). Наскоро бяха демонстрирани предимствата на тези данни при картографирането на земеделски култури (Roumenina et al., 2015), поради което те са използвани и в настоящото изследване. Използваните NDVI изображения са изтеглени във вид на готов продукт (S1 TOC NDVI 100 m) от портала на Фламандския институт за технологични изследвания (VITO)¹. Избрани са общо 14 изображения получени в периода от края на март до началото на октомври 2014 г. (Фиг. 1), които са

¹ VITO Product Distribution Portal - <http://www.vito-eodata.be/PDF/portal/Application.html#Home>

безоблачни или с незначителна облачност над изследвания район. Те са обединени в един общ многослойен файл представляващ времева серия с неравни интервали между изображенията. Пикселите заети от облаци дори в една от датите са маскирани и изключени от анализа. Териториите извън обработваемите земи също са маскирани.

Анализ. Многослойният NDVI файл е класифициран с цел да бъдат отделени следните шест класа: „пшеница“, „рапица“, „царевица“, „слънчоглед“, „тютюн“ и „рапица/царевица“ (рапица плюс царевица като втора култура). За целта е приложен метод сходен с тази на Geerken et al. (2005), при който се анализира степента на корелация между NDVI времевата серия и референтни NDVI времеви серии на търсените класове. Процедурата включва следните стъпки:

1. *Създаване на референтни NDVI времеви серии.* В многослойния NDVI файл са селектирани пиксили - представители на търсените класове. За целта са използвани границите на полетата, за които е налична наземна информация за земеделската култура. Чрез данните от тези „обучаващи“ пиксили са получени осреднени NDVI времеви серии, които служат като референтни за шестте класа.

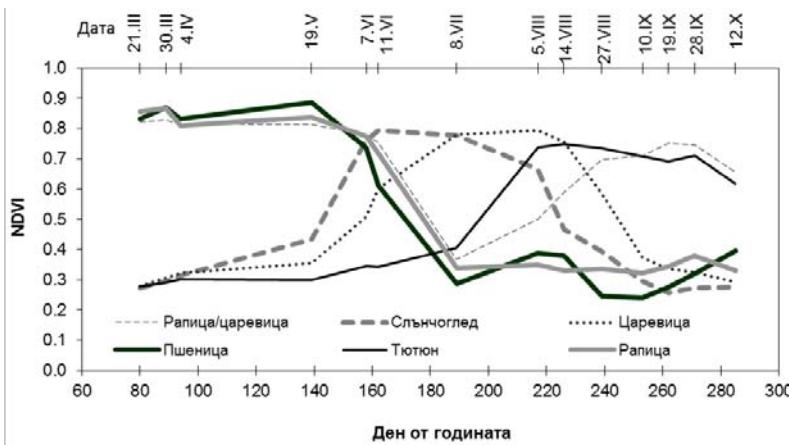
2. *Корелационен анализ.* Всеки пиксел в многослойния NDVI файл се разглежда като самостоятелна времева серия като последователно се изчислява нейният коефициент на корелация (r) с шестте референтни времеви серии. Получават се шест растера – по един за всеки клас, като стойностите в тях представляват корелационни коефициенти вариращи от -1 до +1. Тези растери показват доколко годишният ход на NDVI на всеки пиксел се доближава до референтния годишен ход на NDVI на съответния клас.

3. *Класификация.* Принадлежността на всеки пиксел към един от класовете се определя като се избира класът, с чиято референтна NDVI времева серия корелацията е най-висока (тоест r е най-близо до +1).

За оценката на точността на класификацията е използвана случаена извадка от пиксили. Принадлежността им към даден клас е определена чрез визуално дешифриране на спътникови изображения от Landsat 8. Използвани са общо осем изображения заснети в периода 23 март – 1 октомври 2014 г., което позволява при дешифрирането да се отчетат фенологичните особености на класовете. За класа „рапица/царевица“ е ползвана и информацията от времевата серия от PROBA-V NDVI изображения, като към този клас са отнесени референтни пиксили, за които вторият пик през сезона има NDVI над 0,6.

Резултати

Успешното приложение на корелационния метод за картографиране на земеделските култури в изследвания район зависи от това доколко шестте класа имат характерен, отличителен годишен ход на NDVI. Референтните времеви серии на класовете са представени графично на Фиг. 1. Четиринаесетте PROBA-V изображения са сравнително равномерно разпределени през вегетационния период. Това позволява да се наблюдават най-общите особености в годишния ход на NDVI при отделните класове. За двете зимни култури - пшеница и рапица, времевите серии обхващат само периода на вегетация след презимуването им. При тях NDVI има високи стойности в началото на времевата серия (края на март) тъй като те продължават вегетационното си развитие започнато през предходната есен. Кривите на изменение на NDVI за полетата с пшеница и рапица имат сходна форма. Разликите наблюдавани в двете криви в периода след като тези култури са вече прибрани се дължат на различните състояния, в които се намират ожънатите полета – стърнища, плевели, угар и др. и следователно не са показател за вида на предшестващата култура. Слънчогледът и царевицата имат NDVI криви с типична за пролетните култури форма. При първата култура обаче нарастването на NDVI е с по-бързи темпове, максималните му стойности се достигат по-рано през годината и понижението на NDVI свързано с приключването на вегетационното развитие започва по-рано. Характерната форма на кривата на NDVI при тютюна е свързана с късните дати на засаждане на тази култура. Класът „рапица/царевица“ има два ясно изразени максимума на NDVI през сезона. От Фиг. 1 се вижда, че повечето класове се отличават с характерен NDVI профил. Трудности могат да се очакват при разграничаването на двете зимни култури. Техните референтни времеви серии са силно корелирани помежду си ($r=0,98$). Корелацията между референтните времеви серии на слънчогледа и царевицата е значително по-ниска ($r=0,77$).



Фиг. 1. Референтни NDVI времеви серии на шестте класа по данни от PROBA-V 100 m. В горната част на графиката са показани датите на използваните 14 изображения от 2014 г.

Резултатът от приложението на корелационния метод за класификация върху времевата серия от PROBA-V е представен на Фиг. 2.А. Според класификацията най-голямо разпространение имат класовете „пшеница“, „сълнчоглед“ и „царевица“. Към тях се отнасят 78% от всички класифицирани пиксели. Сравнително голяма площ заема и клас „рапица“. Останалите два класа заемат само 6% от територията включена в класификацията. Това съотношение между класовете е реалистично с оглед на специализацията на растениевъдството в района (МЗХ 2014). Резултатите от оценката на точността на класификацията са представени в Табл. 1. Общата точност на класификацията е 70,1 %. Точността по класове е най-висока за царевицата, сълнчогледа и класа „рапица/царевица“, като варира от 74% до 84% (Табл. 1). Най-ниска е точността за пшеницата и рапицата, което е свързано с посоченото вече сходство в референтните времеви серии на двете култури. Помалко от половината пиксели класифицирани като рапица реално се отнасят към този клас (Табл. 1). Грешката се дължи на смесването с клас „пшеница“. Следователно разпространението на рапицата е преувеличено за сметка на пшеницата. Точността на клас „тютюн“ не е оценена поради липсата на референтни данни. Това се дължи на слабото разпространение на класа в района на изследване.

Трябва да се има предвид, че използването на данни получени чрез визуална интерпретация, а не такива събрани на терена, винаги крие риск от неточности при оценката на точността на класификацията. При липсата на други референтни данни обаче, този подход е добра алтернатива и ни позволява да получим поне ориентировъчна количествена представа за надеждността на класификацията и да я съпоставим с други подобни изследвания. Общата точност на класификацията получена чрез тествания корелационен метод е близка до точността от 73,9% постигната от Geerken et al. (2005) в тяхното изследване използвайко аналогичен корелационен подход. Roumenina et al. (2015) постигат точности от 75% до 77% при класификация на земеделски култури използвайки данни от PROBA-V с разделителна способност 100 m и традиционни класификационни подходи като метод на максималното правдоподобие и ISODATA.

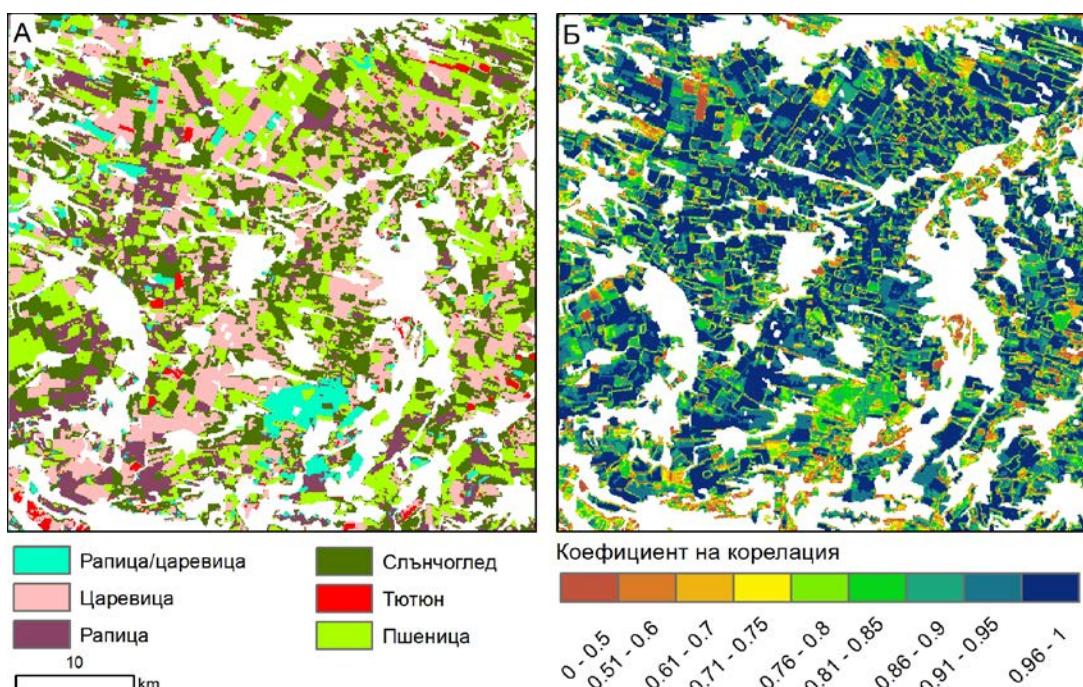
За целите на настоящото изследване е прието, че всички обработвани земи в района могат да бъдат отнесени към един от шестте класа. В действителност в района се отглеждат и други земеделски култури, макар и на не големи площи. За това говори и фактът, че има полета, в които пикселите не са силно положително корелирани с нито една от референтните времеви серии (Фиг. 2.Б.). Тези полета имат годишен ход на NDVI значително различаващ се от референтните времеви серии и вероятно част от тях са засети с култури или типове земно покритие различни от разглежданите в това изследване. При липсата на полеви данни за тези култури те не могат да бъдат идентифицирани и внасят грешка в останалите класове. Този проблем е избегнат от Geerken et al. (2005), които първоначално създават отделни карти на разпространението на всеки клас. Това става чрез определяне на минимални стойности на корелационния коефициент, при които даден пиксел е позволено да бъде причислен към съответен клас. Тези прагове се прилагат към растерите получени в стъпка 2 от настоящата процедура (виж „Материали и методи. Анализ“, за да бъдат маскирани пикселите не отговарящи на критериите за принадлежност към съответния клас. Отделните растери в последствие се комбинират, при което пикселите които са маскирани във всичките растери остават не класифицирани. Ако даден пиксел удовлетворява критерия на повече от един клас се причисляват към класа с най-висока корелация.

Таблица 1. Резултати от проверката на точността на класификацията базирана на корелация между времеви серии

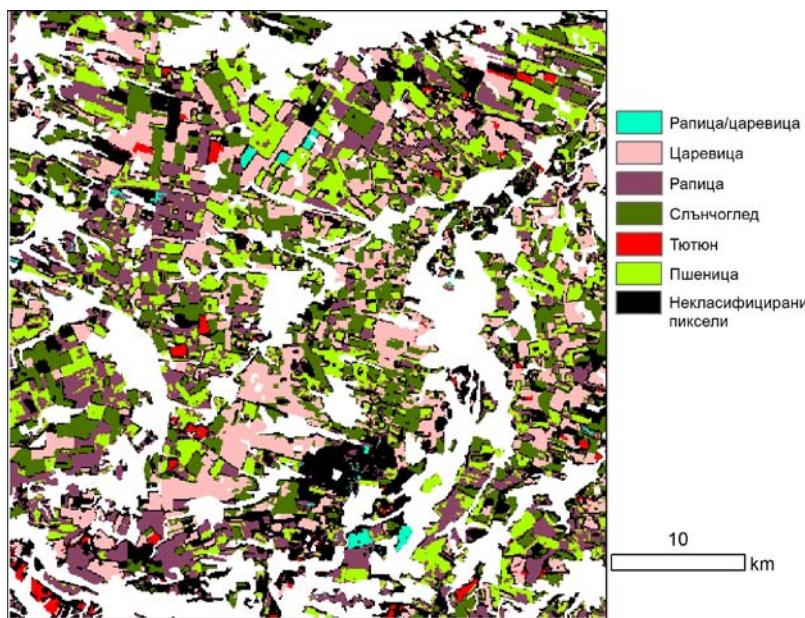
Класификация	Референтни данни							
	Царевица	Рапица	Слънчоглед	Рапица/ царевица	Пшеница	Тютюн	Общо	User Acc. (%)
Царевица	62	0	8	0	4	0	74	83,8
Рапица	0	17	4	0	19	0	40	42,5
Слънчоглед	8	1	54	1	9	0	73	74,0
Рапица/царевица	0	1	0	10	2	0	13	76,9
Пшеница	9	8	1	1	52	0	71	73,2
Тютюн	4	0	3	0	0	0	7	
Общо	83	27	70	12	86	0		
Prod. Acc. (%)	74,7	63,0	77,1	83,3	60,5			

Трудностите при този подход са свързани с избора на най-подходящи прагови стойности на корелационния коефициент. В настоящото изследване беше направен опит за определяне на такива стойности използвайки набор от тестови пиксели съставен чрез полевите данни. Целта беше да се избере стойност на корелационния коефициент при която над 90% от тестовите пиксели на съответния клас да са „разпознати“. Резултатите от тази класификация са показвани на Фиг. 3. При този вариант на класификацията една четвърт от пикселите не са класифицирани, тоест не са достатъчно силно корелирани с нито една от референтните NDVI времеви серии. Вижда се, че освен не класифицирани полета (компактни групи от пиксели) има и множество отделни пиксели или ивици от пиксели по границите на полетата които също не са класифицирани. Това са смесени пиксели, които нямат еднозначен фенологичен сигнал.

Броят на не класифицираните пиксели зависи от избраните прагови стойности и е толкова по-голям, колкото по-високи са те. Ако бъдат избрани прекалено високи прагове на корелационния коефициент има опасност пиксели, които реално принадлежат към даден клас да бъдат пропуснати поради естествената вариация на времевите серии в рамките на класа. Колкото по-ниски са праговете, толкова повече резултатите от класификацията ще се доближават до тези на Фиг. 2.A. В конкретния случай е трудно да преценим дали избраните прагове са подходящи. Тъй като референтните данни са събрани допускайки наличието в изследвания район само на шестте класа те не могат да се използват за проверка на точността на класификацията получена с прилагане на прагови стойности.



Фиг. 2. (А) Класификация на NDVI времева серия от спътника PROBA-V с ПРС 100 м на базата на корелация с референтни NDVI времеви серии. (Б) Максимална стойност на коефициента на корелация получена при корелацията с шестте референтни NDVI времеви серии.



Фиг. 3. Класификация на NDVI времева серия от спътника PROBA-V с ПРС 100 m на базата на корелация с референтни NDVI времеви серии с приложени прагови стойности на корелационния коефициент.

Заключение

Резултатите от изследването показват, че класификационният метод основан на корелацията между NDVI-времеви серии има значителен потенциал при картографиране на земеделски култури и стопански практики като отглеждане на две култури през сезона. Може да се счита, че коефициентът на корелация е достатъчно ефективна мярка за сходството между NDVI-времеви серии дори когато броят на наблюденията в тях е малък. Именно такъв е случаят в това изследване, където само 14 безоблачни изображения са налични през вегетационния период. Въпреки това трябва да се има предвид, че освен броят на изображенията от значение е и доколко те са равномерно разпределени във времето и отразяват характерния годишен ход на NDVI на различните култури. Липсата на данни в продължителни интервали от време или в ключови за разпознаването на културите моменти от годината може да намали приложимостта на корелационния метод на класификация. Получената в конкретния случай обща точност на класификацията от 70,1 % не е висока, но е съизмерима с точността постигната от други класификационни методи при използването на същите или сходни спътникови данни. Необходими са допълнителни изследвания, които да разкрият пълните възможности на метода. Това може да включва сравнение с други класификационни методи приложени при едни и същи условия.

Благодарности

Изказваме своята благодарност на проф. Евгения Руменина и г-н Илчовски за предоставените полеви данни.

Литература:

1. Dierckx, W., S. Sterckx, I. Benhadj, S. Livens, G. Duhoux, T. Van Achteren, M. Francois, K. Mellab, G. Saint. PROBA-V mission for global vegetation monitoring: standard products and image quality. International Journal of Remote Sensing, 35 (7), 2014, pp. 2589-2614
2. Doraiswamy, P., B. Akhmedov, A. Stern. Crop classification in the U.S. corn belt using MODIS imagery. In Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), July 2007.
3. Evans, J.P., R. Geerken. Classifying rangeland vegetation type and coverage using a Fourier component based similarity measure. Remote Sensing of Environment 105, 2006, pp.1-8
4. Fleiss, J.L., B. Levin, & M.C. Paik. Statistical methods for rates and proportions, 3rd edition. New Jersey: Wiley, 2003
5. Foody, G.M. Thematic map comparison: Evaluating the statistical significance of differences in classification accuracy. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70, 2004, pp. 627-633.
6. Geerken, R., B. Zaitchik and J. P. Evans. Classifying rangeland vegetation type and coverage from NDVI time series using Fourier Filtered Cycle Similarity. International Journal of Remote Sensing, 26 (24), 2005, 5535-5554

7. Hansen, M.C., DeFries, R.S., Townshend, J.R.G., Sohlberg, R. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *International Journal of Remote Sensing* 21 (6_7), 2000, 1331–1364.
8. Loveland, T. R., Reed, B. C., Brown, J. F., Ohlen, D. O., Zhu, Z., Yang, L., Merchant , J.W. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6–7), 2000, 1303–1330.
9. Moody, A., D.M. Johnson. Land-surface phenologies from AVHRR using the discrete fourier transform. *Remote Sensing of Environment* 75, 2001, 305–323
10. Richards, J.A., X. Jia. *Remote sensing digital image analysis. An introduction.* 4th Edition. Springer, 2006, 439p.
11. Roumenina E., C. Atzberger, V. Vassilev, P. Dimitrov, I. Kamenova, M. Banov, L. Filchev and G. Jelev. Single- and Multi-Date Crop Identification Using PROBA-V 100 and 300 m S1 Products on Zlatia Test Site, Bulgaria. *Remote Sens.* 7, 2015, pp.13843-13862
12. Roumenina, E., L. Filchev, V. Naydenova, G. Jelev, P. Dimitrov, V. Vassilev, L. Kraleva. 2010. Monitoring of Winter Crop Status in Bulgaria Using a Series of NOAA AVHRR NDVI Images. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 36, Suppl. 2, pp. 224-230, ISSN 1712-7971
13. Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, D.W. Deering. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In Proc. of the 3rd. ERTS-1 Symposium (Eds. S. Freden, E. Mercanti & M. Becker), 1974, Vol.1, Sect. A, 309–317, NASA, Washington, D.C., USA.
14. Swain, P. H., S.M. Davis, Eds., *Remote Sensing: The Quantitative Approach*. New York: McGraw-Hill, 1978
15. Townshend, J. R. G., Justice, C. O., & Kalb, V. Characterization and classification of South American land cover types using satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 8, 1987, 1189–1207
16. Vassilev, V. Crop monitoring using SPOT-VGT NDVIs S10 time-series product for the arable land of Bulgaria. *Aerospace Research in Bulgaria*, 25, 2013, pp. 172-182
17. Wolters, E., W. Dierckx, E. Swinnen. *PROBA-V Products User Manual v1.3*. VITO, 2015, 81p.
18. МЗХ (Министерство на земеделието и храните). 2014. *Агростатистически справочник 2000-2012.* 209c.

BRIDGING REMOTE SENSING AND LANDSCAPE ECOLOGY

Rumiana Kancheva, Georgi Georgiev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

e-mail: rumecho@abv.bg

Keywords: landscape ecology, remote sensing, satellite images, geoecological monitoring

Abstract: Landscape ecology is a highly interdisciplinary science of studying the interactions between organisms and their relationships with the environmental conditions and processes. Landscape ecology findings are a core prerequisite for ecosystems conservation and biodiversity preservation. The goal of our paper is to present key considerations on using remote sensing as a means of landscape surveys and to acknowledge the importance of incorporating multisource and multitemporal remotely sensed data into ecological analyses.

СВЪРЗВАЩИ ЗВЕНА МЕЖДУ ДИСТАНЦИОННИТЕ МЕТОДИ И ЛАНДШАФТНАТА ЕКОЛОГИЯ

Румяна Кънчева, Георги Георгиев

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

Ключови думи: ландшафтна екология, дистанционни изследвания, спътниково изображение, геоекологичен мониторинг

Резюме: Ландшафтната екология е интердисциплинарна наука, изучаваща взаимодействията между организмите и връзката им с условията на околната среда. Резултатите от изследване на протичащите процеси са условие и научна основа за оценка, стопанисване, опазване и възстановяване на природните ресурси и биоразнообразието. Целта на настоящата работа е да изнькне тези особености на дистанционно получаваните данни, които тясно свързват дистанционните методи със съвременните ландшафтно-екологични изследвания. Изложена е систематизирана концепция относно предпоставките за използване на дистанционните методи в ландшафтната екология и новите възможности, които дават при екологичните анализи.

Introduction

Landscapes can be defined as areas that are spatially heterogeneous, and therefore landscape ecology approaches can be applied at various scales to a wide range of different environments including terrestrial, aquatic and marine systems. Landscape ecology is a highly interdisciplinary science of studying the interactions between organisms and their relationships with the environment conditions and processes. It focuses on understanding the origin, extent, and ecological consequence of spatial heterogeneity across different scales. The findings of this discipline are a core prerequisite for ecosystems conservation and biodiversity preservation. Major research themes for terrain information extraction include landscape structure, spatial arrangement of habitat patches, interactions among the elements of landscape patterns, assessment of ecosystem changes over space and time, evaluation of disturbance effects, and landscape sustainable management.

A landscape encompasses a mosaic of land-cover and land-use types that are dynamic, as are the relationships and processes that connect them. Landscape-scale measurement approaches should deal with spatially and biologically diverse areas and account for multiple interactions. Data are needed from large areas, often for multiple points in time, and the collection of these data can be expensive and time consuming. Such data, however, are readily provided by remote sensing observations. Remote sensing, the technology of obtaining information via noncontact recording, has swept the fields of ecology, biodiversity and conservation due to the fact that it is a landscape-relevant

method that takes into account multiple land cover and land-use categories especially when dealing with heterogeneous areas. Remote sensing provides consistent long-term Earth observation data at scales from the local to the global domain. The natural features and physical state of a landscape are obtained through object classification of aerial and satellite images. Multitemporal remotely sensed data provide the ability for consistent measurements of landscape condition and allow detection of both abrupt changes and slow trends over time. Deriving environmental change indicators is a main focus of landscape ecology studies.

In fact, the development of landscape ecology as a discipline has been particularly stimulated by the technological developments in remote sensing whose origins lie in aerial photography. Remote sensing data helps to map and study vegetation types, species composition and distribution, the status and seasonal variation of vegetative cover, and human interventions at fine to coarse spatial scales. Thus, remote sensing proves to be a very effective tool to analyze landscape-level elements and characterize biodiversity. It is a key technology for quantifying landscape patterns and processes in the twenty-first century.

The goal of our paper is to summarize key considerations on using remote sensing as a means of landscape ecology surveys and to acknowledge the importance of incorporating multispectral, multisource and multitemporal remotely sensed data into ecological landscape analysis. The basic concepts underlying the ecological remote sensing applications are discussed with emphasis on the ability of these technologies to map, measure, track and understand ecological changes and interactions. The grounds for integrating remote sensing data into landscape inventories are highlighted.

Conceptual considerations

Remote sensing application in landscape ecology is a complex issue and all its aspects can hardly be considered in a single paper. This section presents some insight into the relationship of landscape ecology with remote sensing. The main crosspoints and bridging elements between both disciplines are identified and discussed. The acknowledgment of these crosspoints is very important since they justify the ecological applications of remotely sensed data and determine the methods used for information retrieval.

Ecological monitoring and management require detailed information over broad spatial scales. Historically, such information was often acquired through interpretation of aerial photographs. Aerial photography to studies of interactions between environment and vegetation was the starting point for Carl Troll to develop the terminology and many early concepts of landscape ecology. Despite the many advantages of aerial photographs [1], there are specific challenges for using them, especially with respect to manual interpretation and traditional aerial photograph analysis. The rapid and excessive spread of satellite imagery over the past few decades has influenced the use and perceived utility of aerial photography. Satellite imagery, with its broad spatial coverage and regular revisit possibilities, has provided researchers and resource managers with a cost-effective alternative to aerial photography. This alternative has contributed to a shift in emphasis of spatial analysts away from aerial photographs and more toward digital platforms. One important development associated with the recent emphasis on satellite imagery, has been the advent of a wide range of digital image analysis techniques [2, 3].

The dissemination of landscape ecology studies intensified starting in the 1980s, a period that coincided with the significant development of geospatial analysis [4]. A key point for the increase in research studies in the field with the use of satellite imagery was the launch of multispectral and hyperspectral sensors onboard LANDSAT, NOAA, SPOT, ASTER, IKONOS, MODIS, QUICKBIRD, EROS, and other satellites. Hyperspectral data provided new possibilities to detect subtle differences between objects and discriminate species-specific land covers such as vegetation categories or soil types [3, 5]. These fine-scale classification possibilities made remarkable contribution to studies regarding biodiversity patterns. Moreover, hyperspectral data have been successfully applied in recording information about critical plant properties (e.g., leaf pigment, water content, biomass, and etc.), discriminating tree species and assessing stand structure, and fairly accurate identification between different species. Image data used for landcover analysis are multisensor (ASTER, Geoeye, Ikonos, MODIS, Hyperion, CHRIS, PROBA and etc.) Also thermal and lidar measurements [6] are applied for quantifying habitat heterogeneity and as predictor variables of habitat quality.

The interpretation of data generated from a variety of passive (radiometers, spectrometers) and active (radar, lidar) remote sensors has matured as facilitated by the development of a rich set of analytical tools that go well beyond traditional cartographic products. Recent technical advances related to innovative remote sensing methods and products including hyperspectral sensing, multi-angle viewing, and imaging radar add new value to remote sensing applications in landscape ecology. The use of multisensor imagery has become increasingly common in late years, the particular

advantages of these data being their digital format, the repeated and large scale coverage and the prospect of monitoring landscape change. Data derived from satellite images are easy to integrate with other data sources for planning purposes. Satellite Earth observation sensors provide unique measurements of geophysical and biospheric variables, and associated processes, regionally or globally and repetitively. These measurements are all the more critical because the Earth as a system changes constantly over a wide range of temporal and spatial scales. The analysis of remote sensing imagery before, during and after a natural or man-made ecological disturbance occurs, allows predicting and measuring the location, extent and the impact of the incident on the physical environment. In contrast to exclusively focussing on the state of the landscape at a single point in time it allows to draw conclusions from multiple temporal stages. Remote sensing is now a fundamental tool for mapping, monitoring and management of ecosystems. Satellite images offer repeatable and quantitative assessments of habitat and environmental characteristics over spatially extensive areas. However, remote sensing and field landscape observations can successfully complement each other. In integration of Earth observation and in-situ data for landscape analysis the challenge is to be able to utilize this complementarity to the full thus strengthening the scientific and practical value of landscape ecology studies.

That the relationship between remote sensing and landscape ecology is significant is due in large part to the strong spatial component within landscape ecology. Landscape classification, quantification and monitoring need multiscale investigations which is illustrated by the fact that studies of habitats often provide different results at different scales for the same species [7-9]. Since the thematic and geometric resolution influence the results of landscape metrics analysis it is crucial that the scale of investigation and the spatial resolution of the data correspond to each other. Multiscale methods may be more informative than those based on only one scale. The availability of remote sensing data at different spatial scales (local, regional and global) meets the needs of landscape structure analysis at multiple scales. The decision about the thematic content and resolution in landscape studies depend on the aim of the investigation and the appropriate remote sensing image data should be chosen. The scale of observation and measurement is undoubtedly one of the most essential considerations to be made in remote sensing data interpretation [10] since landscape ecology addresses complex multiscale questions regarding the influence of spatial patterning on ecological processes. The issue of spatial resolution is extremely important recognizing the scale-dependent nature of environmental phenomena.

The time component (trmporal dynamics) within landscape ecology is another bridging element between remote sensing and landscape ecology. The multitemporal dimension of satellite data ensures large scale information from multiple points in time - which cannot be acquired by other means (e.g. surveying on site). The use of multitemporal measurements is consistent with the landscape ecology approach which departs from traditional approaches by focusing on the structure, function, and spatial patterns of landscape elements, as well as on changes in the landscape mosaic through time. This landscape approach fostered by the use of remote sensing data has implications for conservation planning because the total area, patchiness, connectivity of ecosystems and habitats, and the way biological and physical processes interact over multiple spatial and temporal scales, are all important for biodiversity conservation. Moreover, the spatial data, when integrated with socioeconomic data, have the potential to reveal the complex role of social and economic factors underlying change. It should be noted that airborne remote sensing may be a suitable alternative to high spatial resolution spaceborne imagery, given that the relatively low altitude of airborne platforms enables the generation of very fine spatial resolution data which increases the accuracy of characterisation of small objects.

In short, the relationship between remote sensing and landscape ecology is based on the inherent properties of remotely sensed data as it is shown in Figure 1 and Figure 2.



Fig. 1. Main elements bridging landscape ecology and remote sensing

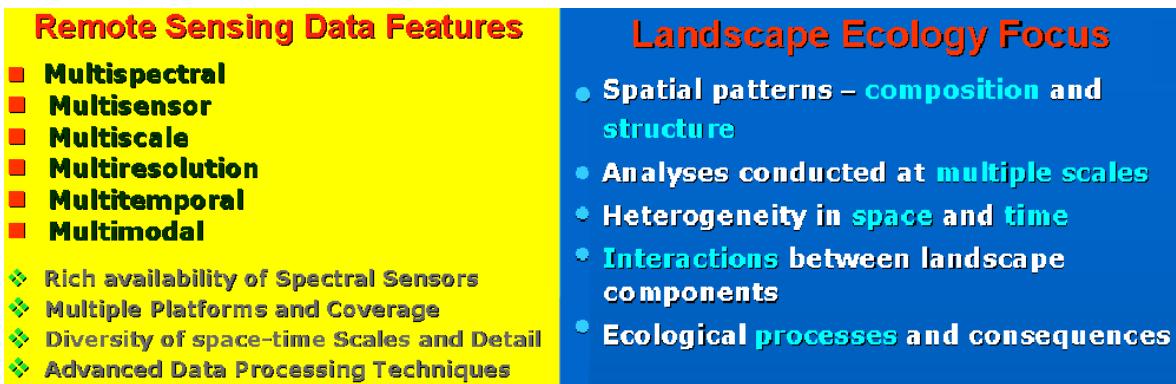


Fig. 2. Relevance of remote sensing data to landscape ecology studies

Ecological remote sensing applications address the main needs and goals of landscape ecology studies, namely the assessment of landscape composition, structure and spatio-temporal dynamics including interactions, processes, and the functional changes in the landscape. The large number and variety of landscape ecological studies and applications that use remote sensing in one way or another confirms their connectivity. This relationship expands and matures as new possibilities are explored based upon technical developments, including those represented by newly launched satellite sensors and novel data interpretation methods. Very high spatial resolution image data provide greater and more varied opportunities for spatially detailed landscape mapping. Advances in technology and decreases in cost are making remote sensing practical and attractive for use in ecological studies and landscape management. They are also allowing researchers and managers to take a broader view of ecological patterns and processes. The use of remote sensing in landscape ecology provides a rich range of examples of the interface between remote sensing and landscape ecology.

Figure 3 presents in more detail our notion about the crosspoints between remote sensing and landscape ecology. In fact, these crosspoints reflect the discussed above fundamental characteristics of remote sensing data and the ecological relevance of these data.

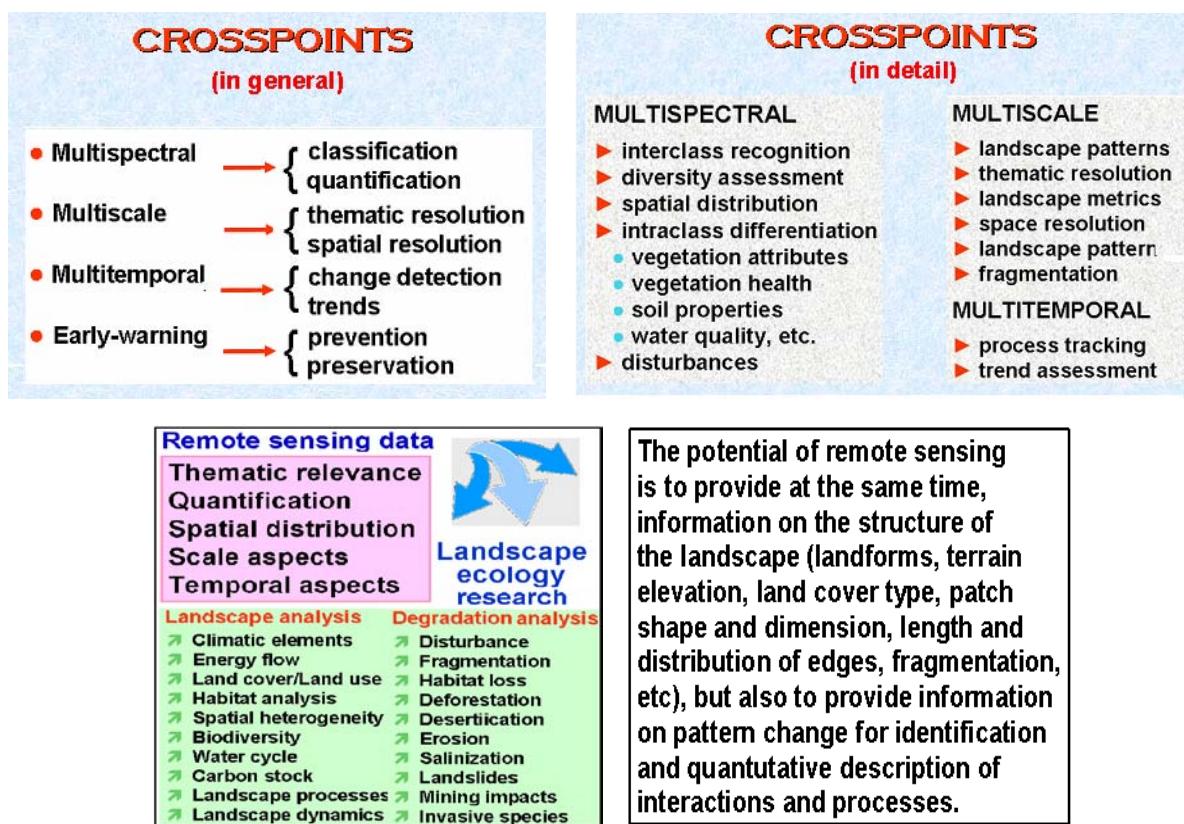


Fig. 3. Relevance of remote sensing data to landscape ecology research

The main advantages of digital satellite images that are relevant to landscape ecology research include broad spatial coverage, high spatial resolution, broad spectral range, rigorous radiometric accuracy, high temporal frequency, systematic collection, continuous change detection, all-weather operation (microwave sensors), numerous data processing and analysis methods developed, easily accessible (many images are free), precise and site-specific metadata easily obtained.

In general, there are two approaches of ecological remote sensing. One involves direct observation of land cover categories. Commonly, Habitats are derived from vegetation categories to retrieve the distribution of animal populations. The indirect approach involves the derivation of environmental parameters from remotely sensed images as proxies for ecological phenomena [11]. Landscape-scale quantification [12] of the physical and biological features of an area, covering both measurement and modelling, can include approaches that treat the landscape as a single unit or can include more complex approaches that simulate landscape functioning, i.e. flows of nutrients, water or energy between subunits within the landscape. Dealing with the landscape as a system allows analysis to focus on hotspots, both in temporal and geographic terms. In this regard remote sensing is an inarguable landscape relevant method. Data from satellite Earth observations are highly appropriate in implementing landscape-scale study approaches.

Implementation of remote sensing in landscape ecology studies

The basic concepts underlying the ecological applications of remote sensing are discussed above with emphasis on the ability of these technologies to map, measure, track and understand ecological changes and interactions. The grounds for integrating remote sensing data into landscape inventories are highlighted. Our first intention was to richly illustrate the implementation of remote sensing in landscape ecology by case-study examples. However, the limited size of the paper did not allow doing so. Therefore, in this section we only point out the most widely spread applications of remote sensing in the field of landscape ecology. This is not an exhaustive summary of remote sensing applications in landscape ecology research but is based primarily on publications overview on the subject. Some statistics (from review papers) on ecological remote sensing use is also presented.

The demand for ecosystem assessment is growing rapidly as information gathering and analysis options are increasing. The focus of remote sensing data incorporation into landscape ecology studies is land cover classification, change detection, quantification of processes, and determination of the degree of landscape disturbance. Numerous publications use interpretation products of remote sensing images in the following key topics related to landscape ecology research:

- land cover/land use classification and mapping (delineation of landscape types, landscape composition and connectivity, size, shape, number, and position of patches, land mosaics heterogeneity, habitat arrangement, spatial distribution and abundance of species, species richness, biological diversity, landscape topography, watershed boundaries, and etc.);
- studying relationships and interactions (between spatial pattern and ecological processes, vegetation-landform-soil mosaics, landscape components and ecosystems, and etc.);
- assessment of climate variables (temperature, water vapor, rainfall and etc.), energy, nutrient and gas fluxes, heat transfer, hydrological flows, and etc.
- retrieval of biophysical and biogeochemical variables (vegetation biomass, leaf area index, chlorophyll content, productivity, health condition, stress detection, soil properties - texture, moisture, organic content, mineral composition, forest structure and diversity, and etc.);
- landscape change detection (monitoring landscape-level environmental indicators, such as changes in the size and configuration of habitats and vegetation cover to quantitatively determine changes in ecosystems, landscape mosaics modification, harvesting of natural resources, identification and quantitative evaluation of environmental pressures and threatening processes, etc.);
- monitoring and quantification of disturbances and degradation processes (habitat quality, fragmentation and loss of habitats, deforestation, desertification, soil erosion and salinization, landslides, water quality, wildfire damage, environmental impacts of mining activity, invasive species occurrence and spatial distribution, wetlands draining, and etc.);
- landscape rehabilitation monitoring (biodiversity restoration, revegetated areas, vegetation regrowth, wetland regeneration, land reclamation, rehabilitation of waterlogged and saline soils, mine rehabilitation, marine wildlife and habitat recovery after oil spills, and etc.);

Indicative statistics presented in [13] provides some measure of remote sensing use in landscape ecology research. It is based on the review of 438 research papers published in the journal *Landscape Ecology* (the leading scientific journal in the field) for the years 2004–2008 inclusive. It was found out that only 158 (i.e. 36%) of the studies explicitly mentioned remote sensing. Many of the rest almost two-thirds of the papers made use of geospatial data and mapping derived from remote sensing without having acknowledged this explicitly. The results of the examination in greater depth

indicated that aerial photographs (orthophotos) and digital imagery acquired from sensors on board the Landsat series of satellites were the most commonly used types of imagery accounting for 46% and 42% of studies, respectively. Only 0.5% of studies made use of radar data and 2% employed multiple sources of remote sensing data.

The predominant application of remote sensing data across these studies was for thematic mapping purposes focusing on the use of landcover maps as a basis for analysing landscape pattern or spatial structure. This suggested that landscape ecologists were rather conservative in their use of remote sensing data and relatively slow to recognize the potential value of recent developments in remote sensing technologies. In approximately 14% of the examined studies, remotely sensed data were used as input to some kind of environmental models, and very few studies (approximately 3%) were explicitly designed to develop or refine, for example, the development of new approaches to image analysis and classification. A particularly surprising finding was how few studies had employed very high spatial resolution digital image data from spaceborne platforms, such as QuickBird and Ikonos, offering imagery with spatial resolutions of less than 5 m.

Regarding scale aspects, investigations were undertaken at a wide range of scales, ranging from site-based studies of less than 1 km² in extent to regional or national-scale investigations. The spatial extent of about 1000–10000 km², was the most common. A small number of studies (<5%) were undertaken at a range of scales, with the objective of comparing results obtained at different scales. These findings are illustrated by Figure 4a. With respect to types of landcovers examined, around a quarter (26%) of the studies were undertaken in areas where no single ecosystem type predominated. Figure 4b presents the different landcover types examined in the above mentioned 158 research publications that employed remote sensing imagery. The majority of studies examined one ecosystem type in particular, of which forest was the most common, accounting for 37% of the studies. Many ecosystem types, such as coastal or marine, wetland or freshwater, were poorly represented within the sample of publications, each accounting for ≤4%.

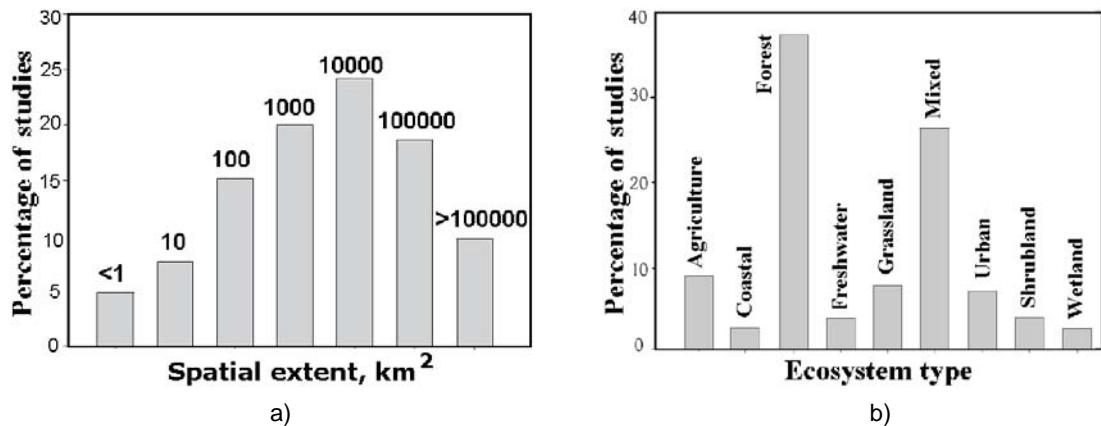


Fig. 4. Predominant spatial extent (a) and ecosystem type (b) in landscape ecology studies using remote sensing [13]

We have to point out, however, that the sample of publications considered above is biased, having focused on a single journal over a restricted time period. Both remote sensing and landscape ecology now fall within the scope of a great many journals. Other journals might have provided a very different set of results. For instance, a great number of papers published in journals with a specific focus on remote sensing (such as Remote Sensing of Environment, International Journal of Remote Sensing, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, and others) tend to be associated with emphasis not on only technical aspects of data processing but particularly on image analysis for deriving environmental and ecological information. Anyway, as suggested in [14], remote sensing specialists might better recognise the importance of ecological issues than landscape ecologists acknowledge to the full the unique capabilities of remote sensing data application to landscape ecology problems. One possible reason is that by its nature and origin remote sensing is an application-oriented discipline and as such responds to urgent research needs as those of ecology-related studies.

Conclusions

Using airborne and satellite data results in improved capabilities for landscape-scale ecosystem studies. Remote sensing technologies contribute to the main objective of landscape ecology to detect spatial and temporal changes, to identify ecological processes, and to quantify the

ways in which ecosystems interact. Based on a research papers review, a conclusion is drawn in [14] that as a discipline, landscape ecology needs to engage more actively with the wide variety of remote sensing data and techniques that are already available. This may be particularly useful when the evaluation of habitat quality over a wide landscape is required. It is suggested that the role of remote sensing in landscape ecology can be strengthened by closer collaboration between researchers in both disciplines, by greater integration of diverse remote sensing data with ecological data, and by increased recognition of the value of remote sensing beyond land-cover mapping and pattern description. Such approaches might improve the analytical and theoretical rigour of landscape ecology, and be applied usefully to issues of outstanding societal interest, such as the impacts of environmental change on biodiversity and ecosystem services.

We identify the following five ways for increasing the contribution of remote sensing to landscape ecology studies:

- expanded interdisciplinary collaboration between landscape ecologists and specialists in remote sensing for better mutual understanding of the inherent properties of remotely sensed data and the possibilities they provide for the needs of the ecological research;
- timely recognition of the new opportunities (higher accuracy, across greater spatial areas, and with greater temporal frequency) provided by advances in remote sensing technologies (platforms, sensors, data types, and analysis methods) for using the increased level of information in addressing more complex scientific questions;
- employing multiple remote sensing data sources, diverse data types and data fusion methods for obtaining more detailed and sophisticated information;
- minimization of the temporal disconnection by overcoming the time lag between the availability of new remote sensing products and their application in ecological research;
- more often integration in landscape ecology studies of field measurements, remotely sensed data, geospatial analytical tools (that go well beyond traditional cartographic products), and simulation modelling.

The intense use of satellite imagery in landscape ecology studies observed in the last decade indicates that in coming years there will be an increase in remotely sensed data incorporation into landscape surveys and analysis. The global view afforded by images obtained from many different remote sensors and at different temporal scales has become an important tool in choosing action strategies regarding the conservation and protection of ecosystems.

References:

1. Morgan, J. L., S. E. Gergel, and N.C. Coops, Aerial Photography: A Rapidly Evolving Tool for Ecological Management, *BioScience*, 60, 1, 2010, 47-59.
2. Sader, S., M. Hoppus, J. Metzler, S. Jin, Perspectives of Maine Forest Cover Change from Landsat Imagery and Forest Inventory Analysis (FIA), *Journal of Forestry*, 103, 6, 2005, 299-303.
3. Nagendra, H., D. Rocchini, High resolution satellite imagery for tropical biodiversity studies: The devil is in the detail, *Biodivers. Conserv.*, 17, 2008, 3431-3442.
4. Brock, W.A., A. Xepapadeas, Spatial Analysis: Development of Descriptive and Normative Methods with Applications to Economic-Ecological Modelling, Proceed. Workshop on Spatial-Dynamic Models of Economic and Eco-Systems, Beijer Institute, FEMM and ICTP, Trieste, Italy, April 2004.
5. Turner, W., S. Spector, N. Gardiner, M. Fladeland, E. Sterling, M. Steininger, Remote sensing for biodiversity science and conservation, *Trends Ecol. Evol.*, 18, 2003, 306-314.
6. Goetz, S. J., D.L. Steinberg, M. G. Betts, R. T. Holmes, P. J. Doran, R. Dubayah and M. Hofton, Lidar remote sensing variables predict breeding habitat of a Neotropical migrant bird, *Ecology*, 91 (6), 2010, 1569–1576, 2010.
7. Mas, J.-F., Y. Gao and J. A. N. Pacheco, Sensitivity of landscape pattern metrics to classification approaches, *Forest Ecology and Management*, 259 (7), 2010, 1215–1224.
8. Baldwin, D. J., B. K Weaver, F. Schnakenburger and A. H Perera, Sensitivity of landscape pattern indices to input data characteristics on real landscapes: Implications for their use in natural disturbances emulation, *Landscape Ecology*, 19 (3), 2004. 255–271.
9. Castilla, G., K. Larkin, J. Linke and G. Hay, The impact of thematic resolution on the patch-mosaic model of natural landscapes. *Landscape Ecology*, 24 (1), 2009, 15–23.
10. Quattrochi, A., M. F. Goodchild, Scale in Remote Sensing and GIS, 1997, 403 p.
11. Aplin, P., Remote sensing: Ecology, *Prog. Phys. Geogr.*, 29, 2005, 104-113.
12. Milne, E., H. Neufeldt, M. Smalligan et al., Methods for the quantification of emissions at the landscape level for developing countries in smallholder contexts, Report No. 9, Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), 2012, 59 p.
13. Zhuang, Y., L. Xingjian, N. Thuminh, H. Qingqing, H. Song, Global remote sensing research trends during 1991–2010: a bibliometric analysis, *Scientometrics*, 96, 2013, 203–219.
14. Newton, A. C., R. A. Hill, C. Echeverría, D. Golicher, J. M. Rey Benayas, L. Cayuela and S. A. Hinsley, Remote sensing and the future of landscape ecology, *Progress in Physical Geography*. 33.(4), 2009, 528–546.

СПЕКТРАЛНА ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ НА ВИДЕОСПЕКТРОМЕТРИЧНИ ПРИБОРИ

Валентин Атанасов, Деница Борисова, Христо Лукарски, Бойко Ценов

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

Ключови думи: видеоспектрометри, спектрална характеристика, алгоритми

Резюме: В работата са систематизирани основни прилагани подходи и получавани резултати при изпълнение на процедури за спектрална характеристика на видеоспектрометрични прибори в лабораторни условия. Описани са главните спектрални характеристационни функции на инструментите от този клас и методите за тяхното определяне. Представени са част от резултатите, получавани в процеса на лабораторна характеристика на видеоспектрометри с висока спектрална и пространствена разделителна способност (хиперспектрални прибори). Въз основа на анализ на получените резултати е синтезиран и предложен примерен алгоритъм за спектрална характеристика на видеоспектрометрични прибори.

SPECTRAL CHARACTERIZATION OF IMAGING SPECTROMETRIC DEVICES

Valentin Atanassov, Denitsa Borisova, Hristo Lukarski, Boyko Tzenov

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

Keywords: imaging spectrometers, spectral characteristics, procedures for spectral characterization

Abstract: In the article are considered and systematized basic approaches and applied procedures for spectral characterization of imaging spectrometer devices. The main spectral characteristics of the instruments and methods for their determination are described. A part of the results obtained in the characterization process of the imaging spectrometers with high spectral and spatial resolution (hyperspectral instruments) are shown. Based on analysis of results is proposed an exemplary algorithm for spectral characterization of imaging spectrometer devices.

1. Въведение

Видеоспектрометрите са прибори за получаване на спектрални изображения в няколко или десетки или стотици (хиперспектрални прибори) спектрални ленти от електромагнитния спектър. Посредством измерването на пристигащото лъчение от всеки пространствен елемент на наблюдаваната повърхност може да бъде направена директна или индиректна идентификация на наблюдаваните обекти от повърхността, използвайки специфичните им молекулярни абсорбционни свойства. Пространствената съставна на получените данни позволява изграждане на карта на повърхността с тяхното количествено разпределение. При хиперспектралните прибори тези данни се отличават с висока спектрална и пространствена разделителна способност [1,2].

2. Основни спектрални характеристационни функции

Спектралната характеристика се използва за верификация на основните спектрални функции на видеоспектрометрични прибори. Като такива се явяват спектрална характеристика на чувствителност, спектрална дисперсна функция, спектрална разделителна способност и др.

2.1 Спектрална характеристика на чувствителност

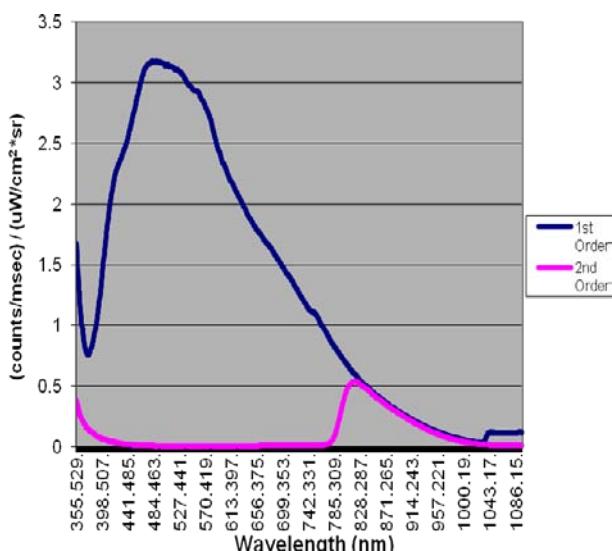
Спектралната характеристика на чувствителност:

$$(1) \quad S(\lambda) = \Delta U / \Delta L(\lambda)$$

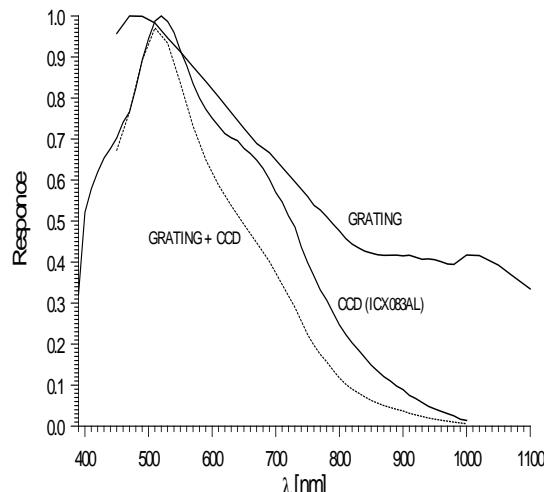
при $\Delta L(\lambda) = \text{const}$,

изразява зависимостта на отговора на прибора като функция от дълчината на вълната λ на входно въздействие с постоянен интензитет $\Delta L(\lambda) = \text{const}$.

Основен подход за определяне на спектралната характеристика на чувствителност $S(\lambda)$ на спектрометрични прибори в лабораторни условия предпоставя директно получаване на характеристиката чрез въздействие на входа на прибора с монохромно лъчение с постоянен интензитет ($\Delta L(\lambda) = \text{const}$) и променлива дълчината на вълната λ за целия спектрален диапазон. Спектралната характеристика на чувствителност на видеоспектрометъра се изразява като зависимост на реакцията на прибора от промяната на дълчината на вълната λ на монохроматично лъчение (фиг.1). За измерване на спектралната характеристика се използва калибриран източник с известна спектрална плътност на лъчистия поток $\Phi(\lambda)$. Измерва се амплитудата на напрежението на изходния сигнал U . Отношението $\Delta U / \Delta L(\lambda)$ дедерминира спектралната характеристика на чувствителност $S(\lambda)$ на прибора [3].



Фиг.1. Спектрална характеристика на хиперспектрален прибор



Фиг. 2. Спектрални характеристики на CCD сензор, дифракционна решетка и резултантна спектрална характеристика на видеоспектрометър

Друг подход за определяне на спектралната характеристика на чувствителност $S(\lambda)$ на спектрометрични прибори, обикновено прилаган при етапите на конструиране на прибора, включва изследване на спектралните характеристики на основните спектрално зависими елементи, влизащи в състава им - CCD сензор и дифракционна решетка. Спектралната характеристика на чувствителност за CCD сензора се изразява като зависимост на генерирания и получен на изхода заряден пакет от промяната на дълчината на вълната λ на монохроматично лъчение. За измерване на спектралната характеристика тук също се използва калибриран източник с известна спектрална плътност на лъчистия поток поток $\Phi(\lambda)$. - монохроматор. Измерва се амплитудата на напрежението на изходния сигнал U_{ij} по отношение на тъмнинния сигнал U_{ij}^c .

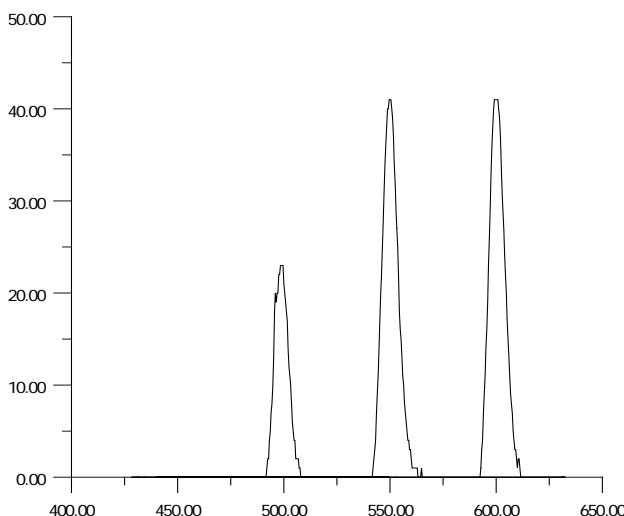
Експериментално определената спектрална характеристика на образец CCD матрица е показана на фиг.2. По същата методика е определена и спектралната характеристика на дифракционна решетка и въз основа на двете характеристики е получена и резултантната спектрална характеристика на оптико-електронен блок на видеоспектрометър [4].

2.2. Спектрална дисперсна функция

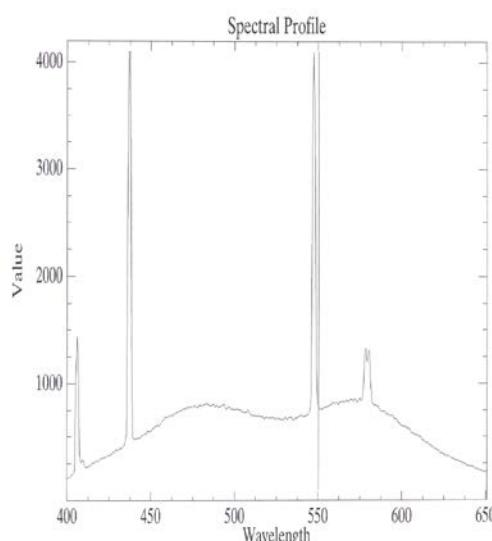
Тази характеристика илюстрира дисперсното разположение на спектралните канали на приборите в целия спектрален диапазон. Тя се използва за точното определяне на централната дължина на вълната λ_{0n} за всеки спектрален канал.

Един от подходите за получаване на спектралната дисперсна функция е въздействие на входа на прибора посредством калибриран монохромен източник (с известни централни дължини на вълната на спектралните ленти. Измерва се амплитудата на напрежението на изходния сигнал U_{ij} по отношение на тъмнинния сигнал U_{ij}^c . Функцията на спектрален отговор за всеки канал, покриваща целия спектрален диапазон, може да бъде получена чрез измерване през определени интервали (фиг. 3) и последваща екстраполация на получените данни.

Нива на квантоване



Фиг. 3. Реакция на видеоспектрометър при входни въздействия с различни централни дължини на вълната λ_0



Фиг. 4. Реакция на видеоспектрометър при входно въздействие осветяване с Hg лампа

Друг подход за получаване на спектралната дисперсна функция предполага въздействие на входа на прибора посредством калибриран източник на излъчване – например при използване на полупроводникови диодни лазери, калибрационни лампи с добре изразени атомни абсорбционни линии в спектъра на излъчването им такава като Hg или PtCrNe лампи. (фиг. 4) или спектрални филтри

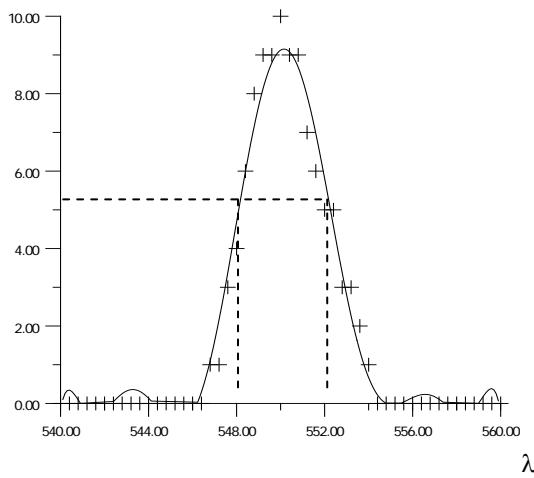
2.3 Спектрална разделителна способност

Следните термини са използвани най-често при описание на спектралната разделителна способност: широчина на спектрален канал $\Delta\lambda$, спектрален дискретизиращ интервал, отнасящ се до отделяне на две съседни спектрални линии и пикселна дисперсия $\Delta\lambda/\text{пиксел}$ [5, 6]. Тези характеристики точно определят спектралната разделителна способност на прибора и могат да бъдат използвани както поотделно, така и в комбинация между тях.

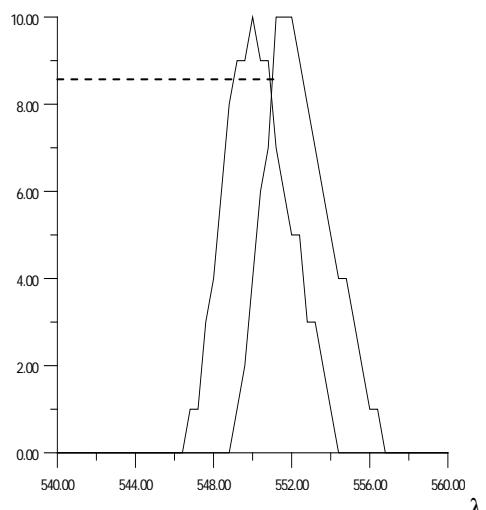
2.3.1 Широчина на спектрален канал

Широчината на спектралния канал може да бъде определена чрез получаването на т. нар. спектрална функция на отговор на прибора. Спектралната функция на отговор описва реакцията на инструмента при входно въздействие – точков източник с монохромно излъчване. В повечето случаи спектралната функция може да бъде апроксимирана с Гаусов модел или полиноминална апроксимация. Спектрална функция на отговор на прибора е измерена, използвайки подход, подобен на описания в [6]. В конкретния случай като източник на входно въздействие с тясна честотна лента е използван монохроматор, чийто светлинен поток има широчина на спектралната лента $\Delta\lambda_{in}$ ($\Delta\lambda_{in} < \Delta\lambda_{ch}$, където $\Delta\lambda_{ch}$ е широчината на спектрален канал) (фиг. 5).

Digital Numbers [DN]



Фиг. 5. Спектрална функция на отговор на видеоспектрометър за канал с централна дължина на вълната $\lambda_{0n} = 550\text{nm}$. (апроксимация с полином)



Фиг. 6. Спектрални функции на отговор на видеоспектрометър за канали с централна дължина на вълните $\lambda_{01}=550\text{nm}, \lambda_{02}=554\text{nm}$

2.3.2 Спектрален дискретизиращ интервал

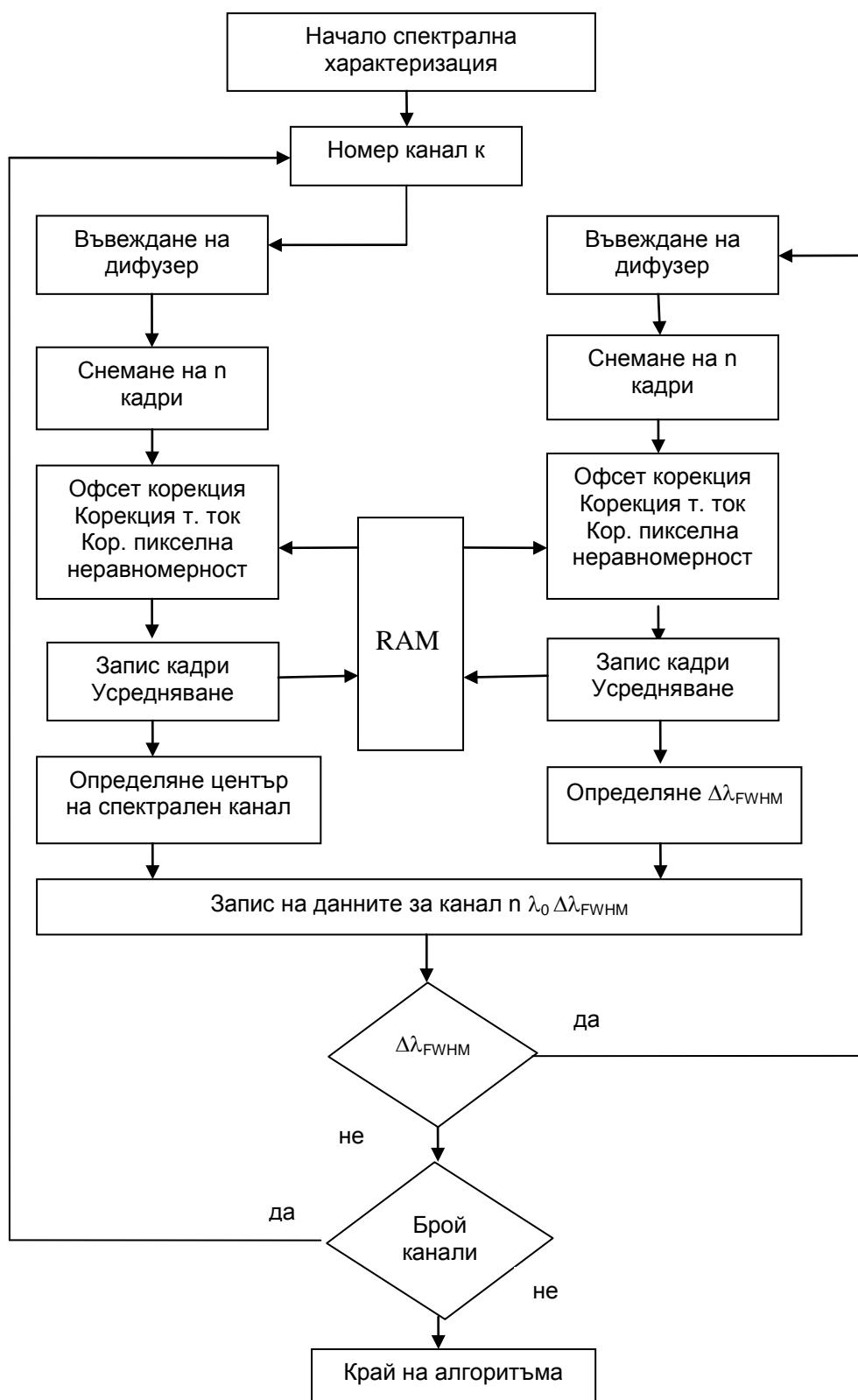
Спектралният дискретизиращ интервал се определя от разстоянието (в единици дължина на вълната) $\Delta\lambda_R$ между две съседни спектрални линии, разделени от прибора. Най-широко разпространен критерий за определяне на спектралния дискретизиращ интервал е критерия на Релей [5], според който две съседни спектрални линии с интензитет $I_{max,1} \neq I_{max,2}$ могат да бъдат разделени, ако намаляването на интензитета на тези линии е по-голямо от 19% ($\Delta I_{decrease} \geq 19\%$). Фиг. 6 показва измерен спектрален дискретизиращ интервал на прибора, съгласно критерия на Релей, $\Delta\lambda_R = 2\text{nm}$ [5].

2.3.3. Пикселна дисперсия

Пикселната дисперсия и спектралната разделителна способност са свързани еднозначно посредством функционалните характеристики на един спектрален прибор. При измерената широчина на спектрален канал $\Delta\lambda_{FWHM} = 4\text{nm}$ (фиг.5) покриваща 10 пикела на матрицата, пикселната дисперсия $\Delta\lambda/\text{pixel} = \Delta\lambda_{FWHM}/10 = 4/10 = 0.4\text{nm}$ [5].

3. Алгоритъм за спектрална характеризация в лабораторни условия

Основните характеризационни процедури при спектрална характеризация на видеоспектрометрични прибори и последователността на извършването им, съгласно предложения алгоритъм, са показани на фиг. 7.



Фиг. 7. Алгоритъм за спектрална характеризация на видеоспектрометър в лабораторни условия

4. Изводи

1. Необходимо е да отбележим, че независимо от многото изброени характеризационни процедури, детерминиращи спектралните характеристики на видеоспектрометрични системи, то точното им описание е валидно само за много добре настроени системи.

2. Спектралната характеризация на видеоспектрометрите, като една от най-важните части от цялостния характеризационен процес на тези прибори, до голяма степен определя и възможностите за използване и приложение на получаваните данни от такива системи.

Литература:

1. Slater, Ph., N. Remote Sensing. Optics and Optical Systems. Addison-Wesley Publishing Company. 1980.
2. Atanassov, V.I., B. B. Peev, N.N. Vassilev, V.K. Vassilev Hyperspectral Imaging Spectrometer as a Power Tool for Ecological Monitoring. Journal of Balkan Ecology, vol.4, № 2, 2001. pp.168-170.
3. Hyperspec VNIR. Calibration Summary. Headwall Photonics. May 2013.
4. Atanassov, V., B. Peev, N. Vassilev, V. Vassilev, V. S. Boycheva, A Description of an Imaging Spectrometer Model. Seventh International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, 20 – 22 May 2002, Miami, Florida.
5. MMS Spectral Sensors. Carl Zeiss. 1997.
6. Атанасов, В., Б Пеев, Н. Василев, В. Василев. Спектрална и пространствена разделителна способност на модел на видеоспектрометър. Седма национална конференция "Съвременни проблеми на слънчево-земните взаимодействия", София, ноември 2000, Сб. доклади, стр. 151-154.

РАДИОМЕТРИЧНА ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ НА ВИДЕОСПЕКТРОМЕТРИ

Валентин Атанасов, Деница Борисова, Георги Желев, Христо Лукарски

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

Ключови думи: видеоспектрометри, радиометрична характеристика, алгоритми

Резюме: В работата са описани основни характеристики на видеоспектрометрични прибори влияещи върху радиометричната точност на инструментите, посочени са методите за тяхното определяне и са представени са част от резултатите, получавани в процеса на лабораторна характеристика на видеоспектрометри с висока спектрална и пространствена разделителна способност. Резултатите са обобщени в предложен примерен алгоритъм за радиометрична характеристика на видеоспектрометрични прибори.

RADIOMETRIC CHARACTERIZATION OF IMAGING SPECTROMETERS

Valentin Atanassov, Denitsa Borisova, Georgi Jelev, Hristo Lukarski

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

Keywords: imaging spectrometers, radiometric characteristics, procedures for radiometric characterization

Abstract: In this work are described basic radiometric characteristics of imaging spectrometers defining radiometric accuracy of the instruments and are referred the methods for their determination. A part of the results obtained in the process of laboratory imaging spectrometers characterization are presented. The results are summarized in a proposed algorithm for radiometric characterization of imaging spectrometer devices.

1. Въведение

Видеоспектрометрите се установиха като основен инструмент за изследване на повърхността на Земята. Високата спектрална и пространствена дименсионалност на тези прибори прави възможно отделяне на тесни спектрални линии или част от области от електромагнитния спектър, присъстващи в повечето обекти от изследваната повърхност. Такава мощна възможност, която позволява един задълбочен анализ на физическите, биологични и биофизични процеси, а също така и на динамиката на тези процеси, е особено важна за приложението на дистанционните изследвания [1,2].

Едни от най-важните характеристики с които се описват подобни прибори са характеристиките, свързани с определяне на радиометричните му показатели. Без подходящи приети методи за отнасяне на измерените фотони към стойностите на радиацията на входа на прибора снетите данни не биха могли да бъдат използвани от научната и управленическата общност. Методите, отнасящи се до тези количествени съотношения включват калибрационния процес като връзка между тези величини. Терминът калибриране е използван често като един по общ термин за означаване на комплексните процеси за характеристизация, калибриране и потвърждаване (validation) на основните технически характеристики на прибора. Характеризационният процес предполага установяване на отклика на инструмента по отношение на пристигащата на входа на сензора радиация [1,2,3]. Необходимо е да се отбележи, че този процес не може да бъде използван за отстраняване или компенсиране на евентуални не добри технически характеристики на системата, детерминирани от етапите на конструиране. Крайният резултат от този процес е получаване на един относително независим от сензора сигнал, който може да бъде използван за бъдещи анализи в спектроскопията.

2. Основни характеристики и параметри, определящи радиометричната точност на видеоспектрометри

Процедурите за радиометрична характеризация, извършвани в лабораторни условия по време на подготовката на приборите за привеждането им в работен режим позволяват детерминирането на основни характеристики на видеоспектрометрите като чувствителност и линейност (нелинейност) на характеристиката на преобразуване светлина-сигнал, неравномерност на отговорите на пикселите, и др.

2.1 Линейност на характеристиката на преобразуване светлина-сигнал

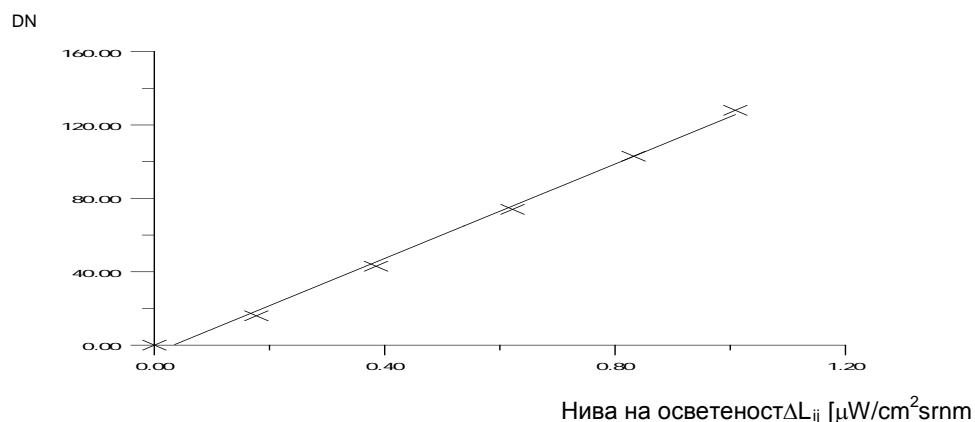
Характеристиката на преобразуване светлина-сигнал:

$$(1) \quad S_{ij} (\Delta\lambda) = \Delta U_{ij} / \Delta L_{ij} (\Delta\lambda)$$

при $\Delta\lambda = \text{const}$,

определя зависимостта на отговора на прибора като функция от интензитета на попадащото на входа на прибора лъчение $\Delta L_{ij} (\Delta\lambda)$, при $\Delta\lambda = \text{const}$. Съществуват няколко метода за определяне на линейността на характеристиката на преобразуване светлина-сигнал на видеоспектрометри. Един от тях е този, при който се използва т. нар. инверсен квадратичен закон, тъй като пристигащото лъчение се изменя обратно пропорционално на корен квадратен от разстоянието.

Друг по-мощен метод предполага тази радиометрична характеризация да се осъществи чрез въвеждане в зрителния ъгъл на инструмента на сигнал от калибриран радиометричен източник. При определяне на линейността на отговора на прибора в лабораторни условия като калибриран входен източник се използва фотометрична сфера. Чувствителността $S_{ij} = U_{ij} / L_{ij}$, като отношение на изходния сигнал от сензора за определено входно въздействие се определя чрез измерване на тъмнинния ток и корекция отместване



Фиг. 1. Характеристика на преобразуване светлина-сигнал на видеоспектрометър за различни нива на осветяване и време на интегриране $T_i = 80\text{ms} = \text{const}$, грешка при линеаризацията 0.31%

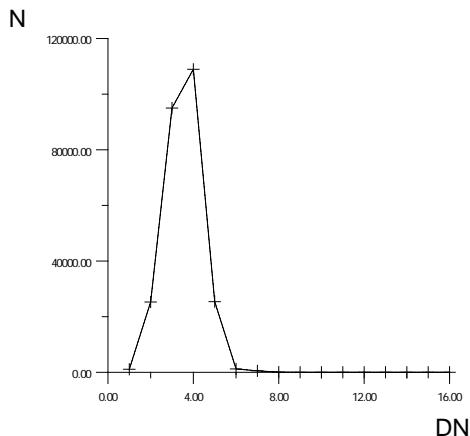
на изходните данни U_{ij} . Резултантното отношение между L и U включва неравномерността на отклика на пикселите на CCD сензора. Процесът на измерване се извършва за няколко периода, включващи измерване на тъмнинния ток на CCD детектора, пет нива на осветеност на фотометричната сфера (фиг. 1), осигуряващи контролни данни $U_{c,ij}$, и се снемат данните за отклика на сензора. По този начин шестте контролни стойности (една за тъмнинно ниво и 5 светлинни нива) дават възможност за проверка на чувствителността в целия динамичен диапазон (проверка на линейността посредством метода на суперпозиция чрез различни нива на осветеност).

2.2. Характеризация на тъмнинния ток

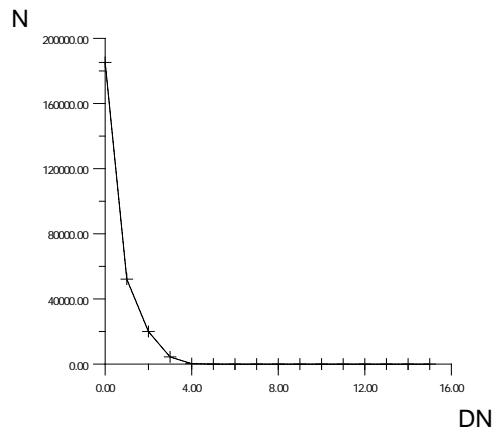
Процедурите по характеризация на тъмнинния ток започват по време на конструиране, като включват набелязване и изпълнение на методи за лабораторна характеризация, а също и предвиждане на методи за характеризация в експлоатационния период на инструмента.

Тъмнинният ток за всеки пиксел $U_{c,ij}$ е относително постоянен при определена температура и режим на работа на прибора, където се проявява като отместване на нивото на

сигнала (оффсет) за този пиксел. От друга страна, тъмниният ток варира пространствено по площта на сензора. Посредством снемане на поредица от изображения



Фиг. 2. Хистограма на разпределение на нива на тъмнинния ток за режим на работа на видео-спектрометър с време на интегриране $t_i = 80\text{ms}$



Фиг. 3. Хистограма на разпределение на нива на тъмнинния ток на компонентата със случаен характер, получена след корекция на тъмнинния ток

при липса на осветление (на тъмно) се получава средна стойност на тъмниния ток за всеки пиксел за дадена температура (фиг.2). Изваждайки това опорно изображение на тъмниния ток от последващо снето изображение на реални обекти се елиминира до голяма степен влиянието на този ток. Това е т. нар. корекция на тъмнинния ток.

За съжаление това негово влияние не може да бъде изцяло отстранено.

Освен относително постоянната компонента U_{ij}^{cc} тъмнинният ток U_{ij}^c има и една втора, случайно варираща компонента ΔU_{ij}^c ,

$$(2) \quad U_{ij}^c = U_{ij}^{cc} + \Delta U_{ij}^c,$$

която може да се апроксимира като квадратен корен от колекционирания в пикела заряд [7], определящ тъмнинния ток (фиг. 3).

2.3. Динамичен диапазон

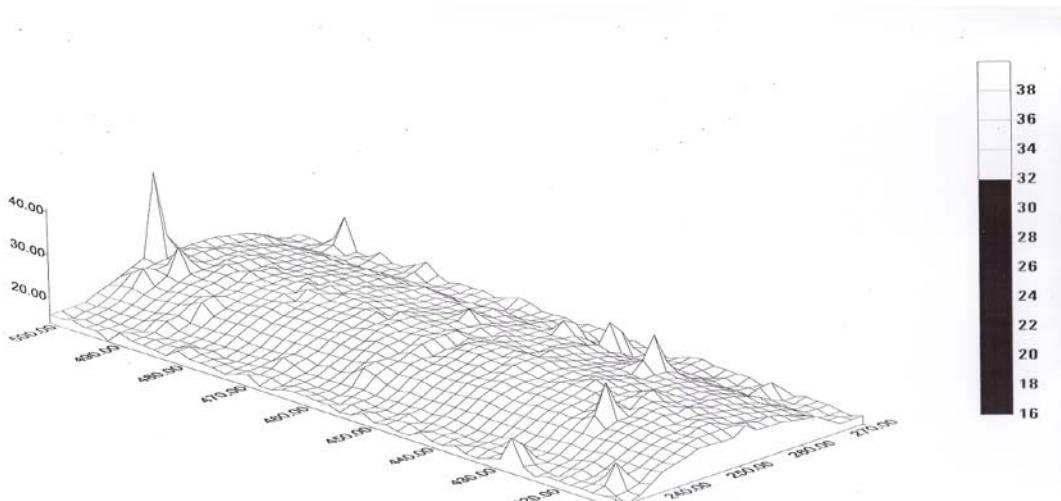
Съществуват много определения за динамичния диапазон в дистанционните изследвания. Според едно от тях [5] динамичният диапазон на прибора може да се дефинира като отношение на стойността сигнала на насищане U^s и стойността на шума U^n и отговаря на отношението сигнал/шум (SNR). Обикновено нивото на шума U^n се детерминира от тъмнинния ток на сензора U^c . Следователно:

$$(3) \quad SNR = U^s / U^n$$

На практика динамичният диапазон се определя не само от стойностите на горните две величини, но се ограничава и от броя на нивата на квантоване на изходния сигнал на прибора [6].

2.4 Неравномерност на отговорите на пикселите

Резултантното отношение между U_{ij} и L_{ij} от S_{ij} ($\Delta\lambda$)= $\Delta U_{ij}/\Delta L_{ij}$ ($\Delta\lambda$), при $\Delta\lambda=\text{const}$, ΔL_{ij} ($\Delta\lambda$)= const (1) за всички пикели изразява т. нар. неравномерност на отговорите на пикселите PRNU (photo response nonuniformity) на CCD матрицата (фиг.4). Следователно, след извършване на корекция на тъмнинния ток и оффсет корекция, сигналът трябва да бъде коригиран от неравномерности на отговорите на пикселите, особено от тези, придвижвани от измененията за времето на функциониране на конкретната реализация на прибора.



Фиг. 4. 3-D диаграма на разпределение по нива на пикселна нееднородност

3. Уравнение на калибриране

Измерените стойности на лъчението, попадащо на входа на прибора, могат да бъдат описани като функция $f1$:

$$(4) \quad DN = f1[L_1, L_2, G_1, G_2, ET, DF],$$

където: DN – измерена стойност от сензора (в цифрови единици);

L_1 – полезна стойност на лъчението;

L_2 – паразитна стойност на лъчение;

G_1 – коефициент на предаване на системата (отговор на системата, относящ се до полезния сигнал);

G_2 – коефициент на предаване на системата (отговор на системата, относящ се до паразитния сигнал);

ET – време за експозиция на CCD сензора;

DF – измерена стойност на тъмнинния ток (въведен затвор на сензора).

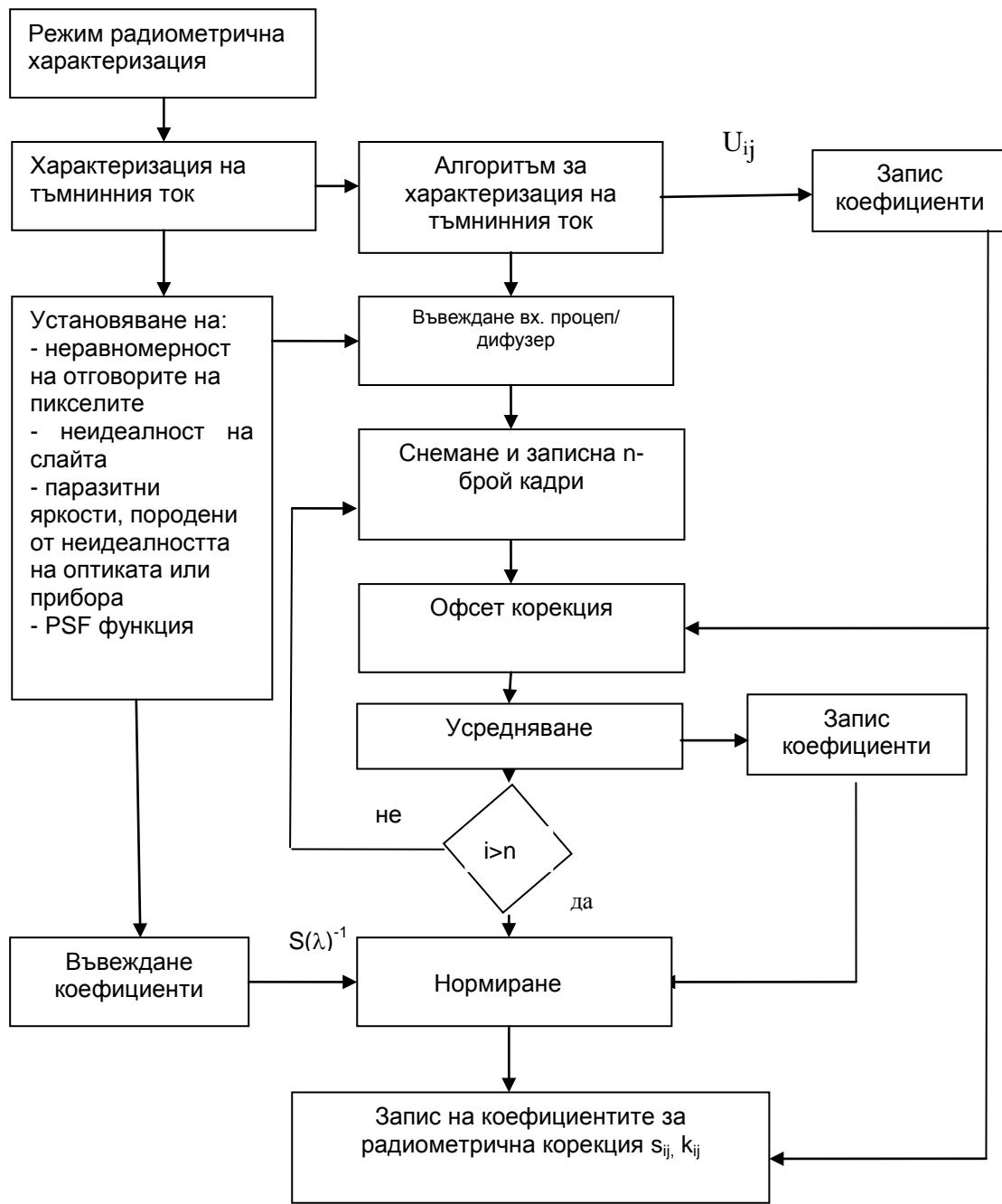
Това уравнение е валидно за всеки в пространствено/спектрално направление пиксел. Също така калибрационният процес поддържа корекции на неравномерностите по отношение на:

- пикселна неравномерност на отговорите
- неидеалност на слайта
- паразитни яркости, породени от неидеалността на оптиката или прибора

С помошта на калибрационните константи сировите измерени данни могат да бъдат преобразувани в радиометрични единици посредством преобразуване на уравнение (4) във вида:

$$(5) \quad L_1 = f2 [DN, DF, ET, G_1, G_2]$$

Горното уравнение е валидно за всеки член на реалната матрица от $m^x n$ елемента [4].



Фиг. 5. Алгоритъм за радиометрична характеристизация на видеоспектрометри в лабораторни условия

4. Алгоритъм за радиометрична характеристизация

Основните процедури за радиометрична характеристизация на видеоспектрометрични прибори, разгледани по горе, могат да бъдат описани чрез показания на фиг. 5 алгоритъм. Последователността на извършването им, съгласно него, може да бъде систематизирана по следния начин:

- въвеждане на затвора;
- извършване на характеризация на тъмнинния ток, получаване на усреднени коефициенти за корекция на тъмнинния ток за всеки индивидуален пиксел;
- въвеждане на дифузер;
- извършване на радиометрични характеризационни измервания, като n брой кадри се снемат и усредняват със съответните корекции с коефициентите за тъмнинния ток за всеки индивидуален пиксел;
- определяне на коефициентите на неравномерност на отговорите на пикселите s_{ij} ;

- изчисляване на коефициентите за нормализиране на отговорите на пикселите a_{ij} ;
- запис и съхранение на получените коефициенти.

5. Изводи

1. Валидирането на радиометричните характеристики на видеоспектрометрични прибори може да бъде осъществено пълноценно в лабораторни условия чрез изпълнение на подходящи процедури за характеризация, описани с предложения в работата алгоритъм.

2. Радиометричната характеризация на видеоспектрометрични прибори, проведена в лабораторни условия, предоставя възможности за планиране на методи и процедури за изпълнение в работен режим на приборите. Прилагането на тези процедури предполага снемане на допълнителен обем данни, които да бъдат използвани в предварителната обработка и по този начин да бъде повишена точността и достоверността на получаваните данни.

Литература:

1. Slater, Ph., N. Remote Sensing. Optics and Optical Systems. Addison-Wesley Publishing Company. 1980.
2. Atanassov, V.I., B. B. Peev, N.N. Vassilev, V.K. Vassilev Hyperspectral Imaging Spectrometer as a Power Tool for Ecological Monitoring. Journal of Balkan Ecology, vol.4, № 2, 2001. pp.168-170.
3. Атанасов, В., Б Пеев, Н. Василев, В. Василев. Спектрална и пространствена разделителна способност на модел на видеоспектрометър. Седма национална конференция "Съвременни проблеми на слънчево-земните взаимодействия", София, ноември 2000, Сб. доклади, стр. 151-154.
4. Hyperspec VNIR. Calibratio Summary. Headwall Photonics. May 2013.

СЕЗОННО ИЗМЕНЕНИЕ НА ОБЛАЧНАТА ПОКРИВКА НАД БЪЛГАРИЯ ЗА ПЕРИОДА 2004-2015 Г. ПО ДАННИ ОТ MODIS

Мария Димитрова

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

Резюме: Определено и анализирано е разпределението на броя дни с различен процент облачност по месеци за периода юни 2004 - септември 2015 година по отделно за данните от двата сателита – Terra и Aqua от програмата EOS.

SEASONAL DISTRIBUTION OF CLOUD COVERAGE OVER BULGARIA DURING A PERIOD OF 2004-2015 USING MODIS DATA

Maria Dimitrova

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

Abstract: The numbers of days with different percentage of cloud coverage from june 2004 to september 2015 is defined and analyzed separately for the two satellites - Terra and Aqua from the EOS program.

В работата е представено сезонното разпределението на дни с различен процент облачност над територията на България за периода 2004 – 2015 година.

За определяне на процентното облачно покритие е използвана методиката, описана в [1].

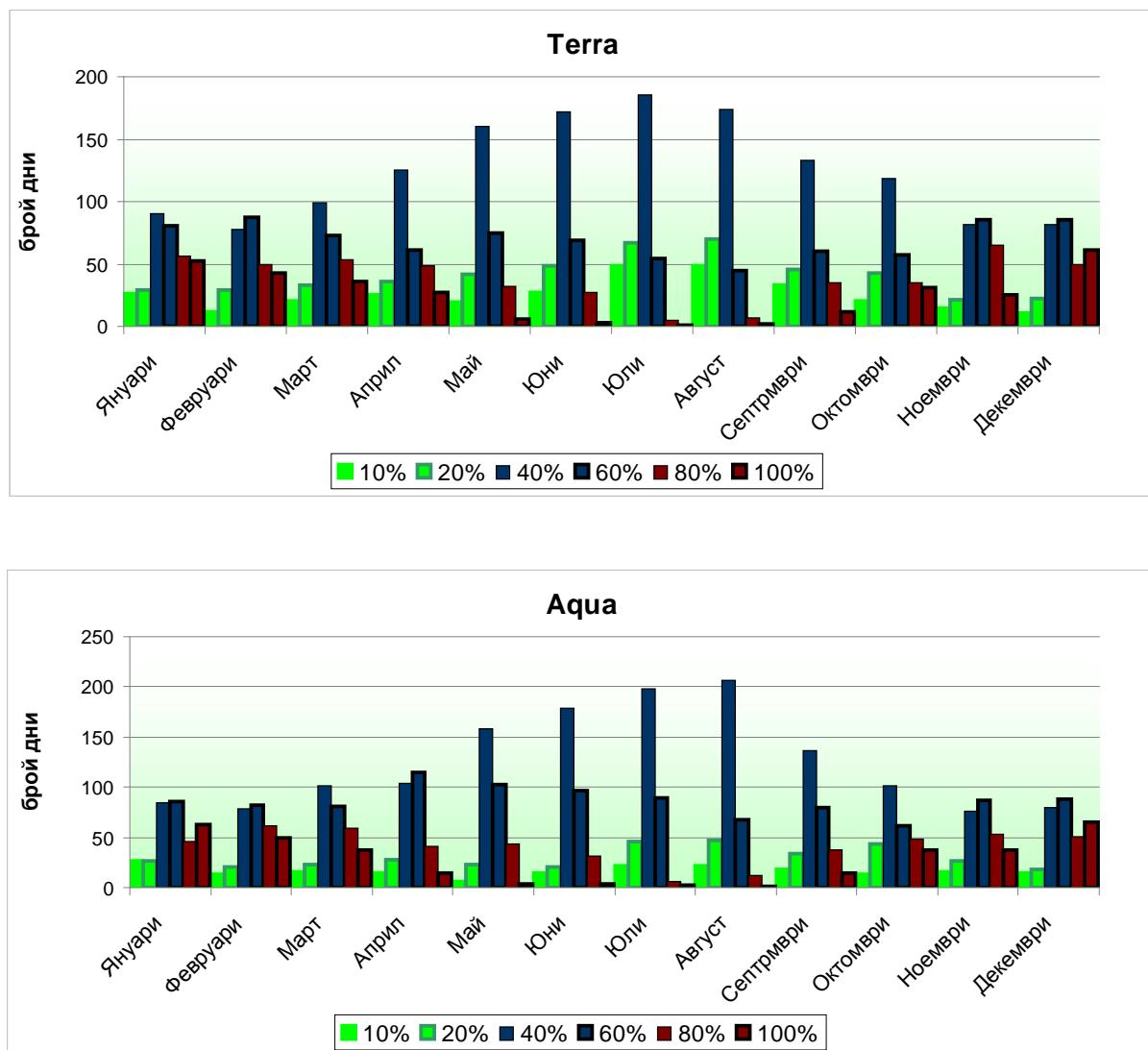
Процентното облачно покритие за всеки един ден е взето от специализираната база данни [1, 2].

Определено е разпределението на броя дни с различен процент облачност по месеци за периода юни 2004 - септември 2015 година по отделно за данните от двата сателита – Terra и Aqua от програмата EOS. Получените резултати са представени на фигура 1.

Разпределението е получено чрез сумиране на всички дни със съответното облачно покритие от всяка една година. Изключени са дните, за които няма данни.

В таблица 1 е показан броят дни със съответното процентно облачно покритие по месеци за всеки един от двата сателита

По този начин за всеки месец от годината има данни за около 300 дни.



Фиг. 1. Разпределение на облакната покривка за различните месеци за периода юни 2004 – септември 2015 г.

Таблица 1. Брой дни с различен процент облачност по месеци от годината

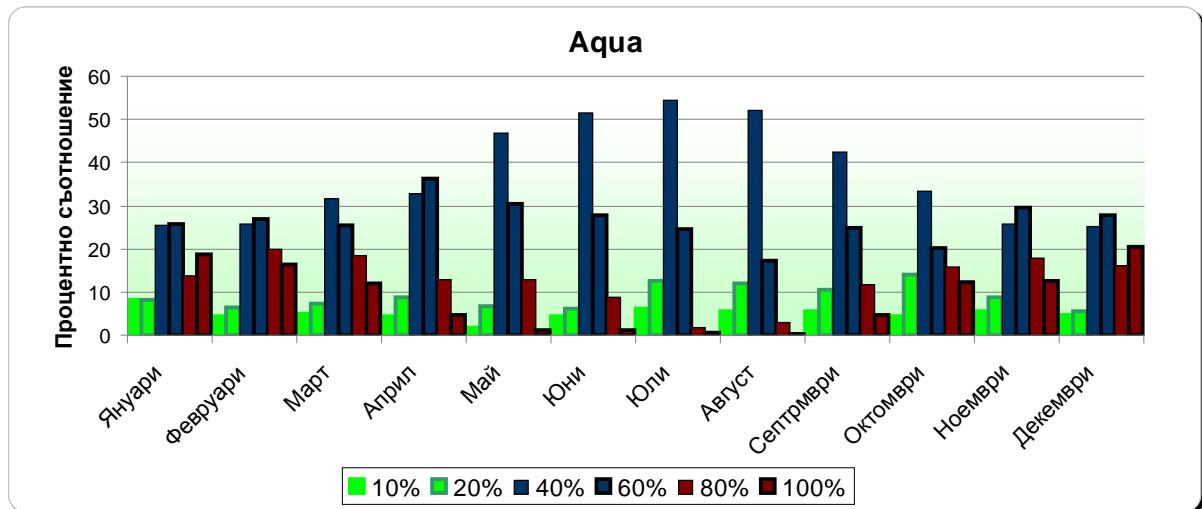
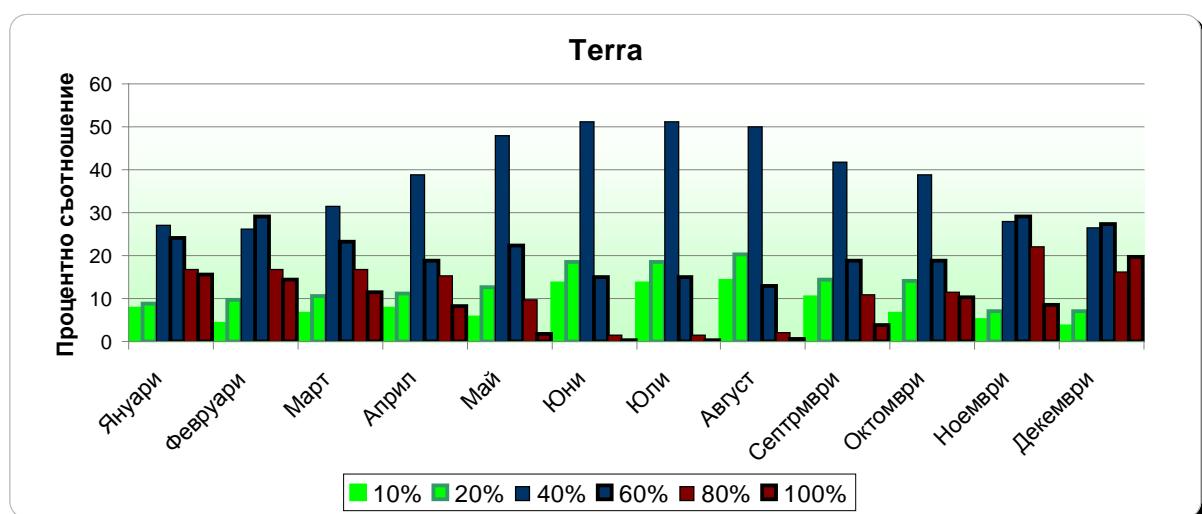
Terra												
месец	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
10%	26	12	20	25	19	27	49	49	33	20	15	11
20%	29	29	33	36	42	49	67	70	46	43	21	22
40%	90	78	99	125	160	172	185	174	133	118	82	82
60%	81	87	73	61	75	69	54	45	60	57	85	85
80%	56	50	53	49	32	27	5	7	35	35	65	50
100%	52	43	36	27	6	3	1	2	12	31	25	61
Общо дни	334	299	314	323	334	348	361	347	319	304	293	311

Aqua

месец	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
10%	27	13	16	14	6	15	22	22	18	13	16	15
20%	27	20	23	28	23	21	46	47	34	43	26	18
40%	85	79	101	104	158	179	198	206	136	101	76	80
60%	86	82	81	115	103	97	89	68	80	61	87	88
80%	46	61	59	41	44	31	6	12	37	48	53	51
100%	63	50	38	15	4	4	2	1	15	37	37	65
Общо дни	334	305	319	317	338	348	363	356	320	303	295	318

Както се вижда от таблицата, общият брой дни се различава както за различните месеци, така и за един и същи месец за двата сателита.

За по-добро представяне и възможност за сравнение на резултатите, на фигура 2 е показано разпределението на дните с различен процент облачност по месеци в процент от общия брой изследвани дни.



Фиг. 2. Разпределение на облачната покривка за различните месеци за периода юни 2004 – септември 2015 г., представено в проценти

Както се вижда от фигураните, наблюдава се очаквания сезонен ход на облачността, а именно – повишаване на броя дни с по-малка облачност през месеците Май, Юни, Юли и Август. Облачността е най-плътна през месеците Ноември, Декември и Февруари.

Наблюдава се и подчертано по-ниска облачност в асовете преди обяд спрямо тези следобед [1].

Във всеки един сезон преобладава облачност между 20 и 40%, като през летните месеци такава облачност има в над 50% от дните.

Броят дни с облачност до 20% не надвишава 30% дори и в летните месеци, докато през зимните той спада под 20%.

Получените резултати показват, че сателитните данни са най-подходящи за изследване на по-глобални явления над територията на България, които се видими и при сравнително висок процент облачна покривка.

Сателитните данни могат да се използват и за изследване на бавно променящи се явления, за които е достатъчно да се намерят няколко ясни дни в месеца.

Литература:

1. Димитрова, М., Р. Недков, Облачна покривка над България за периода 2004 - 2014 година по данни от MODIS, Десета научна конференция с международно участие SES 2014
2. Димитрова, М., Б. Велчева, Организация на специализирана web-база данни със спътникови изображения за екомониторинг на България, Десета научна конференция с международно участие SES 2014

ФУНКЦИИ НА ИНФОРМАЦИОННА СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА УМНА МРЕЖА SMART GRID

Мила Илиева-Обретенова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ - София
e-mail: milailieva@abv.bg

Ключови думи: SmartGrid, функционални области, управление на услуги, управление на мрежа, управление на мрежов елемент

Резюме: Бурното навлизане на възобновяими енергийни източници (ВЕИ – соларни панели и ветрогенератори) в енергийната система води до ситуации, при които предлагането превишава търсения. Затова е необходима система, която да управлява тези процеси. Умната мрежа SmartGrid представлява платформа, надграждаща мрежата за Електроснабдяване. Тя се представя със своя мрежа и услуги, които също трябва да се управляват. Целта на статията е да представи втория етап от моделирането на управление на SmartGrid, който посреща разнородни изисквания към управлението на услуги и мрежа и е ориентиран към функционалните области, покриващи жизнения цикъл на услугата Електроснабдяване. Използват се функционални модели от съществуващи мрежи, които се адаптират към електроснабдяването. Резултатите се илюстрират с три функционални области за управление на услуги: Таксуване, Изкупуване и Технически характеристики. Аналогично се синтезират функции за управление на мрежа и на мрежов елемент.

INFORMATION SYSTEM FUNCTIONS FOR SMART GRID MANAGEMENT

Mila Ilieva-Obretenova

Mining and Geology University "St. Ivan Rilski" – Sofia
e-mail: milailieva@abv.bg

Keywords: Smart Grid, functional areas, service management, network management, network element management

Abstract: The violent penetration of renewables in Power Supply Network leads to situations, in which the offer exceeds the demand. So it is necessary to build a system for process management. SmartGrid is a platform over the Power Supply Network. It is represented with its network and services, which also have to be managed. The paper aims to show the second stage of SmartGrid management modeling. It meets heterogeneous requirements to service and network management and is oriented to functional areas, covering the life cycle of Power Supply Management. Functional models for recent networks are used – they are adapted to power supply. The results are illustrated with three functional areas for service management: Accounting, Buying up and Performance. The synthesis of network management functions and network element management functions are analogous.

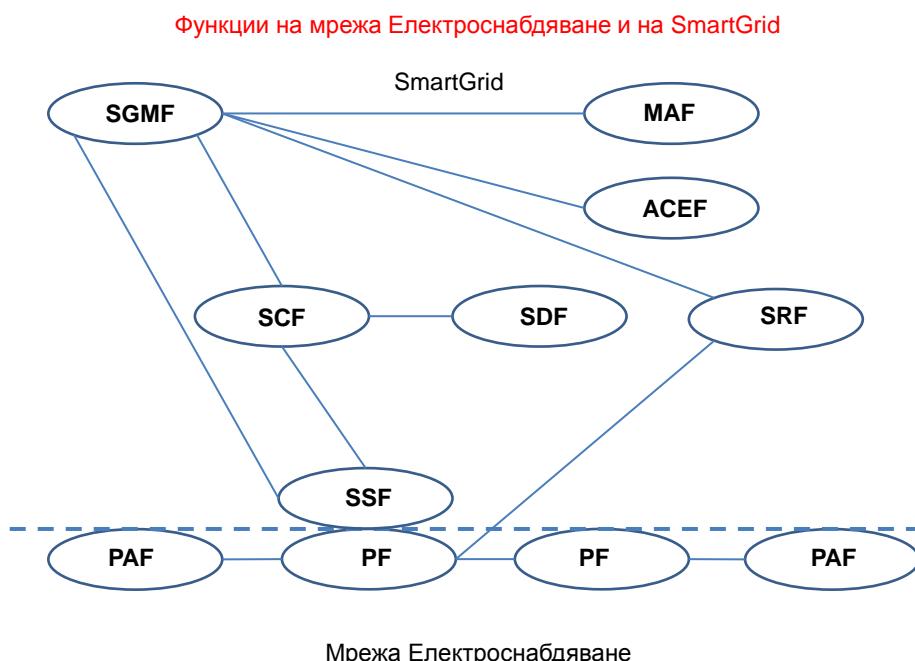
Въведение

Бурното навлизане на възобновяими енергийни източници (ВЕИ – предимно соларни панели и ветрогенератори) в енергийната система води до ситуации, при които предлагането превишава търсения. Това налага изключване на ВЕИ от енергийната система, оф-лайн акумулиране на енергия и предаването й на разстояние в подходящ момент. Затова е необходима система, която да управлява тези процеси. Умната мрежа SmartGrid представлява платформа, надграждаща мрежата за Електроснабдяване. Тя се представя със своя мрежа и услуги, които също трябва да се управляват. Целта на статията е да покаже втория етап от моделирането на управление на SmartGrid, който посреща разнородни изисквания към управлението на услуги и мрежа и е ориентиран към функционалните области, покриващи

жизнения цикъл на услугата Електроснабдяване. Използват се функционални модели за управление на съществуващи мрежи, които се адаптират към електроснабдяването. Резултатите се илюстрират с три функционални области за управление на услуги: Таксуване, Изкупуване и Технически характеристики. Аналогично се синтезират и функции за управление на мрежа и за управление на мрежов елемент. недостатък е невъзможността да се измерва непрекъснато поради времеви ограничения свързани със самия метод на измерване.

Теория на метода

Моделът на SmartGrid може да се взаимства от съществуващи мрежи за управление [6]. На **фигура 1** е представен адаптиран модел с функции на мрежа Електроснабдяване и на SmartGrid.



Фиг. 1. Функции на мрежа Електроснабдяване и на SmartGrid

Функциите на мрежа Електроснабдяване са следните:

PAF – Power Agent Function – играе ролята на абонат;
PF – Power Function – играе ролята на електроцентrala.

Функциите на SmartGrid са следните:

SSF – Service Switching Function – Функция Комутация, поставя се преимуществено на ВЕИ;
SRF – Specialized Resource Function – Функция Специализирани ресурси, напр. преобразувател постоянно напрежение – променливо напрежение или синхронизация на ветрогенератори;
SCF – Service Control Function – Функция Контрол на услугата Електроснабдяване;
SDF – Service Data Function – Функция Данни за отделните централи;
SGMF – SmartGrid Management Function – Функция Управление на SmartGrid;
MAF – Management Agent Function – Функция Агент на управлението;
ACEF – Application Creation Environment Function – Функция Среда за създаване на приложения.

Управлението на услугата Електроснабдяване също може да се взаимства от управлението на други мрежи [4] според жизнения цикъл на услугата. На **фигура 2** е показан адаптиран модел на функционалните области за управление според жизнения цикъл на услугата Електроснабдяване. Тук е добавена и функционална област Изкупуване, защото Power Function може да се разположи при абоната (фотоволтаици по покриви, фасади и дворове) и той да продава енергия.

Функционални области за управление според жизнения цикъл на услугата



Фиг. 2. Функционални области за управление според жизнения цикъл на услуга Електроснабдяване

На базата на изискванията на участниците в управлението на услугата Електроснабдяване [1], [2] могат да се дефинират функции за управление на услуги и мрежа в SmartGrid, като се прилага унифициран език за моделиране UML[3]. Използват се диаграми на поведение, писващи работата на системата. Функциите, предоставени на действащите лица, се представят като случаи на използване.

Резултати

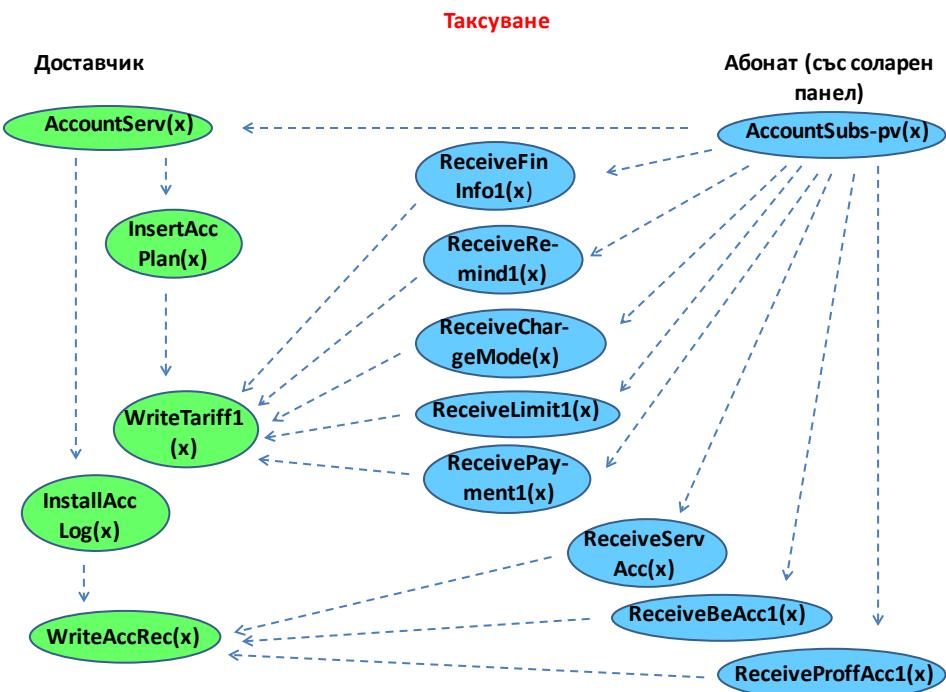
За всяка функционална област от **фигура 2** се синтезират функции за управление на услуги, мрежа и мрежов елемент на SmartGrid.

1. Функции за управление на услуги

Функциите за управление на услуги се илюстрират чрез функции за област Таксуване, Изкупуване и Технически характеристики. Функциите по Проектиране и Планиране могат да се извършват чрез инструмента на Google „Соларен покрив“ [5], който показва колко може да се спести от фотонен генератор на покрива. Потребителят трябва да въведе: адрес и месечна сметка за ток и получава анализ на покрива и стойност на спестената енергия в kW. Системата препоръчва размер на соларната система, тип на модулите, тип на масива, прогнозира загубите, изчислява наклона и азимута на покрива.

1.1. Функции за Таксуване на услуга

В Таксуване на услуга участват пряко Доставчикът, Абонатът със соларен панел и Абонатът без соларен панел. Доставчикът таксува услугата, а Абонатите трябва да извършват плащане. На **фигура 3** е показана UML диаграма на случаи на използване за област Таксуване на услуга.



Фиг. 3. UML диаграма на случаи на използване за област Таксуване на услуга

Функциите, предоставени на Доставчика, са:

Функцията **AccountServ(x)** служи за таксуване на услуга.

Функцията **InstallAccLog(x)** служи за инсталиране на Журнал Таксуване.

Функцията **WriteAccRec(x)** служи за записване на събития по таксуването в Журнала.

Функцията **InsertAccPlan(x)** служи за въвеждане на План за таксуване.

Функцията **WriteTariff1(x)** служи за записване на тарифата в плана за таксуване.

Функциите, предоставени на Абоната със соларни панели, са следните:

Функцията **AccountSubs-pv(x)** служи за таксуване на Абонат с фотоволтаик.

Функцията **ReceiveFinInfo1(x)** служи за получаване на Финансова информация за таксуване от Доставчика.

Функцията **ReceiveRemind1(x)** служи за получаване на Напомняне по таксуване.

Функцията **ReceiveChargeMode(x)** служи за осведомяване за Режим на таксуване.

Функцията **ReceiveLimit1(x)** служи за осведомяване за Лимити по таксуване.

Функцията **ReceivePayment1(x)** служи за осведомяване за Плащане по таксуване.

Функцията **ReceiveServAcc(x)** служи за получаване на Сметка за услуга и за изкупуване.

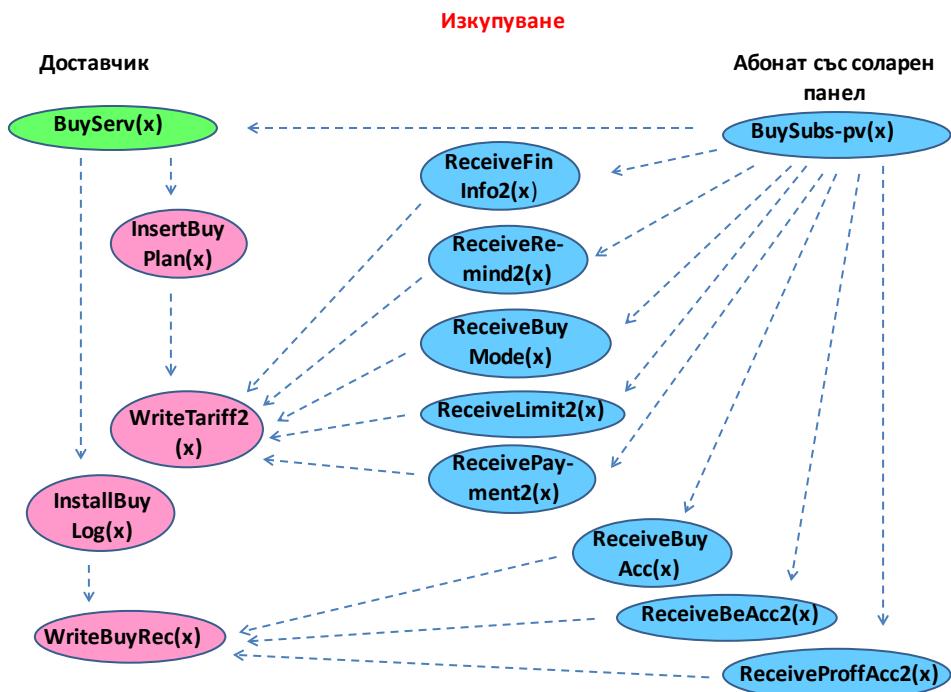
Функцията **ReceiveBeAcc1(x)** служи за получаване на Сметка за пренос при получаване на услугата.

Функцията **ReceiveProffAcc1(x)** служи за получаване на Сметка за поддържане на електронен профил на Абоната.

Функцията за таксуване на Абонат без фотоволтаик е **AccountSubs(x)** и тя съдържа същите елементи.

1.2. Функции за Изкупуване на услуга

В изкупуването на соларна енергия участват Доставчикът и Абонатът със соларен панел. Доставчикът изкупува енергията, а Абонатът получава плащане. На **фигура 4** е показвана UML диаграма на случаи на използване на област Изкупуване на услуга.



Фиг. 4. UML диаграма на случаи на използване на област Изкупуване на услуга

Функциите, предоставени на Доставчика, са:

Функцията **BuyServ(x)** служи за изкупуване на соларна енергия.

Функцията **InstallBuyLog(x)** служи за инсталиране на Журнал Изкупуване.

Функцията **WriteBuyRec(x)** служи за записване на събития по изкупуването в Журнала.

Функцията **InsertBuyPlan(x)** служи за въвеждане на План за изкупуване.

Функцията **WriteTariff2(x)** служи за записване на тарифата в плана за изкупуване.

Функциите, предоставени на Абоната със соларни панели, са следните:

Функцията **BuySubs-pv(x)** служи за изкупуване на соларна енергия.

Функцията **ReceiveFinInfo2(x)** служи за получаване на Финансова информация за изкупуване от Доставчика.

Функцията **ReceiveRemind2(x)** служи за получаване на Напомняне за изкупуване.

Функцията **ReceiveBuyMode(x)** служи за осведомяване за Режим на изкупуване.

Функцията **ReceiveLimit2(x)** служи за осведомяване за Лимити по изкупуване.

Функцията **ReceivePayment2(x)** служи за осведомяване за Плащане по изкупуване.

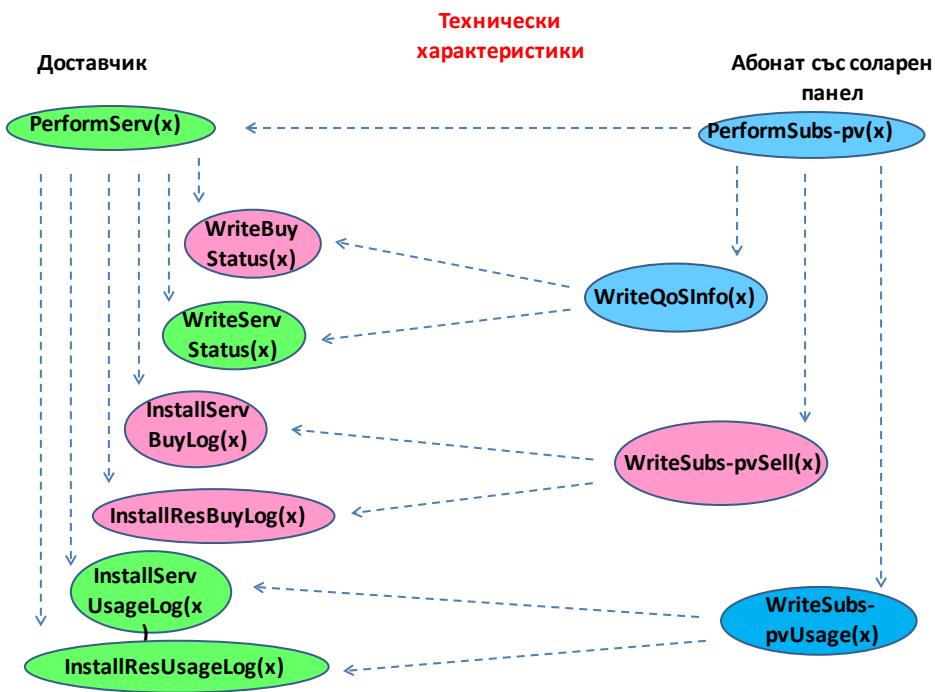
Функцията **ReceiveBuyAcc(x)** служи за получаване на Сметка за изкупуване.

Функцията **ReceiveBeAcc2(x)** служи за получаване на Сметка за пренос при отдаване на енергия.

Функцията **ReceiveProffAcc2(x)** служи за получаване на Сметка за поддържане на електронен профил за изкупуване.

1.3. Функции за Технически характеристики на услуга

В контрола на техническите характеристики участват пряко Доставчика, Абонатът с фотоволтаик и Абонатът без фотоволтаик. На **фигура 5** е показана UML диаграма на случаи на използване на област Технически характеристики на услуга.



Фиг. 5. UML диаграма на случаи на използване на област Технически характеристики на услуга

Функциите, предоставени на Доставчика, са следните:

Функцията **PerformServ(x)** служи за наблюдение на техническите характеристики на услугата. Функцията **InstallResUsageLog(x)** служи за инсталиране на Журнал за използване на ресурси при предоставяне на услугата. Функцията **InstallServUsageLog(x)** служи за инсталиране на Журнал за използване на услугата. Функцията **InstallResBuyLog(x)** служи за инсталиране на Журнал за използване на ресурси при изкупуване на енергия. Функцията **InstallServBuyLog(x)** служи за инсталиране на Журнал за изкупуване на енергия. Функцията **WriteServStatus(x)** служи за записване на статуса на услугата, например Активен, когато има потребление, и Неактивен, когато абонатът е в отпуска. Функцията **WriteBuyStatus(x)** служи за записване на статуса на изкупуването, например Включен, когато панелите са включени, и Изключен, когато панелите са изключени.

Функциите, предоставени на Абонат с фотоволтаик, са следните:

Функцията **PerformSubs-pv(x)** за докладване на договорените технически характеристики при получаване на услугата. Функцията **WriteQoSInfo(x)** служи за получаване на информация за техническите характеристики на услугата и за техническите характеристики на отданата соларна енергия. Функцията **WriteSubs-pvUsage(x)** служи за получаване на информация за използването на услугата от абоната. Функцията **WriteSubs-pvSell(x)** служи за получаване на информация за количеството отдадена соларна енергия от абоната.

Функцията **PerformSubs(x)** служи за докладване на договорените технически характеристики при абонат без фотоволтаик. Функциите са същите, но без отдаване на соларна енергия (само зелените полета).

2. Функции за управление на мрежа

Аналогично се синтезират услуги за управление на мрежа на SmartGrid.

3. Функции за управление на мрежов елемент

По подобен начин се синтезират услуги за управление на мрежов елемент на SmartGrid.

Заключение

В статията са синтезирани функции за управление на услуги в SmartGrid, съответстващи на изискванията на всяко от действащите лица: доставчик на услуга (ЕРП) и абонат на услуга. Взети са под внимание функционални области Таксуване, Изкупуване и Технически характеристики. Аналогично могат да се дефинират функции и за останалите функционални области: Инсталiranе, Предоставяне, Конфигуриране, Поддържане, Защита и Абонатен контрол. По подобен начин могат да се синтезират функции за управление на мрежа и на мрежови елементи на SmartGrid, съответстващи на изискванията на всяко от действащите лица: оператор на мрежа, доставчик на услуги (ЕРП) и абонат на услуги.

Предимствата на синтезираните функционални модели са следните:

- Осигуряват непрекъснат контрол на възобновяемите енергийни източници от енергийната система;
- Не влияят на потреблението на абонатите;
- Лесно се интегрират със съществуващите електроцентрали, което позволява ефективно разпределение на електроенергията;
- Полезни са за дългосрочно наблюдение на абонати с ВЕИ;
- Приложими са в условията на бурно развитие на ВЕИ и компютърни технологии.

На следващия етап предстои дефиниране на класове управлявани обекти въз основа на вече синтезираните функции. Класовете управлявани обекти трябва да съответстват на управлявани единици.

Литература:

1. Илиева-Обретенова, М., „Изисквания към информационен модел за управление на услуга Електроснабдяване в умна мрежа SmartGrid“, Енергиен форум, 24-26 юни 2015г., СБОРНИК Част Първа, стр. 141-147
2. Илиева-Обретенова, М., „Модел за управление на услуги в интелигентна мрежа“, Дисертация за провеждане на научно-образователна степен „Доктор“, ТУ София, 2009
3. Фаулър, М. „UML. Основи“, СофтПрес ООД, 2004
4. Magedanz, T., “An integrated management model for intelligent networks”, Munchen, Wien: Oldenburg, 1994
5. ProjectSunroof, <https://www.google.com/get/sunroof#p=0> , 2015
6. Zuidweg, J., “Next Generation Intelligent Networks”, Artech House, Inc., 2002

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЗАИМОЗАВИСИМОСТТА МЕЖДУ ФОТОСИНТЕТИЧНАТА АКТИВНОСТ И ВЕГЕТАЦИОННИ ИНДЕКСИ ПРИ СОЯ

Илияна Илиева, Йордан Найденов, Илина Каменова, Георги Желев

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

Ключови думи: фотосинтеза; вегетационни индекси – REP, NDRE, PRI; соя.

Резюме: Фотосинтезата е най-важният процес в растенията, но измерването и чрез газообменен метод (най-точен за сега) е времеемко и изисква специализирана апаратура. В селскостопанската практика все по-често се използват вегетационни продукти получени от наземни, аеро- или спътниково данни за отражателните характеристики на растенията за оценка статуса на растенията и предприемане на съответната култивационна процедура. Цел на настоящето изследование е чрез пилотни данни да се потърси корелация между измерена чрез газообменен метод фотосинтеза и вегетационните индекси Red Edge Position (REP), Normalized Difference Red Edge Index (NDRE) и Photochemical Reflectance Index (PRI) при соя. От получените пилотни данни понижените стойности на REP и NDRE немогат да бъдат свързани с понижени стойности на фотосинтезата, докато тренда на индекса PRI съвпада с дневния ход на фотосинтезата, но с обратен знак. Направеният корелационен анализ между PRI и фотосинтезата показва обнадеждаващи резултати, но и необходимост от усъвършенстване на протокола на измерване за да се компенсира влиянието на отражателните характеристики на почвата и други фактори.

EMPIRICAL STUDY OF THE CORRELATION BETWEEN PHOTOSYNTHESIS AND VEGETATION INDICES IN SOYBEAN

Iliana Ilieva, Yordan Naydenov, Ilina Kamenova, Georgi Jelev

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

Key words: photosynthesis; vegetation indices - REP, NDRE, PRI; soybean

Abstract: Photosynthesis is the most important process in plants, but its measurement by gas exchange method (most accurate for now) is time consuming and requires specialized equipment. Vegetation products derived from terrestrial, airborne or satellite data for reflective characteristics of plants are more often used in agricultural practices to assess plant status and take the appropriate cultivation action. The aim of this study is to access the correlations between photosynthesis measured by gas exchange method and the vegetation indices Red Edge Position (REP), Normalized Difference Red Edge Index (NDRE) and Photochemical Reflectance Index (PRI) by using pilot data for soybean. Diminished values of REP and NDRE that cannot be associated with decreases in photosynthesis were obtained from the pilot data, while the trend of the PRI reversely coincides with the daily course of photosynthesis. The correlation analysis between PRI and photosynthesis showed encouraging results, but also the need to improve the measurement protocol to offset the impact of soil's and other factors' reflective characteristics.

Въведение

Фотосинтезата е най-важният процес в растенията и следователно най-определенящия показател за моментното им физиологично състояние. Активността на фотосинтезата може да бъде определена чрез измерване на газообмена извършващ се в листата на растенията с помощта на редица преносими апарати. Работата с тях обаче изисква физическо присъствие на терен, специално обучение за използването им, измерванията с тях са времеемки и апаратите

са доста скъпи за използване извън научни цели. Следователно, поради тези фактори, тяхното използване в практиката, като средство за мониторинг статуса на големи селскостопански площи от самите агрономи, е трудно приложимо.

Дистанционните методи, използващи наземни, аеро- или спътникови данни за отражателните характеристики на растенията намират все по-голямо приложение за оценка на общия им физиологичен статус, но чрез информацията, предоставена от тях, не може директно да се определи фотосинтезата. От спектралните характеристики на растенията могат да се определят параметри, които индиректно или директно да бъдат свързани с активността на фотосинтезата.

Вегетационните индекси Red Edge Position (REP) [1], Normalized Difference Red Edge Index (NDRE) [2] и др. се използват за определяне на съдържанието на хлорофил в листата и съответно дават индиректна представа за активността на фотосинтезата.

По дистанционни данни могат да се определят косвено следните биофизични параметри: Leaf Area Index (LAI), който представлява площта на листата за единица площ земна повърхност ($LAI = \text{leaf area} / \text{ground area}$, m^2 / m^2) [3, 4, 5] и Photosynthetically Active Radiation (PAR), който е абсорбираната фотосинтетична активна светлина [6, 7]. Изчислените параметри са индиректно свързани с фотосинтезата и дават предпоставка за потенциала на растенията да осъществяват този процес.

От дистанционни данни могат също да се определят температура на листата, влажност на почвата и др., и да се използват като входни параметри в различни математически модели, за индиректно определяне на фотосинтетичната активност на растенията [8, 9].

Вегетационният индекс Photochemical Reflectance Index (PRI), дава директна представа за активността на фотосинтезата, тъй като измерва ксантофиловия цикъл в растенията - процес конкурентен на електронния транспорт във Фотосистема II [10].

Въпреки голямата икономическа полза от използването на дистанционни методи при определяне статуса на даден посев с цел оптимизиране на култивационния план, все още липсва знание за корелацията между фотосинтезата, измерена чрез газообменен метод (най-точчен за момента) и различните вегетационни индекси, определени на базата на спектралните характеристики на растенията.

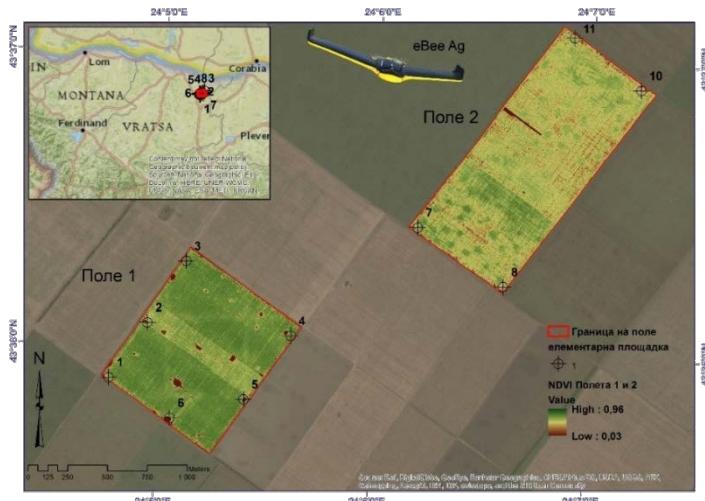
Цел на изследването

Чрез пилотни данни да бъде изследвана корелацията между фотосинтетичната активност, измерена чрез газообменен метод и вегетационните индекси, изчислени въз основа спектрални характеристики на растенията.

Методи и материали

Обект на изследване

Изследван е посев от два сорта соя *Glycine max* cv. Galina и *Glycine max* cv. Neoplant, засят на две полета с обща площ 1947,18 dka, разположени на територията на гр. Кнежа (Фиг. 1.). Растенията се намират във фенологични фази на развитие - начало на бутонизация, цъфтеж и образуване на бобове.



Фиг. 1. Разположение на тестовите полета, тестови площи и NDVI, генериран от БЛА eBee Ag

Постановка на изследването

Измерванията на спектралните отражателни характеристики (COX) и фотосинтетичната активност на растенията са проведени на 08.07.2015г. от 12:00h до 14:30h и на 09.07.2015г. от 16:30h до 18:30h в 10 тестови площацки, разположени в двете полета на Фиг.1. (поле 1 и поле 2).

Местоположението на площацките е предварително определено с помощта на актуални спътникови изображения от Landsat 8 OLI, като критериите за избора са: различия в посева, определени въз основа визуална интерпретация на изображенията и възможност за достъп до съответните площацки. Положението на тестовите площацки и различията в посева в тях е точно пространствено локализирано, чрез аерофото заснемане с БЛА eBee Ag (дрон) с NIR камера Canon с пространствена разделителна способност 10 cm/pixel [11].

Измерване на фотосинтетичната активност на растенията

Измерването е извършено с апарат LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, NE, USA) при следните условия: Камерата на апаратът е с площ 6 cm^2 , измерването е осъществено като в камерата е поставяно всяко от листчетата на 1-ви и 2-ри напълно развит лист, считани от върха на растенията соя. Измерванията са извършени при интензитет на светлината в камерата $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ и спектрален състав в синята и червената области от VIS.

Измерване на спектрални отражателни характеристики

Измерванията на COX са извършени със спектрометър ASD FieldSpec 4 в диапазона 350 – 2500 nm със спектрална разделителна способност 3 nm във видимия и близкия инфрачервен диапазон (VNIR) и 8 nm в късовълновия инфрачервен диапазон (SWIR). За измерването е използван фибро-оптичен кабел с ъгъл на зрителното поле 25° на разстояние 150 cm от повърхността на земята. Във всяка тестова площацка са направени 12 измервания, които са разположени в 2 успоредни трансекта. Измерванията впоследствие са усреднени за получаване на обобщен спектър, характеризиращ цялата площацка. Отделно са направени единични измервания на COX върху субплощацка с размер $75 \times 75 \text{ cm}$, където са направени и измерванията на фотосинтетичната активност. От субплощацката са взети растителни пробы за лабораторно измерване на COX на ниво лист, посредством приставка за контактно измерване на растителни образци, използваща халогенно осветление. Измерени са 1-ви и 2-ри напълно развит лист, считано от върха на растенията соя.

Изчислени са следните индекси:

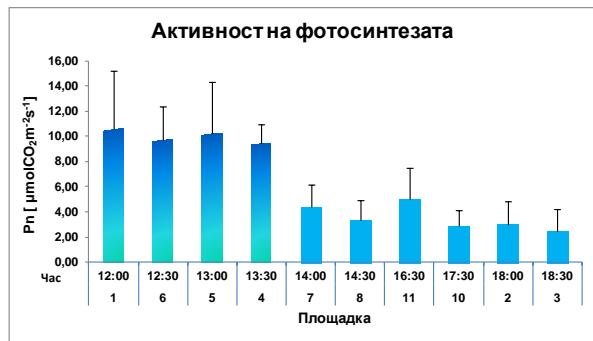
$$\text{REP}=((R670+R780)/2-R700)/(R740-R700)*40+R700;$$

$$\text{NDRE}=(R740-R705)/(R740+R705);$$

$$\text{PRI} = (R531-R570)/(R531+R570).$$

Резултати

Активност на фотосинтезата



Фиг. 2. Фотосинтетична активност на растенията по Площацки

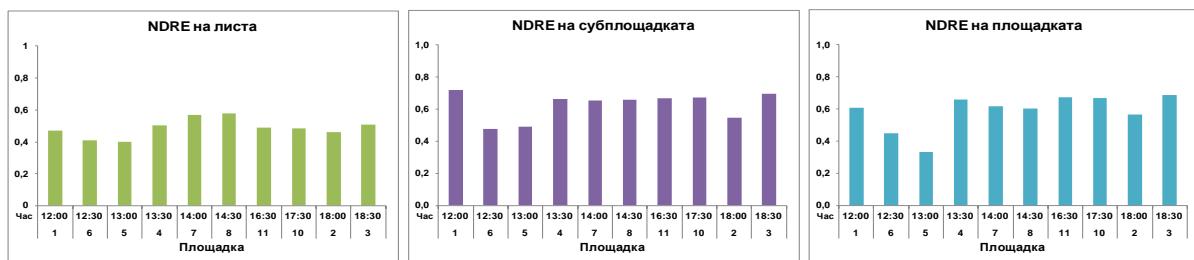
Фотосинтетичната активност на растенията от Площацка 1 е $10,60 \pm 4,58 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$; от Площацка 6 - $9,73 \pm 2,66 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$; от Площацка 5 - $10,21 \pm 4,09 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ и от Площацка 4 - $9,42 \pm 1,57 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Разликите в измерените стойности не са статистически значими при $p=0.05$, изследвани чрез еднофакторен дисперсионен анализ (ANOVA). Организацията на изследването на площаците със соя предвиждаше да се продължи измерването на фотосинтезата и след 13:30h, поради което наблюдаваното понижение на

фотосинтезата в останалите площиадки е вследствие на дневния ход на фотосинтезата и не може да бъде обвързано със стрес, дори да има такъв.

Вегетационни индекси свързани със съдържанието на хлорофил в растенията



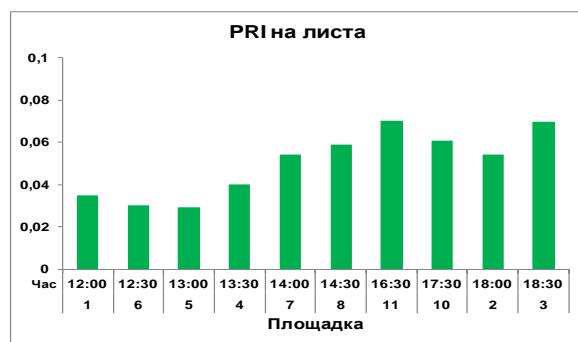
Фиг. 3. Вегетационен индекс REP на растенията по Площадки



Фиг. 4. Вегетационен индекс NDRE на растенията по Площадки

Стойностите на индексите REP (Фиг.3) и NDRE (Фиг.4) за Площадки 6, 5 и 2 се отличават от стойностите при останалите площиадки. Този резултат предполага, че в тази област на полето съществува проблем с посева. Съпоставяйки, обаче, данните от REP и NDRE с реално измерената фотосинтеза на Площадки 6 и 5 (Фиг. 2), това предположение не може да бъде потвърдено. Фотосинтезата на Площадки 6 и 5 не е статистически различна от тази на Площадки 1 и 4. Фотосинтезата на Площадка 2 няма да бъде разглеждана, тъй като попада във фазата на дневно понижение. Връзката на активността на фотосинтезата със съдържанието на хлорофил (отразено в индексите REP и NDRE) е индиректна и се влияе от много фактори. От друга страна, индексите REP и NDRE се влияят и от странични фактори като: гъстотата на посева, отражателните характеристики на почвата, почвената влажност и др.

Вегетационни индекси свързани директно с процеса фотосинтеза

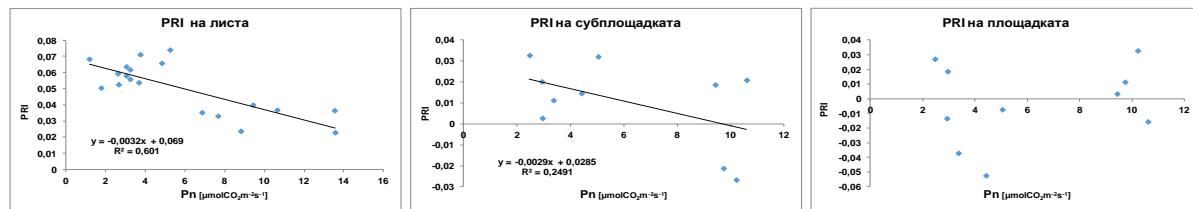


Фиг. 5. Вегетационен индекс PRI на растенията по Площадки

Трънда на PRI (Фиг. 5.) в хода на деня следва трънда на фотосинтезата с обратен знак.

Корелационният анализ показва силно изразена отрицателна линейна връзка ($r = -0.775$) между фотосинтезата, измерена чрез газообменния метод и PRI, определен въз основа спектралните характеристики на директно измерени листа.

Корелационен анализ на PRI и фотосинтетичната активност



Фиг. 6. Корелационна зависимост между фотосинтезата и вегетационен индекс PRI

Върху PRI оказват влияние отражателните характеристики и на други обекти най-вече почва, при което линейната корелацията между фотосинтетичната активност и PRI намалява, когато използваните спектрални данни са от субплощадката ($r = -0.499$). Корелация между фотосинтетичната активност и PRI, определен въз основа спектралните данни, осреднени за всяка площадка не се наблюдава, тъй като данните са малко и силно дисперсирани ($r = 0.237$ и $r_s = -0.006$).

Заключение

Вегетационният индекс PRI е обещаващ метод за определяне на фотосинтезата чрез дистанционни методи. Най-голям интерес представлява корелацията между фотосинтезата и PRI, определен над субплощадка. Наличната макар и слаба корелация между него и фотосинтезата, измерена чрез газообменен метод, дава основание да се усъвършенства протокола на измерване и да се създаде методология за полеви измервания на CO₂ на растенията, с която да се компенсира влиянието на отражателните характеристики на почвата и други фактори.

Благодарности

Изследването е извършено с апаратура закупена по Проект „Информационен комплекс за аерокосмически мониторинг на околната среда“ (ИКАМОС), Договор за безвъзмездна финансова помощ BG161PO003-1.2.04-0053-C0001, по ОП „Развитие на конкурентоспособността на българската икономика“ 2007-2013, процедура BG161PO003-1.2.04 „Развитие на приложните изследвания в изследователските организации в България“.

Литература:

- Filella, I., J. Peñuelas. The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 15, No. 7, pp 1459-1470, 1994.
- Gitelson, A.A., M.N. Merzlyak. Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, Vol. 22, pp. 247-252, 1994.
- Kazandjiev, V., E. Roumenina, V. Georgieva, P. Dimitrov, G. Jelev. Comparative Study of Some Features of winter Wheat Crops by Applying Ground Based Measurements and Satellite Images with Different Resolution. BALWOIS 2012 - Ohrid, Republic of Macedonia, 28 May - 2 June 2012, pp 1-15, 2012.
- Roumenina, E., V. Kazandjiev, P. Dimitrov, L. Filchev, V. Vassilev, G. Jelev, V. Georgieva, and H. Lukarski. Validation of LAI and assessment of winter wheat status using spectral data and vegetation indices from SPOT VEGETATION and simulated PROBA-V images. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 34, No 8, pp. 2888-2904, 2013.
- Roumenina, E., P. Dimitrov, L. Filchev, G. Jelev. Validation of MERIS LAI and FAPAR products for winter wheat-sown test fields in North-East Bulgaria. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 35, No. 10, pp 3859-3874, 2014.
- Alados, I., I. Foyo-Moreno, L. Alados-Arboledas. Photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 78, pp 121-131, 1996.
- Naydenova, V., P. Dimitrov, G. Jelev, E. Roumenina. Analysis of the Dynamics of Vegetation Parameters LAI, EVI and FPAR for Forest Areas using MODIS Data Proceedings. 30th EARSeL Symposium - Remote Sensing for Science, Education, Natural and Cultural Heritage, 31th May - 3rd June 2010 UNESCO Headquarters, Paris, France, pp. 257-263, 2010.
- Dadhwal, K. Crop Growth and Productivity Monitoring and Simulation Using Remote Sensing and GIS. In *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*, edited by M.V.K. Sivakumar, P.S. Roy, K. Harmsen, and S.K.Saha, World Meteorological Organisation, Geneva, pp 263-289, 2004.
- Dente, L., G. Satalino, F. Mattia, M. Rinaldi. Assimilation of Leaf Area Index Derived from ASA Rand MERIS Data into Ceres - Wheat Model to Map Wheat Yield. *Remote Sensing of Environment*, Vol.112, No.4, pp 1395-1407, 2008.
- Peñuelas, J., M. Garbulsky, I. Filella. Photochemical reflectance index (PRI) and remote sensing of plant CO₂ uptake. *New Phytologist*, Vol.191, pp. 596-599, 2011.
11. <https://www.sensefly.com/drones/ebee-ag.html> - senseFly, eBee Ag, The precision agriculture drone.

ТЕХНОГЕННИ ШУМОВЕ ПРИ ДИСТАНЦИОННО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗЕМЯТА ОТ КОСМОСА

Иван Димитров

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

Ключови думи: техногенни шумове, фотоволтаични системи, дистанционни изследвания

Резюме: Разгледани са техногенни шумове при дистанционно изследване на земята от космоса. Представени са основните източници на техногенни шумове - фотоволтаични системи и оранжерии и характеристиките им в различни спектрални диапазони.

ANTHROPOGENIC NOISES IN REMOTE SENSING OF THE EARTH FROM SPACE

Ivan Dimitrov

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

Keywords: Arterial blood pressure, pulse wave, electrocardiogram (ECG)

Abstract: The anthropogenic noise in remote sensing of the earth from space are explained in the article. Presented are the main sources of anthropogenic noise - photovoltaic systems and greenhouses and their characteristics in different spectral ranges.

Въведение

При извършване на дистанционни изследвания на земята от космоса съществуват редица шумови източници от природен и техногенен характер. Някой от техногенните шумове са свързани с възстановяемите енергийни източници – фотоволтаични системи. През последното десетилетие в България са изградени редица фотоволтаични паркове, произвеждащи електроенергия чрез преобразуване на слънчевата радиация. По данни на Българската фотоволтаична асоциация към 21.02.2016 г. в България са инсталирани мощности за производство на 819740 kW [1] електроенергия. Тези системи за производство на „зелена енергия” оказват определени негативни въздействия на околната среда. Едно от тях е предизвикване на оптични емисии във видимия и инфрачервен диапазон на светлината.

Техногенни шумове

Преобразуващите елементи на фотоволтаичните системи са основните еmitenti на техногенни шумове. Елементите могат условно да се разделят на следните типове.

По тип на окачване на преобразуващите елементи: трайно фиксиранi модули, едноосни или двуосни подвижни според слънцестоенето модули (т.н. „Movers”).

По тип на преобразуващата технология: моноクリстален силиций, поликристален силиций, полупроводникови тънкослойни преобразуващи елементи.

По специфичното местоположение на преобразуващи елементи: разстояние между редовете; ландшафтен релеф; площ и д.р.

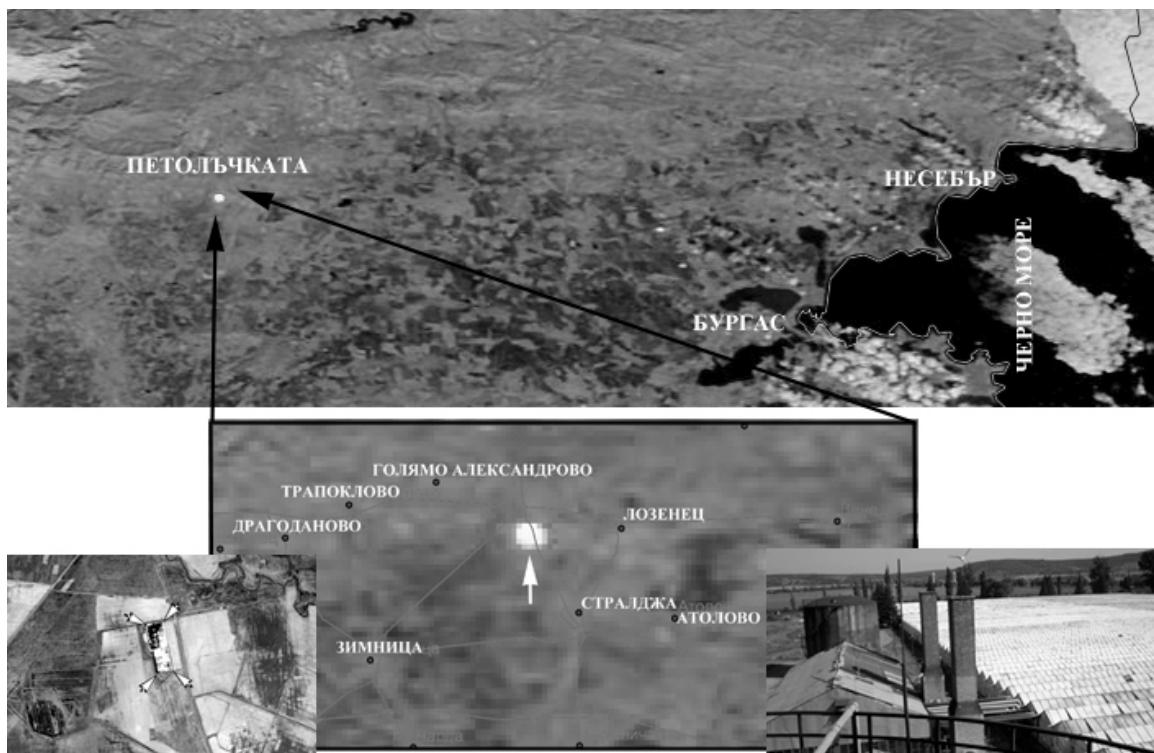
Изброените типове преобразуващи елементи оказват влияние на оптичните отразителните характеристики на фотоволтаичния парк. На практика всеки обект има своя

индивидуална отразителна характеристика в оптичния диапазон. Аналогични шумови оптични емисии имат и други обекти: оранжерии, сгради със стъклени фасади, халета с метални покриви, мокри бетонови и асфалтови повърхности, метални комуникационни антени и др.

При ФВП основен принос за генерирания оптичен шум имат преобразуващите модулите и металните закрепващи конструктивни елементи. В преобразуващите модулите основен принос имат стъклените повърхности на модулите и граничния слой стъкло/силиций (полупроводник). Отразената слънчева радиация намалява ефективността на преобразуване и понижава икономическият ефект на ФВП. За борба с това явление се използват антирефлексни покрития в спектрален диапазон на слънчевата радиация от 380 до 780 нм. Въпреки тези мерки във видимия оптичен диапазон се забеляват значителни отражения, които довеждат до "заслепяване" (навлизане в зона на насищане) на регистриращата апаратура на борда на космическите летателни апарати (КЛА). Направените изследвания от водещи световни фирми и изследователски центрове показват, че около 15-20% от слънчевата радиация във видимия диапазон се отразява от преобразуващите модули. Аналогични проблеми съществуват и в инфрачервения диапазон на слънчевата радиация. При разсейване на отразената слънчева радиация възникват значителни нива на поляризация, зависещи от редица фактори.

При извършване на рутинен мониторинг на територията на България в оптичния диапазон с използване на информация от спътниците TERRA и AQUA периодично се забелязват източници на оптичен шум от техногенен характер с определена периодичност, разположение и разновидност на емитентите[2,5]. Полските и горски пожари като шумови емитенти носят случаен характер. Фотоволтаичните системи внасят шум в зависимост от своите характеристики, ъгъла на падане на слънчевата радиация, траекторията на спътника и характеристиките на спътниковата регистрираща апаратура[2]. Аналогични шумове внасят и сградите със стъклени фасади – напр. оранжерии.

На фиг.1 е представена емисия на оранжерията край г.Стралджа до пътен възел Петолъчката [3,4,5]. На фиг.2 е представена емисия на оранжерията край г.Пазарджик. На фиг.3 е представен ФВП край с.Черганово (общ.Казанлък) в режимна генерация на оптичен шум. На фиг.4 е представен ФВП край с.Караджалово в режимна генерация на оптичен шум. На фиг.5 са представени 28 значими шумови обекти на територията на България. На фиг.6 е представен ФВП край Исакча и Никулицел (обл.Тулча-Румъния). На фиг. 7-12 са представени изльчванията на ФВП край Исакча в различни спектрални диапазони на апаратурата MODIS на спътника TERRA. На фиг.13 са представени 10 значими шумови обекти на територията на област Сливен и Ямбол. При всички изследвани обекти проекционната площ на генерирания оптичен шум в пъти превишава площта на изльчващия обект.



Фиг. 1



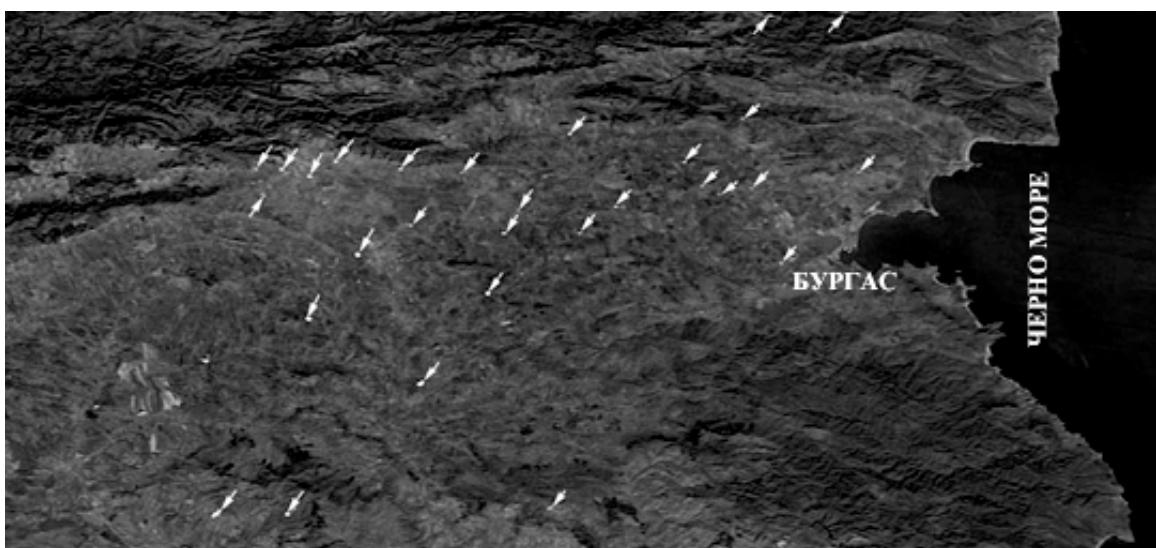
Фиг. 2



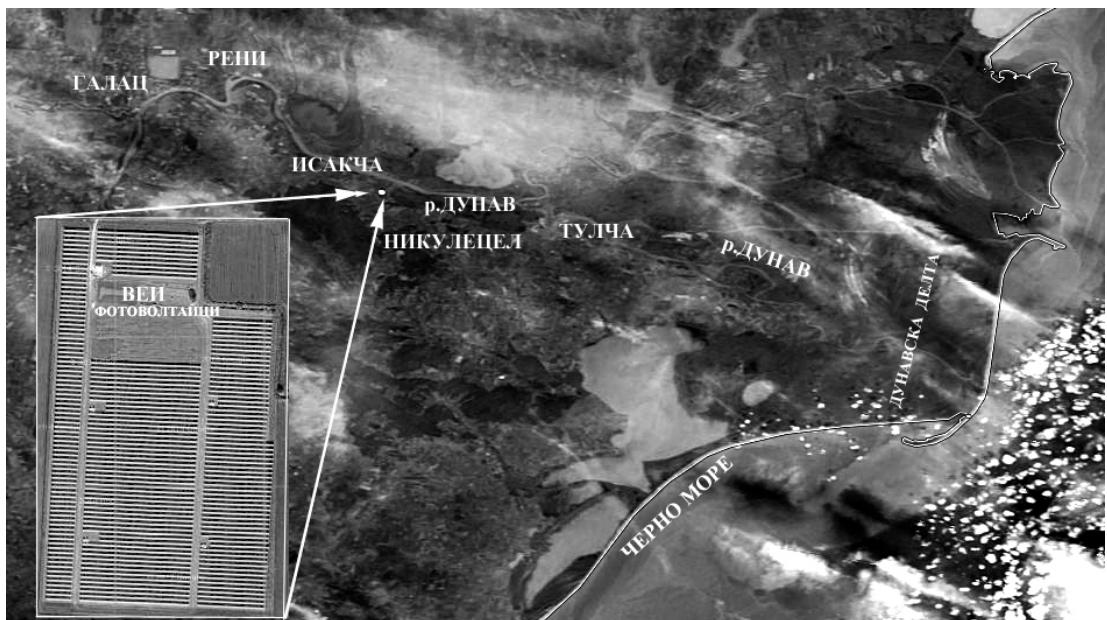
Фиг. 3



Фиг. 4



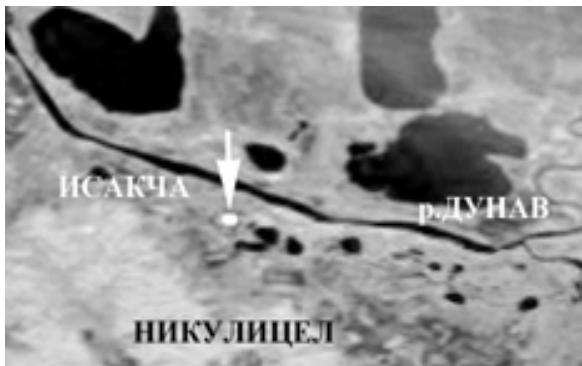
Фиг. 5



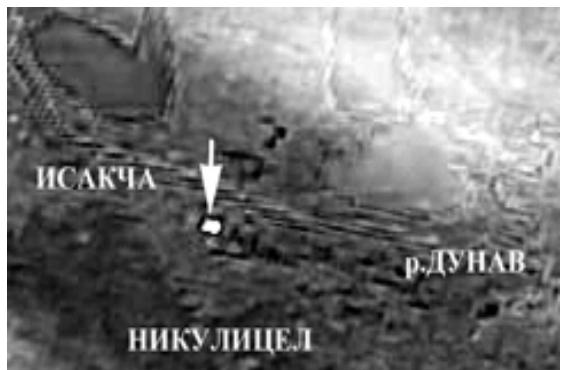
Фиг. 6



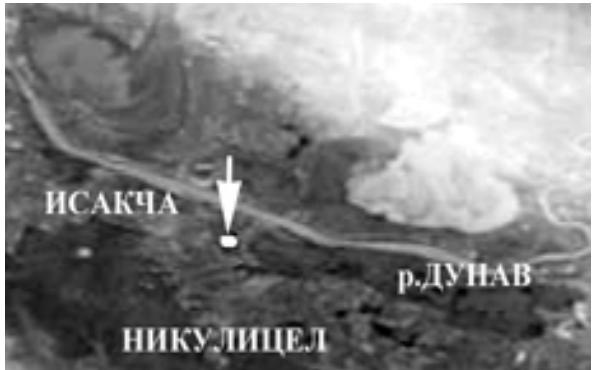
Фиг. 7. Спектрален диапазон 620-670 нм



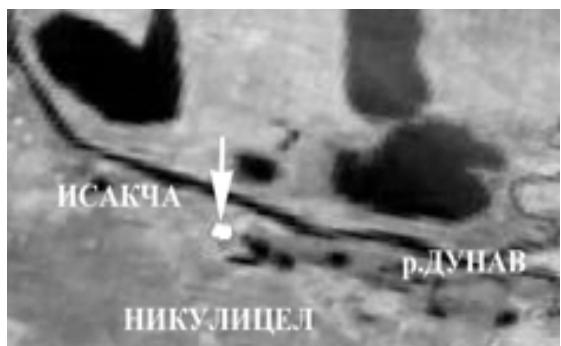
Фиг. 8. Спектрален диапазон 841-876 нм



Фиг. 9. Спектрален диапазон 459-479 нм



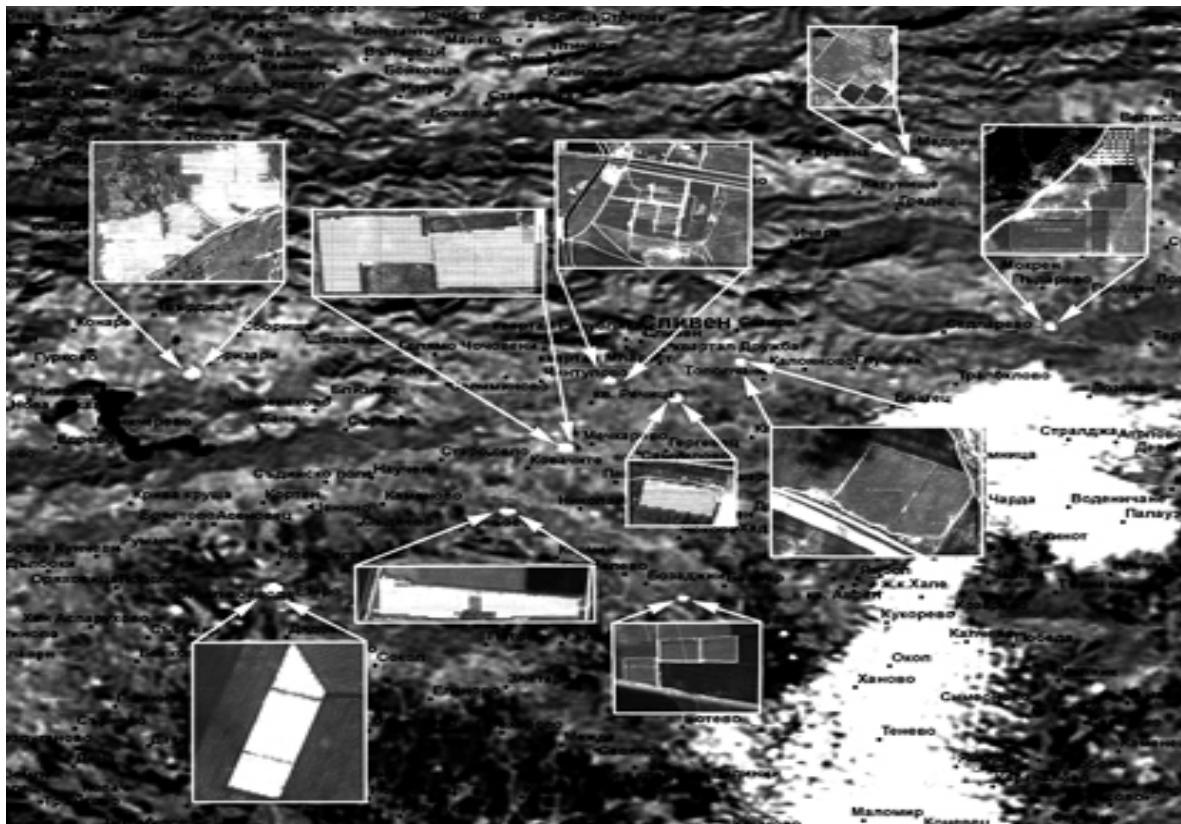
Фиг. 10. Спектрален диапазон 545-565 нм



Фиг. 11. Спектрален диапазон 1628-1652 нм



Фиг. 12. Спектрален диапазон 2105-2155 нм



Фиг. 13

Заключение

Разгледаните техногенни оптични шумови емисии от ФВП и оранжерии подлежат на детайлно изследване и каталогизиране на техните характеристики. Това ще даде възможност за автоматично им филтриране при извършване на дистанционни изследвания от борда на КЛА. Получените резултати могат да се използват и за създаване на активни шумови източници при възникване на определени рискови ситуации.

Литература:

1. Българската фотоволтаична асоциация, 2015
2. Мардироян, Г., Аерокосмически методи в екологията и изучаване на околната среда, "Марин Дринов", 208 с., София, 2003
- 3.AQUA – MODIS – NASA,2014-2015.
- 4.SPOT – CNES, 2014.
- 5.TERRA – MODIS – NASA,2014-2015

МОНИТОРИНГ НА НАВОДНЕНИЯ ПО ПОРЕЧИЕТО НА РЕКИТЕ ТУНДЖА И КАМЧИЯ

Иван Димитров

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

Ключови думи: Мониторинг на наводнения, Тунджа, Камчия, Terra, Aqua

Резюме: Представен е мониторинг на наводнения по поречието на реките Тунджа и Камчия с данни от сателитите Terra и Aqua. Използвана е сателитна информация за проследяване на хидрологката обстановка и са съставени тематични карти на наводненията.

FLOODS MONITORING ALONG THE RIVER TUNDJA AND KAMCHIA

Ivan Dimitrov

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

Keywords: flood monitoring, Tundja, Kamchia, Aqua, Terra

Abstract: The floods monitoring along the river Tundja and Kamchia with data from satellites Terra and Aqua are explained in the article. Used a satellite tracking information hydrological situation and are composed thematic maps of the floods.

Въведение

Наводненията представляват реална заплаха за живота на населението и нанасят значителни щети на инфраструктурата и частното имуществото. Поройните дъждове и бързото топене на снеговете са в основата на това природно бедствие. Неправилното управление на язовирите, липсата на поддръжка на язовирните стени и изпускателните съоръжения превръщат тези водни акумулатори в потенциален рисък за населението.

Дистанционните методи за аерокосмически наблюдения дават възможност за мониторинг на наводненията, предоставят оперативна информация за актуалното състояние на наводнените територии и позволяват прогнозиране на бъдещи състояния на това природно бедствия.

Мониторинг на наводненията

Реките с големи водосборни райони представляват потенциален рисък за генериране на наводнения. Сред тях особено място заемат реките Тунджа и Камчия.

Река Тунджа

Река Тунджа извира от Стара планина под връх Ботев, преминава през Подбалкански пресича Тракийската низина и се влива в река Марица при гр. Одрин – Турция. Общинският водосборен басейн на р. Тунджа възлиза на 7901 км² на българска територия (фиг.13). Реката достига своето пълноводие през март-април, което съвпада със снеготопенето и пролетните дъждове. В горното си течение р. Тунджа е буферирана от язовир Копринка при гр. Казанлък и язовир Жребчево при с. Баня, общ. Твърдица. При с. Бинкос е изграден бент, отклоняващ част от реката в хидротехническото мелиоративно съоръжение - канал „Средна Тунджа“.

Множество притоци захранват реката във водосборния басейн, като особено значим в долното течение е река Мочурица. Името на тази река само говори за нейния характер.

Река Камчия

Река Камчия е най-голямата българска река, вляваща се в Черно море. Нейната обща дължината е 245 km и е с водосборен басейн от 5358 km^2 . Тя се образува от сливането на реките Голяма Камчия и Луда Камчия при с. Величково, общ. Дългопол. На р. Камчия са изградени язовирите "Тича", "Камчия" и "Цонево" (фиг.1). Преди изграждането им реката е заливала голяма територия край Авренското плато в района на нейното устие в Черно море. Въпреки тези хидротехнически съоръжения при проливни дъждове в района на Авренсконо плато се реализира сложна хидрологичка обстановка и се наводняват големи територии обработваема земя.

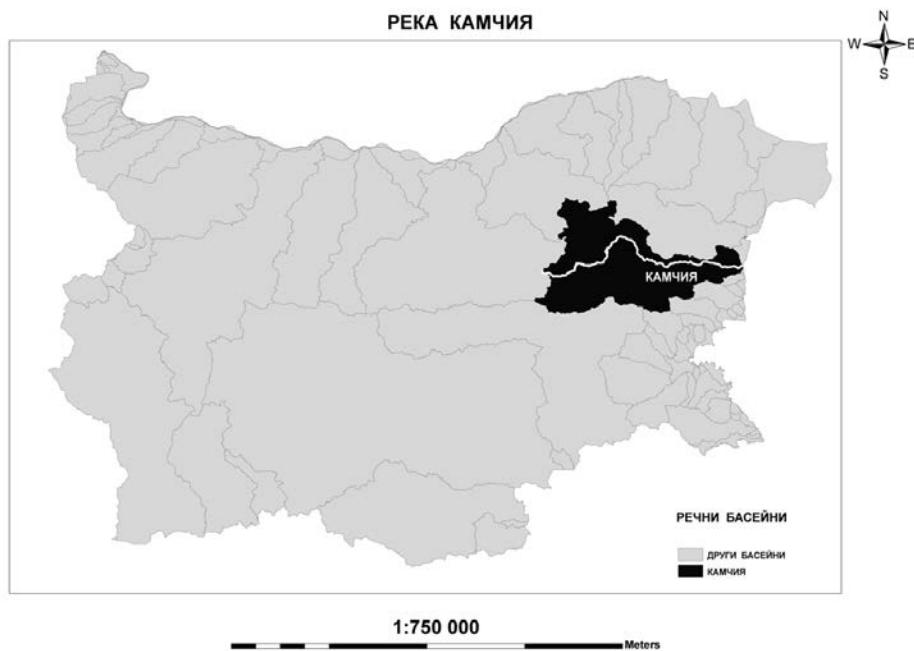
Наводнения по поречието на река Камчия

На 29.10.2014 г. в следствие на падналите наднормени валежи (165 л. на квадратен метър) в района на село Старо Оряхово се реализира сложна хидрологичка обстановка. Наводнени са над 10 000 дка обработваема земя с есенни посеви. Валежите надвишават четири месечни норми. Като основна причина се посочва непочистените отводнителни канали и частичното им разрушаване от строителна фирма. Наводнението беше регистрирано чрез информация от спътниците TERRA и AQUA – прибор MODIS. На фиг.2-7 е представено състоянието на наводнената територия на 3, 4, 5, 6, 7 и 11 ноември 2014 г. На фиг.8 е показано състоянието на терен, любезно предоставено от Служба земеделие – „Долен чифлик“. На фиг.9 е представена тематичка карта, отразяваща състоянието на наводнената територия на 3, 4, 5, 6, 7 и 11 ноември 2014 г.

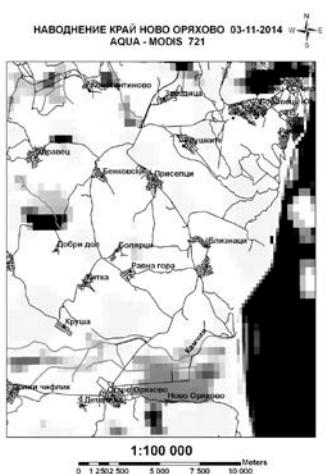
В началото на месец февруари 2015 г. се реализира аналогична сложна хидрологичка обстановка по поречието на р. Камчия. Наводненията бяха регистрирани чрез информация от спътниците TERRA и AQUA – прибор MODIS. На фиг.10 е представена обстановката на наводнените територии към 02.02.2015 г. На фиг.11 е представена тематичка карта, отразяваща състоянието на наводнената територия на 2, 3, 4 и 9 февруари 2015 г. На фиг.8 е показано състоянието на терен на 5 май 2015 г. и последствията от наводненията край с. Старо Оряхово.

Наводнения по поречието на река Тунджа

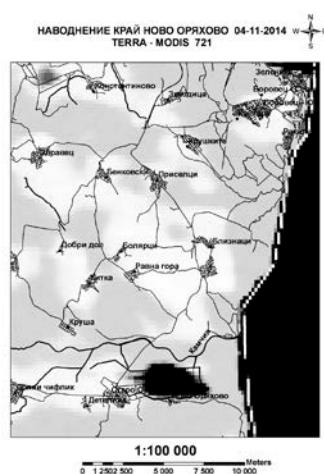
В началото на месец февруари 2015 г. се реализира аналогична сложна хидрологичка обстановка и по поречието на р. Тунджа. В района на г. Елхово възникна реална заплаха за населението и се реализира опасно високи нива на реката. Обстановката беше регистрирана с използване на информация от спътниците TERRA и AQUA – прибор MODIS. На фиг.14 и фиг.15 е представена обстановката на наводнените територии към 02 и 11 февруари 2015 г.



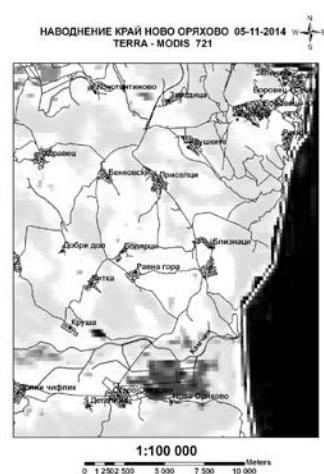
Фиг. 1



Фиг. 2



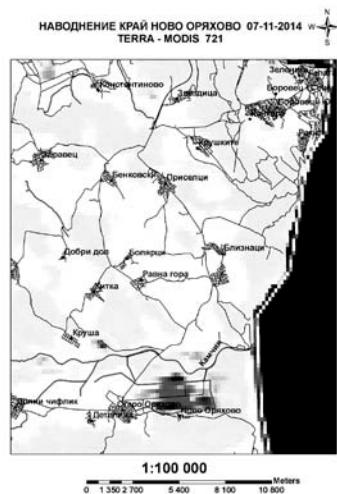
Фиг. 3



Фиг. 4



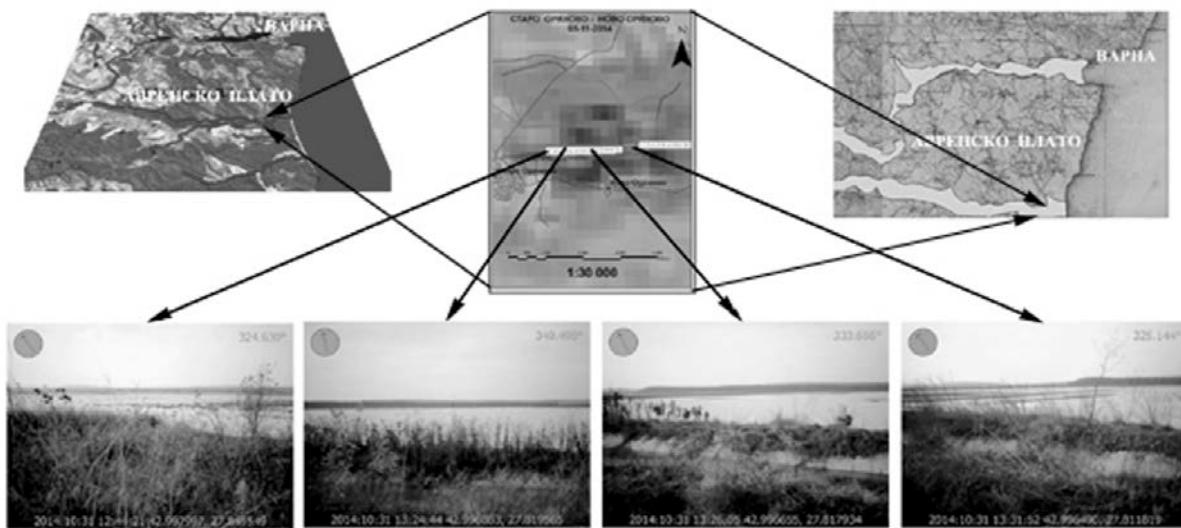
Фиг. 5



Фиг. 6

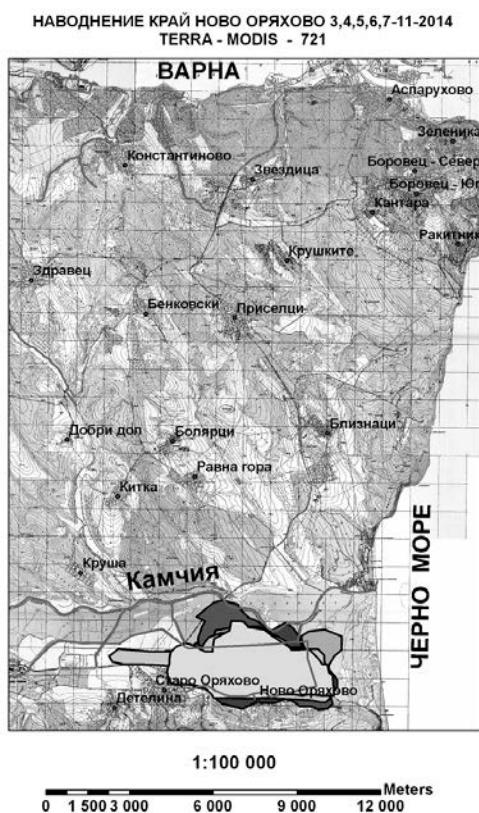


Фиг. 7



Фиг. 8

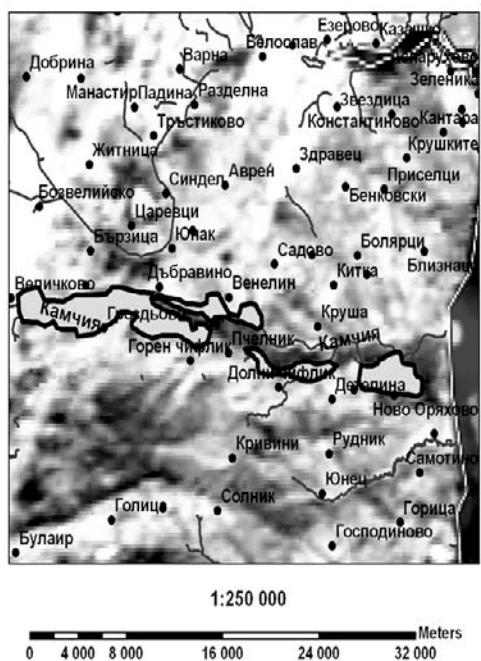
НАВОДНЕНИЕ КРАЙ НОВО ОРЯХОВО 3,4,5,6,7-11-2014
TERRA - MODIS - 721



1:100 000
0 1 500 3 000 6 000 9 000 12 000 Meters

Фиг. 9

НАВОДНЕНИЕ ПО ПОРЕЧИЕТО НА РЕКА КАМЧИЯ
02-02-2015 СATEЛИТ AQUA/TERRA



1:250 000
0 4 000 8 000 16 000 24 000 32 000 Meters

Фиг. 10

НАВОДНЕНИЕ ПРИ УСТИЕТО НА РЕКА КАМЧИЯ
СATEЛИТИ AQUA И TERRA - 2015



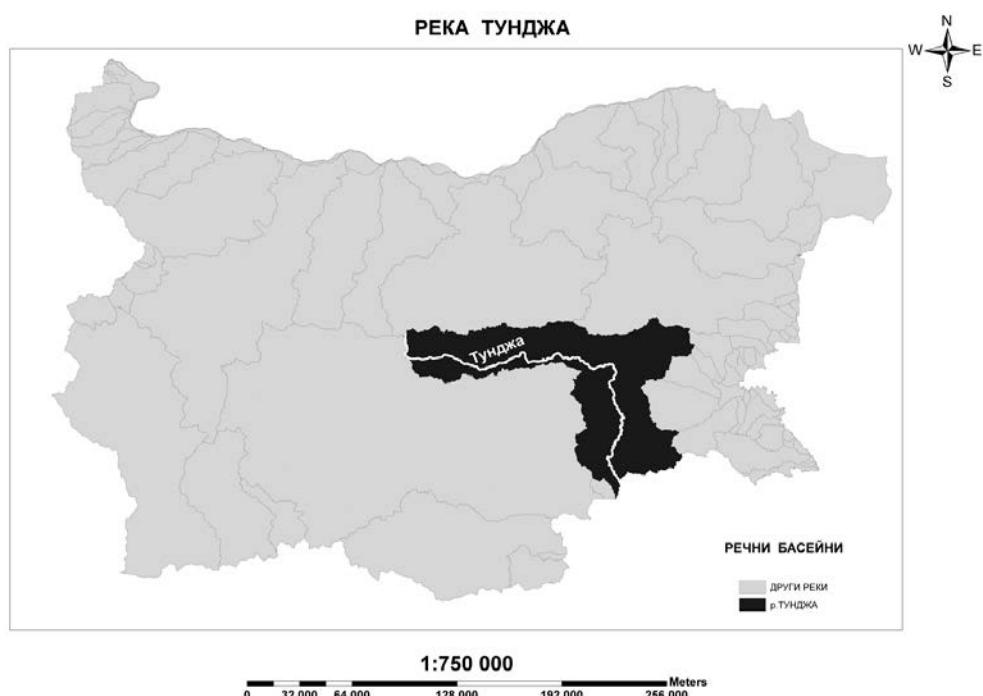
1:100 000
0 1 250 2 500 5 000 7 500 10 000 Meters

НОВОДНЕНИЕ - р.КАМЧИЯ - ДАТА	
02-02-2015	
03-02-2015	
04-02-2015	
09-02-2015	

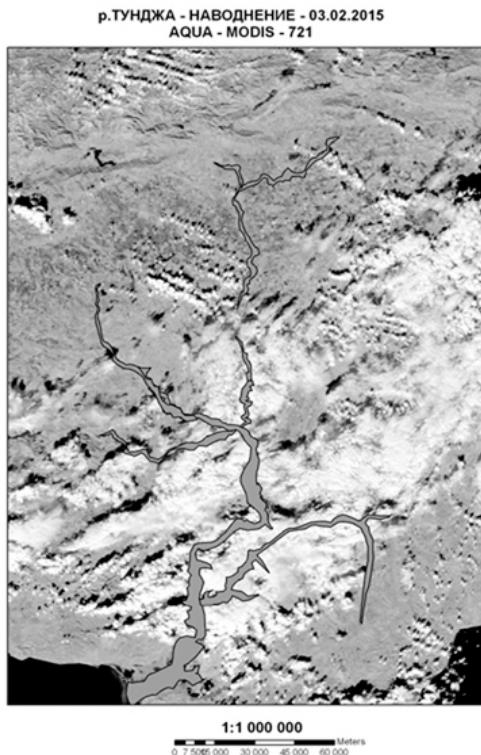
Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14



Фиг. 15

Благодарности

Авторът изказва благодарности на ОСЗ Долни чифлик, ОДЗ Варна за предоставените снимки от терен за наводнението от 31.10.2014 г. и персонално на ст. експерт г-н Георги Георгиев.

Заключение

Дистанционните методи за аерокосмически наблюдения дават възможност за мониторинг и предоставят оперативна информация за актуалното състояние на наводнените територии. Създаването на тематични карти позволява прогнозиране на бъдещи състояния и предприемане на адекватни мерки за противодействие и минимизиране на щетите от това природно бедствие.

Литература:

1. Мардиrosян, Г., Аерокосмически методи в екологията и изучаване на околната среда, "Марин Дринов", 208 с., София, 2003
2. Мардиrosян, Г. От Космоса срещу екологичните катастрофи. Изд. на БАН, София, 1993, 210 с.
3. Мардиrosян, Г. Елокатастрофи (Природни екологични катастрофи). Изд. къща ВАНЕСА, 1995, 240 с.
4. Мардиrosян, Г. Природни елокатастрофи и тяхното дистанционно аерокосмическо изучаване. Акад. издат. "Проф. Марин Дринов", 1999, 368 с.
5. Мардиrosян, Г. Аерокосмически методи в екологията и изучаването на околната среда. "Марин Дринов", 2003, 208 с.
6. Мардиrosян, Г. Природни бедствия и екологични катастрофи – изучаване, превеция, защита. „Марин Дринов", 2006, 372 с.
7. AQUA – MODIS – NASA, 2014-2015.
8. TERRA – MODIS – NASA, 2014-2015.

СРАВНЕНИЕ НА ГОДИШНИТЕ И МЕСЕЧНИТЕ ДОБИВИ НА СЛЪНЧЕВА ЕНЕРГИЯ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДАННИ ИЗМЕРЕНИ С МЕТЕОСТАНЦИЯ Vantage Pro2 Plus

Веселин Ташев¹, Ролф Вернер¹, Ангел Манев¹, Мариана Горанова²

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

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

Резюме: Измерването на слънчевите енергийни характеристики е извършено в продължение на период от 5 години. За практическото приложение на тези изследвания е необходимо да се определи количеството на акумулираната слънчева енергия за определен период от време от единица площ на земната повърхност. Данните за слънчевата радиация са измерени и акумулирани с помощта на автоматичната метеорологична станция Vantage Pro2 Plus. Директно получените данни от сензора за слънчева радиация са интегрирани и преизчислени за да се получат резултати за акумулираната слънчева енергия. По този начин се проследява изменението на енергийните слънчеви характеристики през различните месеци, свързано със сезонния характер на положението на Слънцето. Изчислена е и годишната повтаряемост на измерванията. Високата повтаряемост, която се наблюдава през изминалите години дава възможност да се прогнозира слънчевия енергиен добив за следващите години.

INVESTIGATION OF DATA MEASURED WITH WEATHER STATION Vantage Pro2 Plus AND FORECASTING THE ANNUAL PRODUCTION OF SOLAR ENERGY

Veselin Tashev¹, Rolf Werner¹, Angel Manev¹, Mariana Goranova²

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

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

Abstract: The monitoring of the solar energy is performed over a period of 5 years. For the practical application of these studies, it is necessary to determine the amount of accumulated solar energy for a definite period of time from a unit area of the ground surface. It is known that the solar radiation and solar power are directly related to each other. The data on solar radiation were measured and accumulated with the help of the automatic weather station Vantage Pro2 Plus. Data obtained directly from solar radiation sensor are integrated and translated to produce results for the accumulated solar energy. In this way, follow of energy solar characteristics in different months, due to a seasonal nature of the position of the Sun. The degree of repeatability is presented for the corresponding days and months in different years. The high annual repeatability provide an opportunity for sunlight forecast for subsequent years.

1. Въведение

Метеорологичната станция Vantage Pro2 Plus бе настроена да измерва и събира данни за всеки период от 15 минути [1]. В сравнение с основния вариант на метеостанциите от типа на Vantage Pro, полупрофесионалната станция Vantage Pro 2 Plus е снабдена с допълнителни сензори за измерване на слънчевата радиация и слънчевото ултравиолетово излъчване попадащи на земната повърхност. Тези сензори регистрират интензивността на слънчевата радиация, дозата и индекса на ултравиолетовото излъчване. Така получените данни за

метеорологичните параметри се експортират чрез файл с текстови формат в съответното приложение за тяхната по-нататъшна обработка. Автоматична измервателна станция Vantage Pro 2 Plus предоставя на своите потребители освен данни за слънчевата радиация, така и данни за слънчевата енергия (Solar Energy). Известно е, че съществува връзка между слънчевата радиация и слънчевата енергия. От тази връзка данни за слънчевата енергия могат да се получат от данни за слънчевата радиация по два начина:

1. Експортиране на данните за слънчева радиация в специално приложение и интегрирането им по време за да се получат данни за слънчевата енергия.

2. Метеостанцията Vantage Pro 2 Plus е продукт на американската корпорация Davis. Поради тази причина слънчевата енергия е изчислена от данните за слънчева радиация и е дадена в единица Langley.

$$1 \text{ Langley} = 11.622 \text{ Wh/m}^2$$

Тези данни също могат да се експортират чрез файл в текстови формат за тяхната по-нататъшна обработка в съответното приложение. В това изложение е използвано приложението Microsoft Office Excel.

2. Теоретични данни за слънчевата радиация и слънчевата енергия попадаща върху единица земна площ

Известно е, че слънчевата радиация зависи от много фактори и съвсем логично е да се очаква, 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 [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, изльчена от земната повърхност. Следователно добивът на енергия за различните региони може да е съвсем различен в зависимост от техните особености.

Слънчевата енергия се изльчва главно като електромагнитна радиация със спектър на идеално черно тяло характеризиращо се с температура от приблизително 6000K. Слънчевата радиация представлява пътността на лъчистия енергиен поток изльчван 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/m²]. 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/m²].

Интензитетът на слънчевата радиация попадаща върху земната повърхност, се изменя в зависимост от разстоянието Земя-Слънце. Степента на абсорбция на слънчевата радиация зависи от дължината на оптичния път, който светлината трябва да измине през атмосферата за да достигне от горните й слоеве до повърхността на Земята. Тя е обратно пропорционална на косинуса на ъгъла между положението на Слънцето спрямо зенита.

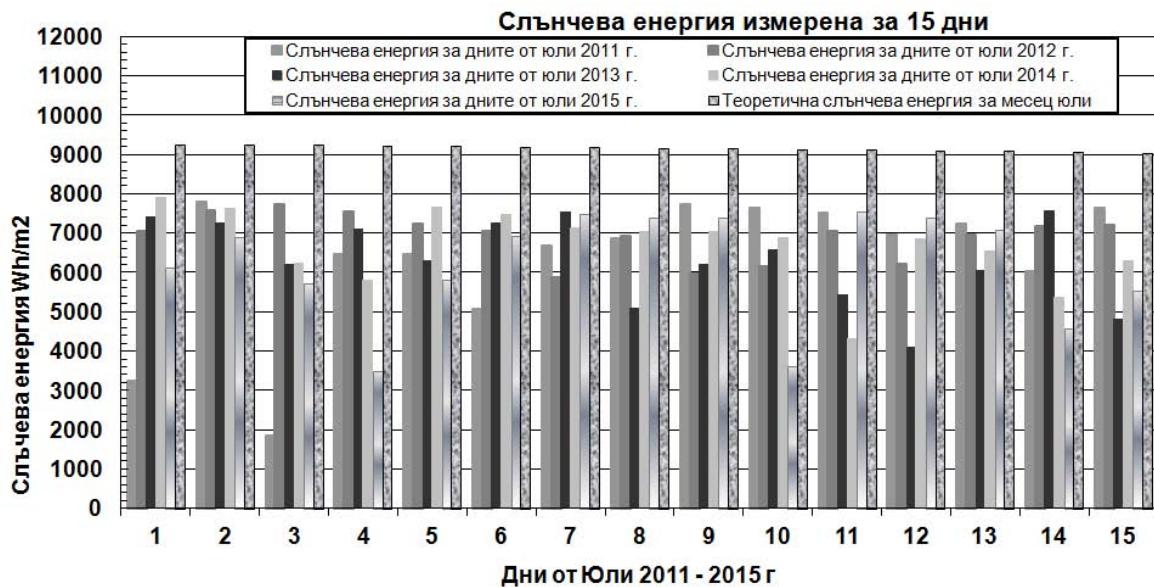
Слънчевата радиация попадаща върху дадена повърхност има две компоненти. Едната е директната радиация, падаща върху повърхността без изменение на посоката. Другата е дифузната радиация, която представлява сумата от разсияната в атмосферата и отразена от почвата и околните предмети радиация, падаща върху дадена повърхност. Наличието на облаци води до отслабване на директната и увеличаване на разсияната 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 разсияната радиация.

3. Изследване на дневния ход на слънчевото грееене

Директно получените данни от метеорологичната станция се запазват във файлове за период от един месец, като за всеки 15 минути е направено по едно измерване. Общия обем на информацията за период от 51 месеца съдържа около 149 000 измервания. След това данните за слънчевата радиация се интегрират по време за всеки час, за всеки ден и за всеки месец за да се получат резултати за измерената слънчева енергия. Общия обем на базата данни е за период от около 5 години. Получените резултати са показани в графичен и табличен вид.

На фиг. 1 е показана измерената слънчева енергия за различни дни за да се види как се изменя слънчевата енергия за един и същи ден, за един и същи месец през съответната година. За пример са избрани първите 15 дни от месеците Юли, тъй като това е месеца с най-интензивна слънчева радиация. Сумарната слънчева енергия за всеки един ден от първите 15 дни на месец Юли 2011, Юли 2012, Юли 2013, Юли 2014 и Юли 2015 години е показана с различни цветове.



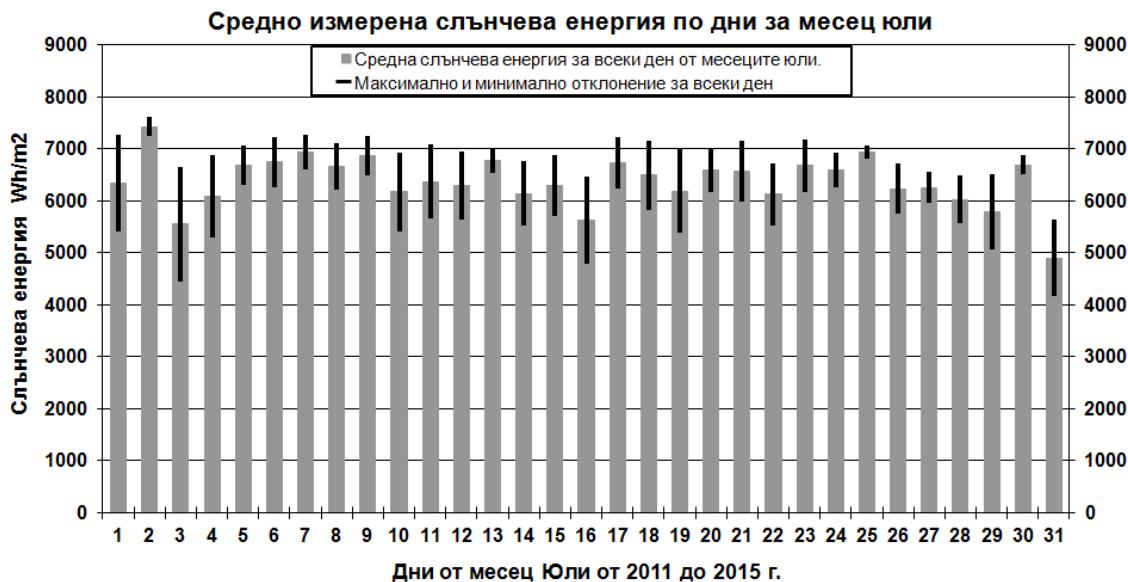
Фиг. 1. Слънчева енергия измерена за всеки ден от 1 до 15 юли от 2011 до 2015 година

С мозаичен сив цвят е оцветена графиката на теоретично изчислената слънчева енергия за всеки един ден. От тази графика се вижда, че през месец Юли се наблюдава бавно намаляване на теоретичната слънчева енергия, в следствие на намаляване на общата излъчена енергия от Слънцето, което пък е следствие на неговото променено положение спрямо зенита. Същата констатация важи и за измерената слънчева енергия за месеците Юли за всички години. Промяната на вариациите на радиацията в следствие на облаците, обаче е по-силна от този тренд. Поради тази причина се наблюдава факта, че слънчевата енергия за различните дни от месеца значително се различава по стойност. Например за почти безоблачните дни 2, 7 и 13 юли стойностите са почти едни и същи, като разликата е по-малка от 1000 wh/m^2 . За сравнение се вижда, че за ден 1 и 3 юли те се променят от 2000 до 7500 wh/m^2 или повече от 5000 wh/m^2 . Въпреки, че височината на слънцето не се променя съществено практически, измерените резултати се различават, защото атмосферата е с различна пропускателна възможност за различните дни. Пропускливоността на атмосферата значително се влияе както от облаци, така и от влага, прах и други замърсители, които погълват слънчевата енергия.

На фиг. 2 е показана средно измерена слънчева енергия за всеки ден от месец Юли в продължение на 5 години. За разлика от фиг. 1 тук е показана средно измерената стойност за посочените години, както и максималните и минимални отклонения за всеки ден.

Със сиви стълбчета е показана средната стойност за всеки ден от месеците Юли, през петте 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 7 ден, когато е минимална спрямо 1 и 3 ден, когато е значително по-голяма. Тази динамика може да се проследи и за останалите дни.

От тук може да се направи заключението, че измерените стойности на слънчевото грееене са значително по-колебливи от теоретичните, което е свързано и с по-големите промени в пропускливоността на атмосферата, както отбележахме 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, каквато е например стойността на 01 Юли 2014 г. и 2 Юли 2011 г. на фиг. 1.

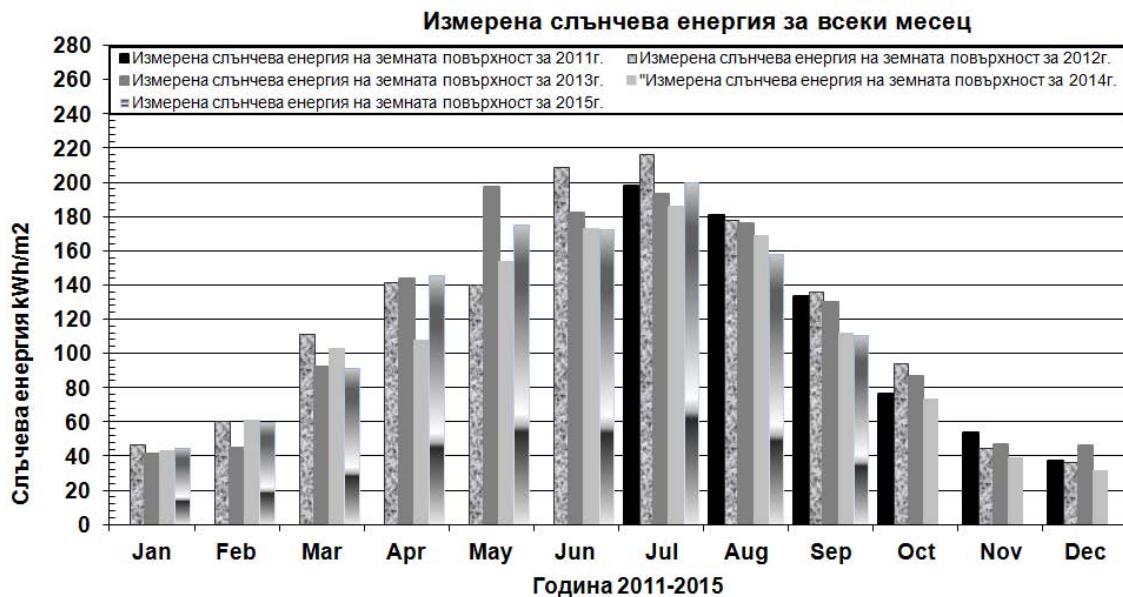


Фиг. 2. Средно измерена слънчева енергия за всеки ден от месец Юли от 2011 до 2015 г.

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 ултравиолетовия и в далечния инфрачервен диапазон. Коя от компонентите какво влияние оказва тук не може точно да се посочи, но в случая е важно каква част от енергията достига до повърхността на земята.

4. Изследване на месечния ход на слънчевото греене

На фиг.3 са показани стойностите на слънчевата енергия измерена за всеки месец в продължение на около 5 години. За всяка една от петте години стълбчетата, показващи съответните месечни стойности са изобразени с различен цвят.

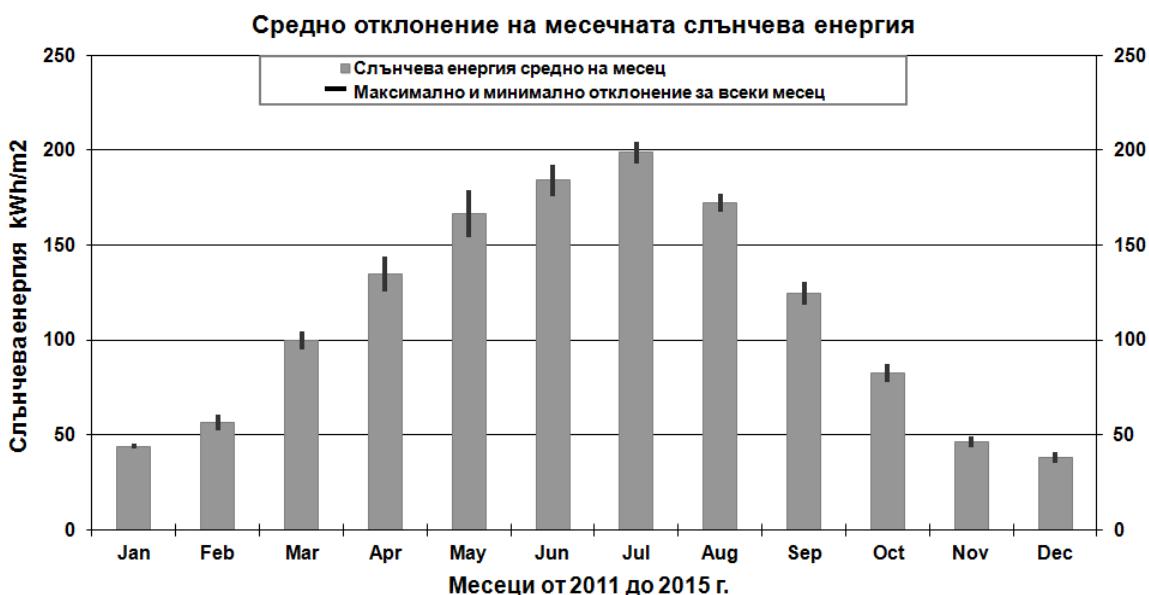


Фиг. 3. Слънчева енергия измерена за всеки месец от 2011 до 2013 г.

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 показани на фиг. 3, е много по-малка отколкото тази на едноименните дни показана на фиг. 2 и фиг. 1.

На фиг. 4 е показана средно измерената слънчева енергия за всеки месец в продължение на 5 години, за разлика от фиг. 3, където са показани действителните стойности на месеците. Със сиви стълбчета е показана средната месечна стойност, а с черни линии е отбелязано минималното и максимално отклонение от средната стойност за всеки месец.



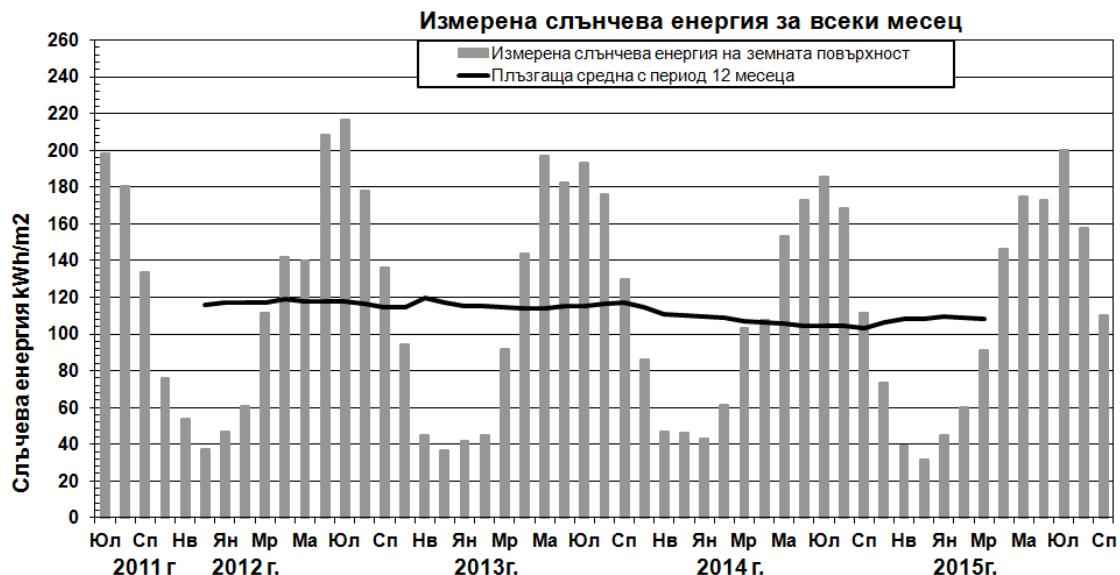
Фиг. 4. Средно измерена слънчева енергия за всеки месец

На тази графика още по-добре се вижда по-малката динамика в месечното отклонение спрямо дневното. Например за едни и същи дни от месеците Юли 2011, Юли 2012, Юли 2013, Юли 2014 и Юли 2015 години, показани на фиг. 1 и фиг. 2 измерената слънчева енергия се различава значително, както отбелязахме по-горе, но за четирите или петте едноименни месеца показани на фиг. 3 и фиг. 4 общият добив е почти един и същ. Числовите данни за ден 1, съответно за 1 Юли 2011 г. с измерена стойност 3200 Wh/m^2 , спрямо 1 Юли 2014 г. с измерена стойност 7800 Wh/m^2 показват динамика от 2.5 пъти, а за ден 3-ти съответно за 3 Юли 2011 г. с измерена стойност 1800 Wh/m^2 спрямо 3 Юли 2012 г. с измерена стойност 7600 Wh/m^2 показват динамика повече от 4 пъти. В същото време разликата в измерената енергия за петте месеца Август от 2011 до 2015 г. е по-малка от 14 %, което се вижда от месечното разпределение, показано в таблица 1, намираща се по-долу в текста. Подобни минимални разлики се получават и за другите месеци. Например за месеците Януари, Юли и Август тя е по-малка от 16 %, а най-голяма е за месец Декември – само 39%. С други думи наблюдаваме едно усредняване на месечна база. Тези първоначални резултати, въпреки че не са достатъчно продължителни, дават основание да се предположи, че колкото периода на измерване е по-голям, толкова отклоненията от средната стойнос са по-малки.

На фиг. 5 е показано месечното разпределение на слънчевата енергия от месец Юли 2011 година до месец Септември 2015 година, заедно с центрирана пъзгаща се средна с период 12 месеца в продължение на около 4,5 години.

Със сиви стълбчета е отбелязана стойността на измерената енергия за всеки месец, а с по-тъмната линия стойността на пъзгащата се математическа средна.

От графиката се вижда, че стойността на пъзгащата се математическа средна е почти постоянна, т.e. 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.



Фиг. 5. Плъзгаща се центрирана математическа средна на слънчева енергия по 12 месеца

В таблица 1 са показани измерените и средни стойности за всички месеци в периода от 2011г. до 2015г. В предпоследната графа е изчислена разликата между максималната и минималната стойност за едноименните месеци за този период. В последната колонка са дадени в процентно съотношение тази разлика към средната стойност за съответния месец.

Табл. 1. Разпределение на слънчевата енергия по едноименни месеци

Месец	2011 г. kWh/m ²	2012 г. kWh/m ²	2013г. kWh/m ²	2014 kWh/m ²	2015 kWh/m ²	Средно kWh/m ²	Макс. разлика kWh/m ²	Отклонение [%]
Януари		46,81	41,71	42,84	44,66	44,00	5,09	11,58
Февруари		60,61	44,73	61,06	59,80	56,55	16,33	28,88
Март		111,37	91,99	102,87	91,40	99,40	19,98	20,09
Април		141,64	143,90	107,51	145,95	134,75	38,44	28,52
Май		140,16	197,13	153,44	174,96	166,42	56,96	34,23
Юни		208,63	182,14	172,81	172,84	184,10	35,81	19,45
Юли	198,12	216,48	193,01	185,83	200,11	198,71	30,65	15,42
Август	180,65	178,12	176,19	168,63	157,93	172,31	22,72	13,19
Септември	133,48	136,14	130,09	111,70	110,44	124,37	25,69	20,65
Октомври	76,15	94,24	86,36	73,13		82,47	21,11	25,60
Ноември	53,87	45,10	46,96	39,14		46,27	14,73	31,85
Декември	37,48	36,81	46,22	31,39		37,97	14,82	39,04

От таблица 1 се вижда, че максималните стойности на средната слънчева енергия от 198.71 kWh/m² 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 теорично максималната радиация, а за късните есенни и наблюдаваните зимни месеци за 2011 – 2014 г, тя е около 30% от теорично максималната радиация. Доколкото слънчевата енергия е акумулираната във времето слънчева радиация тази констатация би трябвало да се отнеса и за нея. Теоричната слънчева енергия от фиг. 1 за месец Юли съгласно формула 1 е:

$$(1) \quad E_{teor} = \frac{9.1 \times 31}{0.81} = 348 \frac{kWh}{m^2},$$

където използваме коригиращия коефициент 0.81, съгласно т. 2, в която споменаваме, че „общо около 19% от слънчевата енергия не достига долните слоеве на земната повърхност [4].“

От друга страна, средно измерената слънчева енергия за месец Юли от таблица 1 е 198,71 kWh/m². От тук получаваме, че реалните стойности на измерената слънчевата енергия за регион Стара Загора в следствие на облачността през летните месеци е 56.9 % от теоретично максималната енергия, което много добре съвпада с теорията.

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 на четирите години се различават значително. Това е показателно, че факторите, които влияят на слънчевата енергия като облаци, прах и други, имат случаен характер, но с течение на времето за по-дълги периоди взаимно се компенсират и осредняват. При анализа на базата данни натрупана до 2013 година, т.е. в съответния предходен доклад, констатирахме, че през преходните месеци от един сезон към друг стандартното отклонение в слънчевото грееене е относително по-голямо, а когато се установи сезона то става по-малко. Така например за типично зимния месец Декември то беше 0.5%, за типично пролетния Април 1.6%, а за типично летният Август 2.2%. Обратно, за преходния месец Май то беше 40.3%, за Март 13.7%, а за месец Октомври 9.15%. С добавяне на данните през 2014 година в миналия доклад се получи малка корекция в тази тенденция. Най-големите отклонения леко се изместяват към средния пролетен и началото на летния сезон. От таблица 2 се вижда, че най-големите отклонения са съответно за месец Април 20.4%, Май 29.8% и Юни 18.6%. За есенните месеци отклоненията леко намалят – Октомври до 9.1% и Ноември 4.6%. Най-малки вече се оказват отклоненията през зимните месеци съответно за месец Декември 4.6% и Януари 2.7%.

Табл. 2. Разпределение на слънчевата енергия по месеци

Месец	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Стойности												
2011 г. kWh/m ²							198	181	133	76	54	37
2012г. kWh/m ²	47	61	111	142	140	209	216	178	136	94	45	37
2013г. kWh/m ²	42	45	92	144	197	182	193	176	130	86	47	46
2014г. kWh/m ²	43	61	103	108	153	173	186	169	112	73	39	31
2015г. kWh/m ²	45	60	91	146	175	173	200	158	110			
Средна стойност	44	56	99	135	166	184	199	172	124	82	46	38
Стандартно Отклонение	2.2	7.9	9.6	18.2	25.0	16.9	11.4	9.2	12.3	9.7	6.1	6.1
Относителен Спад [%]	5.1	13.9	9.6	13.5	15.0	9.2	5.7	5.3	9.9	11.7	13.1	16.2

От анализа за 2015 година с добавяне на новите данни наблюдаваме отново леки промени в стандартното отклонение. Най-малко е стандартното отклонение за месеците както следва : Ноември – 6.1, Дедември – 6.1 и Януари – 2.2. Най-голямо е през месеците както следва : Април – 18.2, Май – 25.0, Юни – 16.9. Едно от възможните обяснения на тези факти е, че през зимните месеци наличието на прах и влага са едни по-постоянни величини, докато за пролетно-летните месеци тези компоненти в атмосфетата са с по-динамичен характер.

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 слънчевата енергия за период от 1 година между 2 едноименни месеца, а в колонка 3 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 1389 kWh/m², а средномесечната изчислена от плъзгащата се математическа средна е 115.7 kWh/m² на месец. Динамиката на средната годишна стойност се вижда от максималните показанията за периода Юни 2012г. – Май 2013г., които са 119.6 и минималните за периода Април 2014г. – Март 2015г., които са 103.3. В колонка 4 е изчислена средната годишна стойност за всички 12-месечни периоди и тя е 112.4 kWh/m². В колонка 5 е показана разликата между месечната стойност за всеки период в колонка 3 и средната стойност в колонка 4. В колонка 6 е изчислена същата разлика в проценти. Най – голяма разлика се получава за периода Април 2014г. – Март 2015г., с показание – 9.1 kWh/m² или 8.8 %, а най – малка за периода Ноември 2012г. – Октомври 2013г. с показание – 1.7 kWh/m² или 1.5 %. Такива малки отклонения има и за редица други годишни изчисления показани в колонка 5 и 6. Тези ниски разлики показват, че едногодишните стойности се различават твърде малко по отношение на енергийния добив за разлика от

месечните (таблица 2), където отклоненията са относително по-големи и дневните, където са най-големи.

Табл. 3. Разпределение на слънчевата енергия по години

Период	Сл. енергия за година [Kwh/m ²]	Матем. сред. за месец [Kwh/m ²]	Средна стойн. год. [Kwh/m ²]	Разлика [Kwh/m ²]	Разлика [%]
1	2	3	4	5	6
Юли 2011 – Юни 2012	1389	115.7	112.4	3.3	2.9
Авг. 2011 – Юли 2012	1407	117.3	112.4	4.9	4.2
Септ. 2011 – Авг. 2012	1405	117.1	112.4	4.7	4.0
Окт. 2011 – Септ. 2012	1407	117.3	112.4	4.9	4.2
Ноем. 2011 – Окт. 2012	1426	118.8	112.4	6.4	5.4
Дек. 2011 – Ноем. 2012	1417	118.1	112.4	5.7	4.8
Ян. 2012 – Дек. 2012	1416	118.0	112.4	5.6	4.8
Февр. 2012 – Ян. 2013	1411	117.6	112.4	5.2	4.4
Март 2012 – Февр. 2013	1395	116.3	112.4	3.9	3.3
Апр. 2012 – Март 2013	1376	114.6	112.4	2.2	2.0
Май 2012 – Апр. 2013	1378	114.8	112.4	2.4	2.1
Юни 2012 – Май 2013	1435	119.6	112.4	7.2	6.0
Юли 2012 – Юни 2013	1408	117.4	112.4	5.0	4.2
Авг. 2012 – Юли 2013	1385	115.4	112.4	3.0	2.6
Септ. 2012 – Авг. 2013	1383	115.3	112.4	2.9	2.5
Окт. 2012 – Септ. 2013	1377	114.8	112.4	2.4	2.1
Ноем. 2012 – Окт. 2013	1369	114.1	112.4	1.7	1.5
Дек. 2012 – Ноем. 2013	1371	114.3	112.4	1.9	1.6
Ян. 2013 – Дек. 2013	1380	115.0	112.4	2.6	2.3
Февр. 2013 – Ян. 2014	1382	115.1	112.4	2.7	2.4
Март 2013 – Февр. 2014	1398	116.5	112.4	4.1	3.5
Апр. 2013 – Март 2014	1409	117.4	112.4	5.0	4.3
Май 2013 – Апр. 2014	1372	114.4	112.4	2.0	1.7
Юни 2013 – Май 2014	1329	110.7	112.4	-1.7	-1.5
Юли 2013 – Юни 2014	1319	109.9	112.4	-2.5	-2.2
Авг. 2013 – Юли 2014	1312	109.3	112.4	-3.1	-2.8
Септ. 2013 – Авг. 2014	1305	108.7	112.4	-3.7	-3.4
Окт. 2013 – Септ. 2014	1286	107.2	112.4	-5.2	-4.9
Ноем. 2013 – Окт. 2014	1273	106.1	112.4	-6.3	-6.0
Дек. 2013 – Ноем. 2014	1265	105.4	112.4	-7.0	-6.6
Ян. 2014 – Дек. 2014	1250	104.2	112.4	-8.2	-7.9
Февр. 2014 – Ян. 2015	1252	104.3	112.4	-8.1	-7.7
Март 2014 – Февр. 2015	1251	104.2	112.4	-8.2	-7.8
Апр. 2014 – Март 2015	1239	103.3	112.4	-9.1	-8.8
Май 2014 – Апр. 2015	1278	106.5	112.4	-5.9	-5.6
Юни 2014 – Май 2015	1299	108.3	112.4	-4.1	-3.8
Юли 2014 – Юни 2015	1299	108.3	112.4	-4.1	-3.8
Авг. 2014 – Юли 2015	1314	109.5	112.4	-2.9	-2.7
Септ. 2014 – Авг. 2015	1303	108.6	112.4	-3.8	-3.5
Окт. 2014 – Септ. 2015	1302	108.5	112.4	-3.9	-3.6
Средна стойност	112.4				
Стандартно отклонение	4.91				
Относителен спад [%]	4.36				

В последните редове на табл. 3 са пресметнати стандартното отклонение за всички едногодишни периоди и относителният спад. Те са съответно 4.91 Kwh / m² и 4.36 % съответно. Тези ниски стойности още веднъж показват, че отклоненията в слънчевата радиация и респективно в слънчевия енергиен добив на годишна база са много ниски. В този смисъл дори и краткосрочните изследвания ще дават много точни прогнози за следващите години.

Тази констатация ни дава основание да пресметнем средногодишен добив (СГД) на електроенергия в регион Стара Загора:

СГД = Средномесечна енергия x 12 месеца. От тази формула получаваме:

$$(2) \quad СГД = 112.4 \times 12 = 1348.8 \text{ kWh/m}^2$$

или приблизително 1350 kWh/m^2 .

5. Заключение

В сайта EMDE Solar (www.emde-solar.com) е посочена стойност за слънчев добив на енергия от минимум 1314 kWh/m^2 до максимум 1510 kWh/m^2 като годишна база в регион Стара Загора или средно 1412 kWh/m^2 . Този диапазон сравнително точно съвпада с получените от нас резултати от 1350 kWh/m^2 . При нас стандартното отклонение съгласно таблица 3 е значително по-малко и има стойност 4.91 kWh/m^2 или 4.36% . Възможно е, чистата стойност на нашето отклонение да се дължи на факта, че измерванията са правени в една точка, но от друга страна, средните стойности на двете независими измервания съвпадат много точно.

От теоретична гледна точка споменахме много фактори, които оказват същественно 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 подтискане 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 и осредняват.

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. Davis Instruments Corp. *Vantage Pro2 Plus. Reference Guide*.
2. Meeus, J. *Astronomische Algorithmen*, Johann Ambrosius BarthVerlag, Leipzig-Berlin-Heidelberg, 1993
3. Lean, J.L., *Solar irradiance and climate forcing in the near future*, Geophys. Res. Lett. 28, pp. 4119-4122, 2001.
4. Roedel, W. *Physik unserer Umwelt*, 2. Aufl., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S.48, 1994.

MAGNETORESISTIVE VECTOR MAGNETOMETER USED IN GEOMAGNETIC APPLICATIONS – FIRST RESULTS

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: Anisotropic magnetoresistance, vector magnetometer, geomagnetic research.

Abstract: A new magnetoresistive vector magnetometer with improved thermal stability has been developed. The instrument is installed in an observational place without magnetic disturbances near the Stara Zagora city. A comparative analysis between collected geomagnetic data and data from different INTERMAGNET observatories is made. Preliminary results show similarity in the observed time series and in the dynamics of registered geomagnetic processes.

МАГНИТОРЕЗИСТИВЕН ВЕКТОРЕН МАГНИТОМЕТЪР С ПРИЛОЖЕНИЕ В ГЕОМАГНИТНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ – ПЪРВИ РЕЗУЛТАТИ

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: Анизотропна магниторезистивност, векторен магнитометър, геомагнитни изследвания.

Резюме: Разработен е нов магниторезистивен векторен магнитометър с подобрена температурна стабилност. Инструментът е инсталзиран в чист от магнитни смущения наблюдателен пункт, намиращ се недалеч от гр. Стара Загора. Направен е сравнителен анализ на получените данни с данните от различни геомагнитни обсерватории от мрежата INTERMAGNET. Предварителните резултати показват сходство в наблюдаваните времеви редове и в динамиката на регистрираните геомагнитни процеси.

Introduction

The anisotropic magnetoresistive (AMR) effect in ferromagnetic materials was discovered by William Thomson (Lord Kelvin) in 1856. It takes more than a century until the advance of the thin-film technologies allowed its practical use. Sensors based on this effect are suitable for industrial applications with strong magnetic fields and for measurements within the range of the Earth's magnetic field. Modern implementations of such type of sensors show sensitivity, frequency response and signal-to-noise ratio comparable and sometimes superior to those shown in the conventional magnetometers used in geophysical research, such as a fluxgate magnetometer, proton precession magnetometer or magnetometers based on the effect of Overhauser. Moreover, AMR sensors are superior in terms of low cost, miniature size and negligible electric current consumption. From this point of view, naturally arises the question of their applicability in geomagnetic research. An attempt to give a short preliminary answer to this question is the essence of this report.

Magnetometer description

The new vector magnetometer (Fig. 1) is an advanced version of the previously used USB portable magnetoresistive magnetometer muMeter [1] [2]. Present instrument implements a system for temperature stabilization of the magnetic sensor, based on the negative feedback with PI

(Proportional, Integral) algorithm implemented through PWM (Pulse Width Modulation) with variable duty cycle, driven by the embedded microcontroller. The magnetic measuring module and the temperature sensor are mounted on the PCB in adjacent places, so that the temperature of both chips is established to be the same through a common aluminium block mounted on top of them. For better contact between surfaces thermally conductive compound is used. A non-magnetic resistor, embedded inside in the aluminium block, acts as a heater. The controlling system uses single N-channel MOSFET connected as a low-side switch to drive the current through the heating resistor.

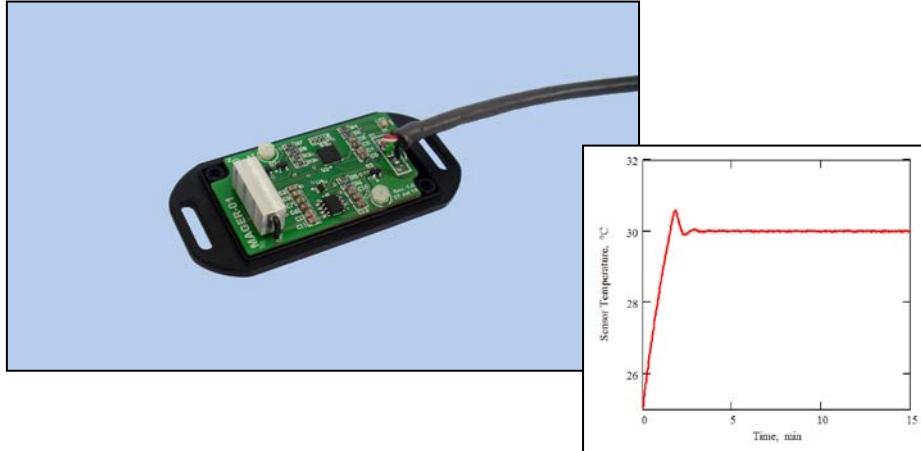


Fig. 1. Common view of the magnetometer and result of the sensor temperature stabilization system operation

The signal of the temperature sensor is digitized by an ADC and is fed to the microcontroller, where is numerically processed in order to calculate the current duty cycle value of the PWM. A minimum limit of 40% duty cycle is set (values vary between 40% and 100%) and the magnetic data are obtained during the off-state time (from 0% to 40%) in order to avoid interference with the current flowing through the heating resistor (remaining leakage current of the MOSFET is with magnitude of tens of nA and in this case can be ignored). The temperature control system operates with frequency of 4 Hz. Fig. 1 shows the common view of the magnetometer with the aluminium heating block. On the right bottom corner of the image is demonstrated the result of the operation of the temperature stabilization system. Notice the initial settling time for the temperature around its final set value. The achieved accuracy is better than 0.01 °C at 1 Hz sampling frequency.

Installation and operation

The instrument is installed in the observational place 12 km far from Stara Zagora city. The location was chosen as a relatively easily accessible and yet far enough from the city in order to minimize magnetic interference of the urban environment. Magnetometer was placed in a watertight plastic box, mounted on the bottom of the special non-magnetic shaft, dug into the ground at a depth of about 1m. Control is fully automatic and is carried out by a PC workstation placed at a distance of 10m from the shaft. The data are saved to the computer hard disk in continuous mode as a text format files with sampling frequency of 1Hz. Time is recorded as UTC (Coordinated Universal Time) and synchronization is done via Wi-Fi connection to the Internet. Prior the installation the magnetometer was calibrated *in situ* following the procedure described in [3].

Results

In the initial analysis of magnetometer data a residual dependence from daily variations of the ambient temperature was established. Although with a thermo stabilizing system of the magnetic sensor, described earlier, the device as a whole is placed in an environment without constant ambient temperature and its drift affects the work of the other electronic components in the magnetometer circuit. In order to reduce this effect we use the following procedure: the relation between uncorrected observational data and ambient temperature T_a , found in the form of third-degree least-squares regression polynomial is subtracted from the raw magnetometer data, or:

$$(1) \quad F_{corr} = F_{raw} - (a_3 \cdot T_a^3 + a_2 \cdot T_a^2 + a_1 \cdot T_a + a_0),$$

where F_{corr} and F_{raw} are corrected and raw values of the magnetometer data respectively, a_0 to a_3 are coefficients of calculated third-degree polynomial. A similar procedure is described in [4], with the difference that there is used a linear function of temperature. Fig. 2 depicts Stara Zagora corrected data averaged to one-minute samples and filtered with a 5-minute bidirectional low-pass digital filter and the minute data series from three different INTERMAGNET (International Real-time Magnetic Observatory Network) geomagnetic observatories situated in the region of Eastern Europe. As an attempt of preliminary analysis we can emphasize the fact of nearly perfect correlation (coefficient of correlation is more than 96%) between Stara Zagora series and the other observational data.

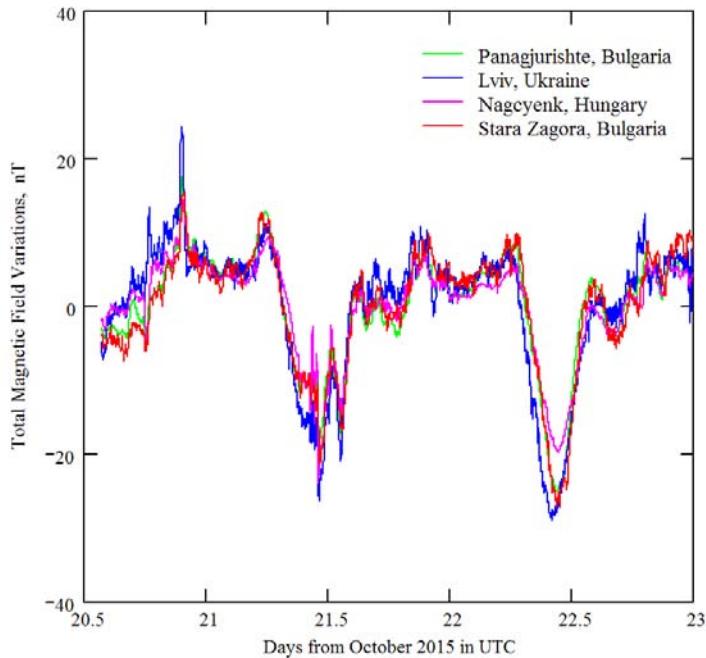


Fig. 2. Stara Zagora geomagnetic data and minute-format data from three INTERMAGNET geomagnetic observatories. Our data are filtered with 5-minute low-pass bidirectional filter. Series cover the period from 20th to 23th October, 2015.

Conclusions

A new AMR magnetometer with improved temperature stabilization of the magnetic sensor has been developed (and reported in this work). The obtained results are demonstrated in comparison with the results of other geomagnetic observatories located in the region of Eastern Europe. Preliminary analysis shows a high correlation between our instrument data and those of the other observatories (the correlation coefficient is higher than 96%).

As a future work, we plan to improve the conditions at which the magnetometer is placed in order to reduce the influence of the ambient temperature to the recorded geomagnetic data series.

References:

1. Benev, B., A. Stoev, P. Stoeva, "Portable 3D magnetometer for local geomagnetic field disturbance measurements", *SES 2012*, pp. 345-347, 2013.
2. Stoev, A., P. Maglova, B. Benev, "Investigation of the variations of geomagnetic activity on the territory of ancient rock sanctuaries", *SES 2012*, pp. 76-81, 2013.
3. Renaudin, V., A. Muhammad, G. Lachapelle, "Complete triaxis magnetometer calibration in the magnetic domain", *Journal of Sensors*, vol. 2010, article ID 967245, 2010.
4. Uozumi, T., K. Yumoto, K. Kitamura, S. Abe, T. Omoto and MAGDAS Group, "A calibration technique for temperature drift of MAGDAS magnetometer data", *Earth & Planet. Sci.*, vol. XXXII, No. 2, pp. 95-104, 2009.

КОСМИЧЕСКИ РАДАРИ ЗА ДИСТАНЦИОННО НАБЛЮДЕНИЕ НА ЗЕМЯТА

Иван Здравков¹, Дарин Михов², Драгомир Дочев¹

¹ДП „Ръководство на въздушното движение“

²Единбургски университет, Факултет по информатика

e-mail: ivanzdrav@gmail.com, dmmihov@gmail.com, dragomir.dochev@bulatsa.com

Ключови думи: космически радари, дистанционно наблюдение на земята, синтезирана апертура, разрешаваща способност.

Резюме: Извършен е аналитичен обзор на съществуващите станции с космическо базиране за дистанционно наблюдение на Земята. Формулирани са възможностите и задачите, които решават радарите със синтезирана апертура (PCA). Направен е анализ на техническите параметри на тези радари, като основно внимание е отдалено на разрешаващата им способност. В изводите са посочени насоките за повишаване ефективността на работа на PCA.

SPACE RADARS FOR REMOTE EARTH SURVEILLANCE

Ivan Zdravkov¹, Darin Mihov², Dragomir Dochev¹

¹Bulgarian Air Traffic Services Authority

²University of Edinburgh, School of Informatics

e-mail: ivanzdrav@gmail.com, dmmihov@gmail.com, dragomir.dochev@bulatsa.com

Keywords: space-based radar, remote Earth surveillance, synthetic aperture, resolution

Abstract: An analytical survey of existing space-based stations for remote Earth surveillance has been achieved. The abilities and the tasks of Synthetic-aperture Radars (SAR) have been formulated. The technical parameters of the above radars have been analyses with emphasis placed on their resolution. Further development aiming to increase effectiveness of SARs has been outlined in the conclusion.

Въведение

В настояще време все по-широко приложение във всички области на човешката дейност намира информацията, получавана от космоса с помощта на космически апарати за дистанционно наблюдение на Земята (ДНЗ). Използването на тази информация е толкова поголямо и значимо, колкото тя е по-качествена и достоверна.

Широките възможности за дистанционно изучаване на Земята от космоса се появиха в края на 60-те години на миналия век при внедряването на изследванията на скенерни и радиолокационни методи, разработени за военното разузнаване. Те позволиха да се извършват снимки в неизползвани по-рано диапазони на електромагнитните вълни и получаване на качествено нова информация, в това число изображения на различни участъци от повърхността на Земята. Появиха се такива методи на заснемане, като многозонално и инфрачервено фотографиране, топлинни и пасивни методи за картографиране в СВЧ диапазон. Системите, работещи на основата на тези методи, позволяват да се събират данни за повърхността на Земята по пътя на анализа на нейните СВЧ и инфрачервени излъчвания и отразените електромагнитни колебания в видимата и близката инфрачервена област на спектъра. Всичките датчици на тези системи са пасивни, т.е. възприемат само тази енергия, която се излъчва от повърхността на Земята или се преизлъчва от нея в процеса на отразяване на слънчевото излъчване. Съгласно приетата класификация на космическото разузнаване,

пасивните космически системи за наблюдение са космическо фоторазузнаване и оптоелектронно космическо разузнаване.

Принципно нови възможности осигуряват радиолокационните системи, работещи в микровълновия диапазон на електромагнитните вълни. Това са активни системи, установени на борда на космическия апарат за ДНЗ, които излъчват тяснонасочен високочестотен електромагнитен импулсен сигнал и приемат отраженията му от сканираната земна повърхност. Доколкото тези системи използват своя собствена енергия на излъчване, те могат да работят по всяко време на деновонощето и при всякакви климатични условия. Излъчванията от тях сигнал преминава безпрепятствено през облаци, дъжд и мъгла, а при определена дължина на вълната – и през листата на дърветата и слой суха почва. На практика се използват както радиолокационни станции (РЛС) с реална апертура (наричани още некохерентни РЛС) и РЛС със синтезирана апертура на антената – наричани кохерентни РЛС. Разрешаващата способност на некохерентните РЛС се определя от реалните размери на антената и тяхното предимство е относителната простота на самия радиолокатор и системата за обработка на информацията, а също така и широката полоса на обзора. Основния им недостатък е низката разрешаваща способност. Кохерентните РЛС притежават по висока разрешаваща способност, но изискват много по-сложна система за обработка на сигналите. По тези причини в доклада, от многото космически апарати за ДНЗ, ще бъдат разгледани само системите, снабдени с РСА.

Състояние и възможности на съвременните космически радари със синтезирана апертура

Радиолокационните системи представляват най-универсалните и информативни датчици за дистанционно наблюдение в микровълновия диапазон. Най-широко практическо приложение в настояще време намират РЛС със синтезирана апертура. Принципа им на действие се основава на възможността за преместване на бордовата антена на РЛС за последователно формиране на антenna решетка с големи размери по траекторията на полета. При това бордовата антена има неголеми размери и достатъчно широка диаграма на насоченост. Независимо от сложните технически решения и високата цена на РСА, тяхната разработка и експлоатация позволява да се решават множество важни задачи, често достъпни само на дадения способ за дистанционно наблюдение. Интересно е да се отбележи, че сравнително еднакви от техническа гледна точка радари, изпълняват различни информационни задачи. За Канада - това са наблюдение на арктическите ледове, за Китай – мониторинг на морската акватория, за Италия – картографиране, за Израел – следене на територията на Иран, и т.н. Европейският спътник “ERS” пък е със сравнително ниска разделителна способност (20 – 30 m), но информацията, получавана от борда му, активно се използва от страните на НАТО за откриване на кораби и следене на обстановката на море. Именно тези системи намират широко приложение и при решаване на навигационни задачи.

Освен орбиталните параметри на движение, всеки космически апарат (КА) за ДНЗ има редица различни технически характеристики и параметри – излъчвана мощност, честотен диапазон, поляризация на сигнала, ширина на полосата на сканиране, захранване и много други. Но една от най-важните характеристики на системите за наблюдение е разрешаващата способност. Тя може да бъде пространствена и радиометрична (яростна). Радиометричната разрешаваща способност се определя от количеството нива на дискретизация на яростта и зависи от ширината на динамичния диапазон. За практиката обаче по важна е пространствената разрешаваща способност – това е размера на елемент от повърхността, който се възприема като отделна точка.

Пространствената разрешаваща способност зависи от дължината на вълната, размера на апертурата на антената и височината на орбитата по следния начин [1]:

$$(1) \quad r = \frac{\lambda}{D} H$$

където r – пространствена разрешаваща способност; λ - дължина на вълната; D - размер на апертурата на антената; H - височина на полета.

Таблица 1. Основни характеристики на РСА в орбита

Космически апарат	Височина на орбитата. км	Наклон на орбитата. о	Работна дължина на вълната, см (честота GHz)	Пространствено разрешение. м	Ширина на полосата на обзор. км
ERS-1,2	782 x 785	98,5	(5,3)	30	100
ENVISAT	820	98,55	(3,9 – 6,2)	30, 100, 1000	100, 400
JERS	567 x 569	97,7	(1,257)	18	75
ALOS	700	98,1	(1,275)	5-10	70, 250
RADARSAT	743	98,6	(5263)	28, 100	200,300,500
Алмаз – 1А, 1Б	280: 400	72,7	(3), 3,5, 9,6, 70	5 – 7: 20 - 40	20, 70 170
COSMO	600 - 650	98	(9,65)	3; 6 - 12	40, 100-120
COSMO SkyMed 1	614,4 x 633	98,86	3,1; (9,6)	1; 30; 100	10; 40, 200
Lacrosse	676 x 696	68	(9,5 – 10,5)	1; 3; 10-15	2;20; 100
SIR-C/X-SAR (SpaceShuttle)	233 x 240	57	(5,298); (9,6)	8-10; 13-26	15-90
Osiris	600-800	90	3	3 - 5	30 - 50
TeraSAR-X	507,7x512,5	97,45	(9,65)	0,5; 1; 3; 16	5;30;50;150
SAR-Lupe	472,1x516,0	98,16	3		5,5, 8-60
Ofeq	401,8x581,5	41,03	X	1, 1,8, 3, 8	
RISAT	399,2x553,1	94,02	X	1, 1,8, 3, 8	

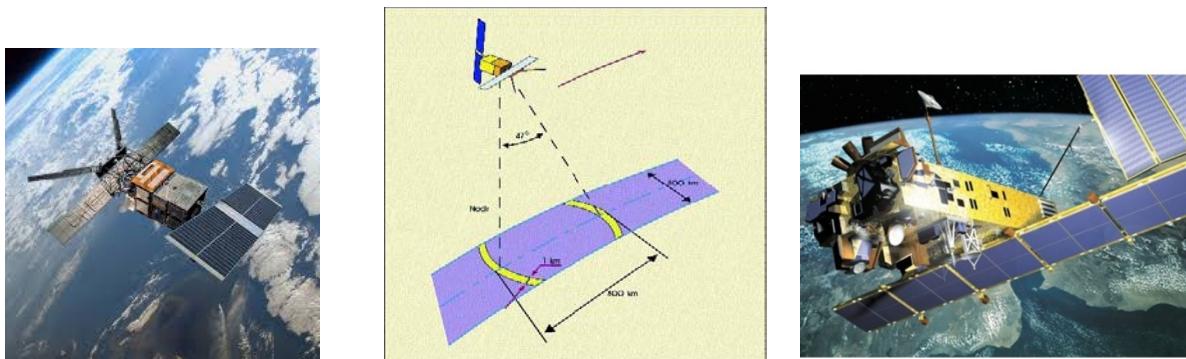
От тази формула е видно, че за получаване на високо пространствено разрешение е необходим стремеж към увеличаване на размера на апертурата на антената и към възможно най-малка дължина на вълната. Следва да се отбележи, че височината на орбитата на космическия РСА не влияе съществено на пространствената разрешаваща способност.

В настоящия момент в орбита около Земята се намират различни типове радари със синтезирана апертура за ДНЗ: ERS, Radarsat, COSMO, SkyMed, TerraSAR, SARLupe, ENVISAT, ALOS и много други, показани в Таблица 1.

Ще разгледаме накратко основните технически характеристики, непоказани в таблицата, на някои от тези системи.

Целевата апаратура на **Европейска космическа система за дистанционно наблюдение на Земята ERS (European Remote Sensing satellite)** включва апаратура за микровълново наблюдение AMI (Active Microwave Instrument), която се монтира и на двата космически апарати ERS-1,2 и осигурява различни режими на работа. Излъчваната мощност е

1270 вата, ширината на спектъра на излъчваните сигнали – $15,5 + 0,06$ MHz, поляризацията на излъчваните и приемани вълни е вертикална линейна, а точността на определяне на височината на наземните обекти е 10 метра.



Фиг. 1. Космически апарати за ДНЗ ERS-1 и ENVISAT-1

Космическия апарат за ДНЗ ENVISAT-1 има в своя състав усъвършенствана радиолокационна система ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar), която е усъвършенстван вариант на РЛС със синтезирана апертура, използван в сериите KA ERS-1,2. Системата ASAR работи на честотите на С-диапазона (7,62 – 4,84 см) и осигурява наблюдение на до седем избираеми полоси по трасето на KA с община ширина 100 км. и разрешение 30 м. или на една полоса с ширина 400 км. с разрешение 1 км.

Японския KA за разузнаване на природни ресурси JERS (Japan Earth Resources Satellite, японско название Fuyo-1) представлява PCA с реални размери на антената $11,9 \times 2,5$ м. Предназначен е за целогодишни снимки на земната повърхност и бреговата зона на морето и получаване на радиолокационни изображения с висока разрешаваща способност.

Японския KA за разузнаване на природни ресурси ALOS (Advanced Land Observation Satellite) има на борда си радиолокационна система VSAR, осигуряваща пределно пространствено разрешение 5 м. по трасето на движение при ширина на полосата на обзор 70 км.

Канадската система за разузнаване на природните ресурси на Земята RADARSAT (Radar Satellite) е с размери на антената на РЛС $15,0 \times 1,5$ м. Многофункционалния PCA е предназначен за целогодишни снимки на повърхността на планетата, наблюдение движението на корабите и преместването на ледовете, картографиране на земната повърхност. Работната честота на KA **RADARSAT** е 5,263 GHz, пространственото разрешение 9 – 100 м. в зависимост от режима на работа, линейно-хоризонтална поляризация на излъчваните и приемани сигнали, средна излъчвана мощност – 300 W, импулсна мощност – 5 KW, продължителност на импулса – 42,0 мкс, честота на повторение на импулсите – 1270-1390 GHz. РЛС може да изменя полосата на обзор спрямо трасето на космическия апарат.



Фиг. 2. Японски космически апарати за ДНЗ JERS и ALOS

Радиолокационната система със синтезирана апертура на КА Алмаз-1А от Руската програма „АЛМАЗ“ включва две вълноводни антennи решетки с размери 15 x 1,5 м., формиращи два отделни лъча и има следните характеристики: работна честота – 3 GHz., пространствено разрешение – 15 м., поляризация на сигналите – линейно-хоризонтална, излъчвана мощност – 190 W, продължителност на импулсите – 0,07 и 0,1 мсек. и честота на повторение на импулсите – 3 KHz.

Като продължение на програмата „АЛМАЗ“ е създаден КА Алмаз – 1Б, бордовия радиолокационен комплекс на който се състои от три подсистеми, осигуряващи наблюдение на различни честоти и различни режими:

- PCA-3 – работна дължина на вълната 3,5 см., разрешение на местността 5-7 м., ширина на полосата на обзор 20-35 км.;
- PCA-10 - работна дължина на вълната 9,6 см., разрешение на местността 5-7 м., ширина на полосата на обзор 30-55 км. (детайлрен режим), разрешение на местността 15 м., ширина на полосата на обзор 60- 70 км. (междинен режим), разрешение на местността 15-40 м., ширина на полосата на обзор 120- 170 км.(обзорен режим);
- PCA-70 - работна дължина на вълната 70 см., разрешение на местността 20-40 м., ширина на полосата на обзор 120-170 км.;



Фиг. 3 Космически апарати за ДНЗ RADARSAT, Алмаз-1А и COSMO

Космическите апарати за ДНЗ COSMO (Италия, Испания, Гърция) са оборудвани с РКА, работещ на честота 9,65 GHz, която осигурява пространствено разрешение 3 м. при ширина на полосата на обзора 40 км. и 6-12 м. при полоса 120 км.

Орбиталната групировка с двойно назначение COSMO-SkyMed (Италия) има в състава си четири космически апарати. Те са оборудвани с радар SAR-2000 със синтезирана апертура с размери на антената 5,7 x 1,4 м. Радиолокатора работи в X-диапазон (работна дължина на вълната – 4,64 – 2,75 см. и 3,1 см.). В различните режими на работа той осигурява пространствено разрешение 1 м., 3-15 м., 30 м. и 100 м. при съответна ширина на полосата на обзора 10 x 10 км., 40 км., 100 км. и 200 км.

Френския КА за ДНЗ Osiris е разработен по заявка на Министерството на от branата на Франция и изпълнен от фирми „Matra Markoni“ и „Space Alcatel Espase“. Космическият апарат има РКА от сантиметровия диапазон, който осигурява разрешаваща способност 3 – 5 м. при ширина на полосата на обзора 30 – 50 км.

Техническите характеристики и възможности на останалите космически апарати за ДНЗ с радари със синтезирана апертура – **Lacrosse**, **TerraSAR-X**, **SAR-Lupe**, **Ofeq** – са подробно разглеждани в предишни публикации (3,4,5), и по тази причина тук няма да се спираме на тях.

Изводи

От извършения аналитичен обзор на съществуващите радиолокационни станции с космическо базиране за дистанционно наблюдение на Земята могат да се направят следните изводи:

- все повече държави, освен традиционно космическите, проявяват огромен интерес към разработката и експлоатацията на космически радари със синтезирана апаратура, независимо от сложността и високата стойност на изделията;
- радиолокационната информация е незаменима при екстремни ситуации, решаването на задачи в полярните райони, в картографията, лесовъдството, търсенето на нефт и при навигацията и управление на движението;
- направленията за понататъшното развитие на КА за дистанционно наблюдение на Земята с РСА в голяма степен се определят от изискванията на потребителите на информация, но съществуват теоретични и технически ограничения като енергетичния ресурс на РЛС, сложността на алгоритмите за обработка на информацията, бързодействието на изчислителните машини и пропускателната способност на линиите за предаване на данни;
- теоретичният предел на възможностите на радарите със синтезирана апертура още не е достигнат, затова е необходимо да продължават научните изследвания в търсенето на нови методи, спосobi и средства за повишаване на тяхната ефективност.

Литература:

1. Гущин, В.Н. Основы устройства космических аппаратов, М. Машиностроение, 2003;
2. Тарасенко, П. Ф. Военные аспекты советской космонавтики, Агентство российской печати, Москва, 1992;
3. Пашков, Д.П., Домнин, Национальный университет обороны, 2011, Киев;
4. www.novosti-kosmonavtiki.ru
5. www.infotera.de

ULTRA-WIDEBAND SPACE RADAR – PROSPECTS FOR THE FUTURE

Dragomir Dochev¹, Darin Mihov², Ivan Zdravkov¹

¹Bulgarian Air Traffic Services Authority

²University of Edinburgh, School of Informatics

e-mail: dragomir.dochev@bulatsa.com, dmmihov@gmail.com, ivanzdrav@gmail.com

Key words: Space reconnaissance, Synthetic-aperture Radar (SAR), Ultra-wideband (UWB) radar;

Abstract: The incontestable advantages of space radar systems for remote monitoring of Earth are pointed out in the article. The condition of modern space radar in orbit is described. Projects and their realization for Ultra-wideband (UWB) Synthetic-aperture Space Radar (SASR) are emphasized. The projects „TerraSAR“ and „Аркон-2“ („Arkon-2“) are examined. Main missions resolved by Ultra-wideband space radars are defined.

МНОГОДИАПАЗОННИ КОСМИЧЕСКИ РАДАРИ – ПЕРСПЕКТИВА ЗА БЪДЕЩЕТО

Драгомир Дочев¹, Дарин Михов², Иван Здравков¹

¹ДП „Ръководство на въздушното движение“

²Единбургски университет, Факултет по информатика

e-mail: dragomir.dochev@bulatsa.com, dmmihov@gmail.com, ivanzdrav@gmail.com

Ключови думи: космическо разузнаване, радиолокатори със синтезирана апертура, многодиапазонни радари;

Резюме: В статията са посочени неоспоримите предимства на космическите радиолокационни системи за дистанционно наблюдение на земята. Описано е състоянието на съвременните космически радиолокатори в орбита.. Основно внимание е отделено на проектите и реализацията на многодиапазонни космически радари със синтезирана апертура. Разгледани са проектите „TerraSAR“ и „Аркон-2“. Дефинирани са основните задачи, решавани от многодиапазонните космически радари.

I. Introduction

According to expert opinion about the twenty first century, a tendency exists for satellite radar monitoring systems and they are to be used not only for control over missions in emergency situations by modern military and civil agencies, but also as a powerful tool aiming to boost the economy and modern technology. With this in mind the volume of the gathered radiolocation images and their trading by the world market will increase rapidly compared to the rate of gathering and trading of optic images. Possible areas of practical application of the images gathered by space radar include areas of interest for power agencies, oil and gas companies and also organizations dealing with geological investigation, hydro-meteorological and ecological monitoring, cartography, evaluation for agricultural yields, etc.

Space radar monitoring systems have many indisputable advantages:

- independent of meteorological conditions or time of the day;
- combination of a wide lane of large distances and high resolution;
- multiple regimes and flexibility for control of the work of Synthetic-aperture Radars (SARs), allowing fast corrections of the location and size of the area monitored, resolution and forms for presenting of the information;
- high operation capabilities for receiving data from drilling, close to the actual time scale.

Radar data are invaluable in extreme situations, problem solving in polar regions, cartography, forestry, finding oil and others.

II. Current condition of radars in space

Development and exploitation of space radars is a complicated and expensive activity. Due to the fact at this stage only countries with highly developed economics and financial abilities own satellites with SAR with large resolution. Operators from twelve countries with active space activities (USA, European Space Agency, Japan, Germany, Canada, Italy, Israel, China and South Korea) have or plan to launch into orbit space apparatuses with SAR. Prospective satellites are with both civilian and military purposes and some of them are developed as projects with a double purpose.

Table 1. Main prospective systems with SAR

Country	Civil and Military SA with SAR /deployment year
USA	Radarsat 2/2005, FIA/2008, Lacrosse/2006, SBR/2012
Canada	Radarsat 2/2005, Radarsat 3/2009
Japan	ALOS/2005, IGS-R1/2006, IGS-R2/2008, ALOS-2/2013
Germany	Infotera-X/2006, Infotera-X2/2007, SARLupe 4,5/2008, TeraSAR/2012
United Kingdom	Infotera-L/2008, TerraSAR-L/2011
Italy	COSMO/2006, Skymed 3/2008
India	RISAD-1/2006, RISAD-2/2009
China	GSMS/2007, Tsyanbin-5/2008, Yaogan-6/2009
Israel	TesSAR/2008, Ofeq-8/2012, Ofeq-10/2014
Russia	Almaz-1/1991, Arkon-2/2010, Condor/2013
Ukraine	Sich-1M/2004
SouthKorea	KompSAT-5/2013
EuropeanSpaceAgency	Envisat-1/2006, ERS-2/2007, CryoSAT-2/2010

In this report specific space programs of different countries are not examined in details, despite each of these programs being able to illustrate opportunities and intentions. We will only emphasize some incredible achievements, which are defining for the modern condition and patterns in purpose and development of space radars.

Historically it is necessary to mention the USA's reconnaissance system and its three "Lacrosse" satellites. These satellites allow for radiolocation reconnaissance enabling monitoring of various objects during daytime, nighttime and cloudy weather. The radar images are transferred for development via Tracking and Data Relay Satellite (TDRS), flying in geostationary orbit, in a close to real timescale, with resolution of the image in the range of 0,6 - 3m and competing with that of optic apparatuses. In the operation "Union power" the two Artificial Satellites of

Earth (ASE) "Lacrosse" from an orbital formation have been flying over the territory of Yugoslavia for 4-7 times in a twenty four hour period, with at least two of them over Kosovo. The "Lacrosse" satellites supplied the necessary operational information to military command in the followed battle actions in Iraq and Afghanistan.

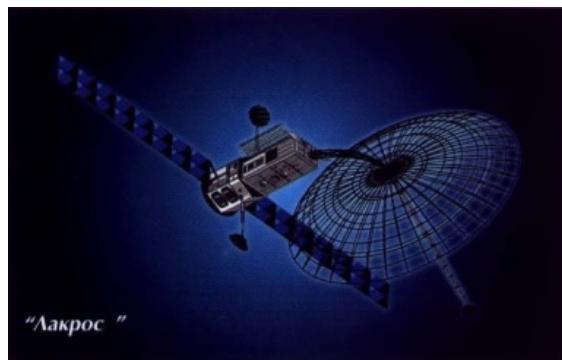


Fig. 1. General appearance of the "Lacrosse" satellite

The first radar fleet in space - 5 "SAR-Lupe" satellites simultaneously in orbit - is achieved by Germany. The creation of a radar fleet "SAR-Lupe" is argued with the aim of the German government to find and monitor crisis situations in their beginning stages and also to avoid one-sided dependency in reconnaissance areas. The five satellites that are simultaneously in orbit move in unison with one another in the shape of a large letter "X". Each satellite is a radar with synthesised wideband in the X - range. From a military and political perspective the system puts Germany on the same level with the leading space countries in the matter of satellite reconnaissance. The "SAR-Lupe" system is to be used not only by German military and civil departments. It is to become part of the European system for global monitoring of Earth.

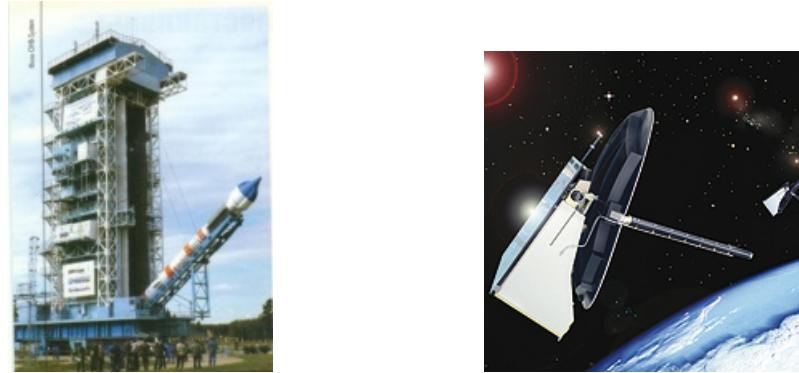


Fig. 2. SAR-Lupe satellite on the launch-pad and on the Space

The space systems for radar reconnaissance are essential for Russia more than any other country. A large portion of its territory is in the northern longitude and covered by clouds in the larger time of the year (according to some up to 80%) or unlit by the Sun during the polar winter lasting for weeks. Due to this the development of space apparatuses for radiolocation monitoring begins as early as the year 1959, but truly important from a practical perspective is the development and exploitation of space apparatuses "Алмаз-1" (Almaz-1). On 06.27.2013 Russian space departments launched in orbit another space radar – „Кондор“ (Kondor). It works in the S-frequency range and its unique advantage is that it combines a high resolution with better classification for vegetation and deeper subterranean radio wave reach. The "Kondor" radar allows for making of terrain maps of the areas and finding changes in the surroundings.

The most recently launched satellite in orbit is the Israeli radar named "Ofek-10" on 04.09.2014. Made for the "Etgar" project and aimed for radar images on the surface with a high resolution and identification of a wide range of objects including moving ones.

It is interesting to note that closely related from technical perspective radars execute different informative tasks. For Canada - it is monitoring of arctic glaciers, for China - monitoring of the sea aquatory, for Italy - cartography, for Israel - observing Iran's territory, etc. The European satellite "ERS" is with a relatively low resolution (20 - 30m), but the information received by it is actively used by NATO countries for finding ships and keeping track of events in the seas.

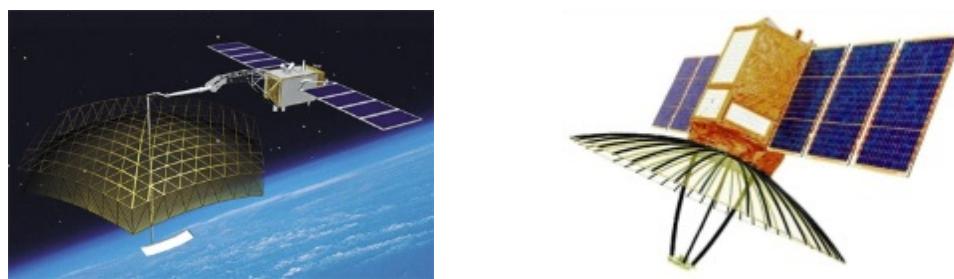


Fig. 3. „Kondor“ and "Etgar" radars

Lastly - something curious - radars will save us from space garbage. From conservative estimates around half a million space debris from satellites, rockets and other scrap currently orbit Earth, gathering up ever since 1957. The speed they move around with is 27 000 kilometers per hour. By clashing with one on other they become smaller, thus they threaten both piloted and unpiloted flights. The company "Lockheed Martin" won an auction of the United States Air Force for the making

of an aerospace system for monitoring called "Space fence". The new system of radars on Earth, situated on the Marshal islands will track and catalogue space debris.

III. Current Ultra-wideband space radars - projects and realisation in space

It is well known that the quality and the information of the radar images strongly depend by the radar wavelength. Photographing in the centimeter "X"- range (wavelength - 3cm) allows for radar images with resolution close to that of images from fiber systems. Radars of "S"-range (wavelength - 9.5 cm) allow for the ability to make a terrain map of the area and to detect changes in the surrounding environment. Systems of the decimeter "L"-range (wavelength - 23cm) allows for seeing through the leaves of trees. Lastly the R-range (wavelength - 70cm) SAR allows drilling under a layer of dry soil. Naturally the question arises - can we not receive a complex image that contains simultaneously the capabilities of radars with different wavelength ranges. Thus we get to the idea and later to the realization of Ultra-wideband space radars. The complex processing of radar data from different wideband channels of this type of space radars provides new informative qualities while increasing the efficiency of deciphering and analyzing the received images, widens the range of problems solved including finding objects in forests and buried objects.

The high information quality of the images of Ultra-wideband synthetic-aperture radars was demonstrated by the American complex "SIR-C". Despite the short duration of the three flights, carried out by the board complex of the space shuttle "Challenger" during the 90s, the received digital information was processed for many months afterwards. The "SIR-C" complex has formidable size – a total weight of 11-13 tons, with an antenna system that weighs 3.3 tons and 12 meters long.

Multiple leading space countries intend to develop two or three wideband SARs. Such are the projects of the space reconnaissance "Lacrosse/Onyx" by the USA, "IGS-R" by Japan, "Jogan(Czian Bin-5)" of China, the German-British project "TerraSAR" and "Arkon-2" of Russia.

The German-British project "TerraSAR" is planned from the year 2000 as a two-wideband - in "X" and "L" range. The space apparatus is designed especially for trading and scientific purposes. Previous space radars for monitoring are not completely satisfying for the demands of the commercial users, which needed detailed and adaptive information. The data needs to be always available and independent of night and day or season conditions.

Most likely because of the high value and complexity of technical realization the project "TerraSAR" was divided into two separate satellites – "TerraSAR – X" and "TerraSAR – L" for a tandem flight and in latest years the two project are looked upon as separate.

The shape of the satellite will be a hexagonal parallelepiped with length 5.2m and diameter 2.2 m. The useful cargo of the satellite is radar in the "X"-range with phased wideband. The size of the antenna of the radar is length 4.8 m and width – 0.8 m. The space apparatus is about 1230 kg. The planned term of active existence of the satellite in orbit is at least 5 years. It is planned for it to be launched into space with the Russian carrier rocket "Днепр"(Dnepr).

"TerraSAR – X" will work in three modes:

- pictures with high resolution: the size of the shooting frame is 5-10 km for every 10 km, with the resolution of the area reaching 1 m;
- pictures of the lane: the space aperture takes lane photos with width 30km and length 1500km with resolution area up to 3m;
- scanning: picture of a corridor with width 100 km and length 1500 km with resolution are – 16m.

The satellite will be launched in polar orbit with height 500 km which will allow receiving images of any area of Earth's surface with a minimum of one every three days. The captured information will be stored on board the space apparatus and later transmitted to the ground complex in German Aerospace Center - DLR, situated in the city of Neustrelitz. In addition to all of this the apparatus will be able to transmit information immediately to user receiving stations.

Developers also plan a variant to use in a tandem simultaneously two space apparatuses TerraSAR-X (a project by TanDEM – X). According to their information the two satellites can form an interferometer capable of providing a stereoscopic image of Earth's surface with a resolution less than two meters.

The project "Arkon-2" by the Non-government organization "S. A. Lavochkin" (Russia) claims that a large-size space apparatus with a three wideband radars made for highly-informative images of objects with high and middle resolution for a wide range of consumers can be created – Federal Space Agency, Ministry of Natural Resources and Environment, Federal Agency of Geodesy and Cartography, Ministry of Affairs for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Ministry of Internal Affairs, Hydro meteorological Centre, Federal Agency for Marine and River Transport and other government and trade organizations . Usage of the satellite for ensuring national safety for Russia is also assumed.

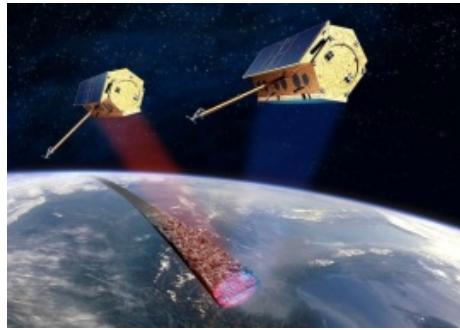


Fig. 4. "TanDEM – X" satellites on the Space

The choice of "X"- "L"- and "R"- ranged space apparatus "Arkon-2" allows solving of multi-planned tasks. The usage of R-range will be the first ever known case of montage of analogical aperture in a space platform.

The satellite "Arkon-2" will provide a detailed image of the region with sizes 10×10 km with a resolution up to 1m, astronomical images in lane with length 450 km with resolution up to 50m and route images with lane length 400 – 4000 km.

For transmission of large data volumes the satellite is planned to be supplied with highly informative lines for information transmission immediately to ground consumer stations of information and through a satellite – repeater with speed of 15 up to 600 Mbit/sec. For an increase in the operation of processing and reduction of data volumes, transmitted to small-scale mobile receiving complexes, implemented perspective technologies for on board synthesis of images is being planned.



Fig. 5. Satellite "Arkon-2"

Main problems, solved by Multi-wideband space radars include:

- Operative control of crisis situations – dynamics of river spills and dam spills, floods, avalanches, forest fires, consequences from natural, technological disasters and so on.
- Planning of construction and situation of road and highways;
- Land division and control of construction of underground areas;
- Control of glacier movement and operative security of safety for sea navigation;
- Agriculture and Forestry;
- Geology and searching for minerals;
- Control over highway piping condition;
- Monitoring of coastal areas and finding oil spills;
- Hydrology and Oceanology;
- Cartography, topography and others.

IV. Conclusion

Analysis of modern conditions and prospective for development of space radars allows us to reach the following conclusions:

- Development and realisation of ultra-wideband space radars is a relatively new and promising field of Earth monitoring from space.
- Complex development of radiolocation information of this type of radars allows new information qualities and significantly increases the effectiveness of deciphering and analyzing the received images;
- Space radars of this sort will supply detailed panoramic and route highly informative pictures of objects, including masked in forests or buried under the surface, with wide and middle range for a wide customer usage;
- Realisation of projects for ultra-wideband space radars demands for experience, application of most modern technology and a huge amount of funds and because of this, only the most powerful space countries can afford it.

References:

1. Российская академия космонавтики, Сборник научных трудов, выпуск 4, лист 51, Москва, 2002. (in Russian)
2. Website <http://www.laspace.ru/rus/index.php>
3. Magazine „Новости космонавтики” – 2011 – 2015 г. (in Russian)

ИЗПОЛВАНЕ НА АЕРОКОСМИЧЕСКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ЧАСОВЕТЕ ПО ГЕОГРАФИЯ ЗА ВИЗУАЛНА ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА ИЗУЧАВАНИТЕ ОБЕКТИ

Тихомир Алексиев

Основно училище «Никола Вапцаров», Асеновград

Ключови думи: образование по география, дистанционни изследвания, аерокосмически изображения

Резюме: В съвременния етап на развитие на географската наука все по голямо значение придобиват географските информационни системи и дистанционните аерокосмически изследвания на земята. Тези бързо намериха свое място в програмите на висшите учебни заведения. Все още в училищното образование по география и икономика тези области на познанието и техните методи налязат трудно. В същото време те са мощен инструмент не само за изучаване на земята и преподаването на тези знания, но и за разазване на ключови компетенции и умения у учениците. В този доклад ще разгледаме възможностите, които предоставят аерокосмическите изображения за изучаване на географски обекти и явления в обучението по география и икономика във възрастовата група 11-15 години.

USING AEROSPACE IMAGES IN GEOGRAPHY LESSONS FOR VISUAL INTERPRATATION OF THE STUDIED OBJECTS

Tihomir Aleksiev

“Nicola Vapcarov” secondary school, Asenovgrad

Keywords: geography education, remote sensing, aerospace images

Abstract: At the contemporary stage of development of geographic science geographical information systems and remote sensing become more and more important. They quickly entered the curriculum of the universities. Yet implementing them in school education of geography is difficult. At the same time they are not only powerfull instrument for studying Earth and teaching about it, but they also develope key competences and skills of the students. This report is about the opportunities that aerospace images offer for studying geographical objects and phenomenons in geography education for pupils 11-15 years old.

Въведение

Съгласно държавните образователни изисквания (ДОИ), в учебните програми по география и икономика от ученикът завършващ успешно 5 клас се очаква да е формирал умения за „вземане на решения – да избира източници на информация, дейности и начини за представяне на информация“. В края на този образователен етап, в 8 клас част от изискванията постановяват „да продължи формирането на ценности насочени към разбиране на постиженията и проблемите, към съпричастност и гражданска позиция, към съзидателство и просперитет, към култура на околната среда“. В този документ, в частта където се посочват методите за постигането на тези цели на обучението по география изобщо не се споменават географските информационни системи (ГИС) и дистанционните аерокосмически изследвания. Те се споменават за първи път в следващия образователен етап. В последния приет от Народното събрание на Република България (ДВ, бр.79, 13.10.2015 г.), Закон за предучилищното и училищно образование, една от целите в чл. 5, (1): 11. „придобиване на компетентности за разбиране на глобални процеси, тенденции и техните взаимовръзки“.

Считаме че един от пътищата за постигане на тази цел е чрез прилагане на достиженията на географската наука, както и другите науки за земята. На съвременния етап от

развитието на географската наука сред източниците на географска информация важно място заемат аерокосмическите изображения и останалите дистанционни изследвания на земята (ДИЗ). Те са надежден и достъпен източник на информация за състоянието на природата и човешкото общество, както и за динамиката на процесите, които протичат в тези системи. Използването на аерокосмическите изображения, от своя страна изискват умения за работа с ГИС, които са в сферата на информационните технологии (ИТ). Според Националната програма информационни и комуникационни технологии в училище на Министерство на образованието и науката „Навлизането на ИКТ в училище оптимизира процеса на обучение и повишава неговата ефективност.“ Целта на програмата е до 2015 година съотношение учебни компютри към ученици да достигне 1:10, при 1:15 през 2015 г. Техническото осигуряване е задължително условие за интегрирането на ГИС и ДИЗ в часовете по география. То включва като минимално изискване адекватни компютърни конфигурации, мултимедийни проекционни средства, съответен софтуер, както и достъп до интернет. За по-задълбочено им включване са необходими също навигационни средства, безпилотни летателни апарати, мобилни устройства и др.

По отношение на донякъде неясната формулировка „култура на околната среда“ ДИЗ и ГИС предоставят редица възможности на преподавателите по география и икономика да демонстрират значението, и мащабите на екологичните предизвикателства, и концепцията за устойчиво развитие. В Люцернската декларация за географското образование за устойчиво развитие се посочва че "... устойчивото развитие трябва да бъде интегрирано в преподаването на география на всички равнища и във всички региони на света. ". В същия документ е подчертана важността на ИКТ за обучението по устойчиво развитие в географията.

Връзките на ДИЗ и ГИС с когнитивните способности на учениците

Потребителите на образователните услуги са обществото, икономическите субекти и отделния индивид. Фактори, които оказват влияние на ефективността на учебния процес са когнитивните способности на обучаемите, уменията за боравене с различни видове информация, мотивацията, емоционалното им състояние, и съответните характеристики на преподавателя, както и избрания методически подход. Освен това, обучението винаги се съществува в определен контекст, имайки в предвид организацията на учебно-възпитателния процес, материално техническата осигуреност, както и социално-икономическия и, здравният статус на учениците, принадлежност към етнически малцинства и др.

Фундаментално значение за измерването на ефективността на учебния процес имат изследванията на Бенджамин Блум и създадената от него таксономия на образователните цели. Таксономията е разработена да обучава преподавателите как да класифицират дадена учебна задача или цел. Изискванията към учебните цели са да съдържат:

- Условие , в което се реализира определено поведение – получил инструкции, указания, ученикът да извърши определена дейност
- Поведенчески глагол - действие, с което се означава наблюдавано поведение на ученика или създаване на наблюдаваем продукт (идентифицира, класифицира, обобщава, описва, разказва, създава продукт и т.н.)
- Критерий – твърдение, което описва колко добре трябва да бъде извършено нещо, за да удовлетворява намеренията описани чрез поведенчески глагол (критериите, по които ще се отчете успех/неуспех)

Самите цели са степенувани в шест когнитивни нива. Например запомнянето на научни факти, колкото и важни да са те, е на по-ниско стъпало от умението да анализираш или оценяваш. Тези нива могат да се разглеждат като различна степен на трудност - за да се усвои дадено равнище, трябва да е овладяно предишното. В съкратен вариант таксономията на Блум класифицира образователните цели на следните когнитивни нива:

- Знания - запаметяване на знания и факти. Изразява се във възпроизвеждане на запаметена информация.
- Разбиране - способността да се схване смисъла на изучаваната материя. Използва се информация от вече изучавани области.
- Приложение - способност да се използва наученото в нови и конкретни ситуации. Свързва се с прилагането на принципи, правила, концепции, методи , теории.
- Анализ - способността за разделянето на дадена материя на съставните и части, за да се разбере и изследва структурата и.
- Синтез - обединяване на новите части, за да се получи ново цяло. Изиска се творческо поведение с акцент върху разработката на нови модели и структури.

- Оценка - способността да се окачествява стойността/ценността на дадена материя с дадено предназначение. Оценките се базират на точно определени критерии и съзнателно оценяване на стойности.

Таксономията на Блум се използва за класификация на целите в процеса на обучение. В Табл. 1 са представени някои учебни цели по география, свързани с използването на аерокосмически изображения и географски информационни системи.

Табл. 1. Образователни цели, използвани ДИЗ и ГИС, съгласно таксономията на Блум

Когнитивна област	Формулиране на цели, чрез използване на активни (измерими) глаголи
Знания	описва аерокосмическо изображение, изброява обекти, възпроизвежда определения и понятия свързани с ГИС и ДИЗ, посочва цветови и геометрични характеристики на обекти, съобщава научни факти.
Разбиране	различава географски обекти с близки характеристики, обяснява нуждата от изучаване на земята и използването на космически технологии, дава примери за използването на аерокосмически изображения, дефинира явления на базата на сателитни изображения, обсъжда качествата на изображение, сравнява две изображения, обяснява връзката между орбитата на сателита и мащаба на изображението.
Приложение	използва изображения за доказване на теза, измерва параметри дистанционно, проследява динамика, демонстрира познаване на обекти и явления чрез подбор на подходящи изображения, успешно навигира, прокарва маршрути.
Анализ	класифицира обекти и явления, представя графично геопространствена информация, диференцира степени на въздействия, прави заключения и изводи, базирани на използване на аерокосмически изображения.
Синтез	комбинира спектрални канали за извлечане на информация, събира самостоятелно подходящи данни, съставя тематична карта, генерира база данни, разработва приложения, предлага решение на екологичен проблем.
Оценка	оценява мащабите и значението на природни и антропогенни явления чрез изследване, категоризира явления и процеси, интерпретира резултати от изследване, оспорва или защитава теза за геодинамични процеси, на базата на използването на ДИЗ и ГИС.

Предложената таблица може да се допълни и разшири, но нейната цел е да покаже примери за поставяне на образователни цели, съобразени с когнитивните способности и позволяващи да се създаде достатъчно ефективен инструмент за измерване на резултатите от обучението. Категоризираните цели помагат да изградим учебната програма така, че голямата цел да е ориентирана около високите нива на таксономията – анализ, синтез, оценка. Стъпките за постигане на основната цел на обучението се постигат чрез надграждане върху по-ниските нива, съобразени с първоначалното измереното ниво.

За да можем да измерим първоначалното ниво на учениците и тяхната подготвеност, така че успешно да адаптираме учебната програма, методите и ресурсите, е необходимо също да проверим някои предметни знания и умения, които не са специфична област на географията и дистанционните изследвания на земята. Успехът на учениците при използването на ГИС и аерокосмически изображения в часовете по география в известна степен зависи също техните познания и умения в областта на геометрията, астрономията, физиката, биологията и екологията, както и от дигиталните им и компютърни компетенции. Значение имат също, така наречените „меки умения“, като работа в екип, лидерство, управление на времето, справяне с конфликти, вземане на решения в трудни ситуации, както и всички социални умения. Когато учениците са билингви е добре да се измери също степента на познаване на езика, но който е проектирана учебната програма.

При проектирането на учебна програма по география, интегрираща ГИС и ДИЗ, трябва да се вземат в предвид всички, фактори за успешното и изпълнение. Някои от тях са извън сферата на влияние на преподавателя, като например законовата и нормативна уредба, материално-техническата осигуреност и първоначалното когнитивно равнище на учениците. В следващите части ще се опитаме да демонстрираме, че чрез използване на аерокосмически изображения в часовете по география могат да се развиват у учениците умения от по-високи когнитивни равнища, а също да се постигат по високи резултати по отношение на предметното знание, чрез въвеждането на изучаваните понятия, обекти и явления в учебни демонстрации, симулации и игри. В това отношение учителите могат да използват вече създадени образователни продукти и ресурси, които са бесплатни и създадени специално за обучение на деца във възрастовите групи, в които се преподава география.

Образователни програми и ресурси

Съществуват голям брой образователни платформи, използващи достиженията на ГИС и ДИЗ в преподаването по география и свързани с екологичното обучение, насочени към възрастовата група 5-8 клас. Повечето от тях са достъпни на английски език и предоставят използване на готови учебни планове, различни по формат данни, специален софтуер за анализ на изображения, тестове, работни листове и допълнителни ресурси. Много от тях предоставят и методически указания за учителите как да използват учебните планове. При по голямата част от уеб базираните платформи има специално място за учениците, където те могат да прочетат материали за дистанционните изследвания, да проведат собствени проучвания или да играят образователни игри.

Разнообразни програми, ресурси и игри в тази възрастова група предлага Landsat Science и Space Place за по-малките на НАСА. Подходящи за по-напредналите ученици е Earth observation, отново на сайта на НАСА. Много от уеб платформите също използват преимуществено свободно достъпни изображения от Landsat. Някои платформи като Earth from Space предлагат както готови уроочни планове, така и връзки към други образователни платформи. На подобен принцип е изградена и платформата DLESE (digital library for earth system education). Разнообразни ресурси съдържа педагогическият модел GLOBE, за да помогне на учителите да проведат заедно с учениците си обучението по предмета като научно изследователски проект. Данните, които са достъпни чрез този сайт са в удобни формати. Например бази данни с пространствена информация във формат .kml, която може да се визуализира чрез Google Earth. Сайта има също собствена система за визуализация. Уеб базириания Научен и образователен ресурсен център към „Карлън колидж“ е създаден с цел да подобрява качеството на образоването по света. На този сайт са предоставени методически указания за учителите как да имплементират ГИС и ДИЗ в класната стая и връзки към източници на данни.

Интерес представлява германската образователна платформа "GLOKAL Change" на Хайделбергския педагогически университет, създадена за да насърчи способността на подрастващите, да оценяват екологичните промени по отношение на устойчивото развитие. При нея обучението включва три етапа. На първия чрез четири видео материали се демонстрират последствията от несъобразените с изискванията на устойчивото развитие дейности на человека. За тази образователна платформа е създаден специален сървър съдържащ изображения от Landsat TN и ETM+, както и инструменти за анализа им. Тя дава възможност на втория етап да се сравнят глобални и локални проявления на дадено екологично предизвикателство и да се оцени мащаба му. На третия етап от учениците се очаква да проведат собствено научно изследване, което включва и микродрон.

Фактори, като например оцветяване на изображението, сложност на изображението, и общите трудности в разбирането на често пречат на неопитни потребители да интерпретират успешно сателитни изображения. Поради тази причина, ключово значението на постепенното анализиране на изображението след инструкция и / или предоставяне на допълнителна информация, например описващ съдържанието на изображението. В "GLOKAL Change" сателитни изображения са вградени в рамката на допълнителна информация, която да помогне потребителите да достигнат по-добра интерпретация. Предоставени са работни листове, които съдържат различни упражнения по отношение на правилното четене и интерпретиране на изображенията. По този начин, потребителите се ръководят стъпка по стъпка към една всеобхватно разбиране на изображения в "GLOKAL Промяня", за да се изчерпи целият потенциал за използване на данни от дистанционните изследвания в учебни ситуации.

Използване на аерокосмически изображения в часовете по география

Ще представим един опит за прилагане методите и достиженията на ГИС и ДИЗ в часовете по география в прогимназиалния етап като интегрирана част в програмата задължително избираема подготовка (ЗИП) в 7 клас на Основно Училище „Никола Вапцаров“ Асеновград. Учениците от училището са с преобладаващо нисък социално-икономически статус и са представители на малцинствена общност, за която българският език не е майчин. Резултатите на учениците на национално външно оценяване след 7 клас поставят училището сред последните 6 % по отношение на успеха. Всички ученици са билингви, като помежду си и в семействата не използват български език, което води до твърде слабото му владеене. Въпреки това, водени от идеята, че езика на изображенията е универсален, планирахме през учебната 2015-2016 година в часовете по ЗИП география и икономика за 7 клас да интегрираме методи за тяхното използване. Етапите на работа е представен на фиг. 1

I ЕТАП

теоретична част, проверка на разбирането

- Запознаване с физичните и математическите основи на географските изследвания;
- Разпознаване на географски обекти и явления, ландшафти.



II ЕТАП

водена практика

- Очертаване на полигони, линии, точки;
- Пространствен анализ на динамични процеси;
- Даване на препоръки.



III ЕТАП

самостоятелна работа, проект, домашна работа

- Учениците овладяват географски софтуер;
- Учениците правят свои собствени проучвания.



Фиг. 1. Схема на етапите в използването на ГИС и ДИЗ в обучението по география

На първия етап учениците се запознават с основите на ДИЗ и значението им в географията. Започва курс за разпознаване и визуална интерпретация на обекти от сателитни и аерофото изображения. Това са ниските нива по таксономията на Блум за учебните цели. Във втория етап от подготовката на учениците вече е възможно да се достигнат високите когнитивни нива. Пример за това е учебната симулация на изригването на вулкан. Задачата на класа е чрез анализ на спътникови данни да предложи безопасен маршрут и площадка за кацане за спасителните хеликоптери, които трябва да спасят бедстващи туристи в района на вулканската ерупция. За тази цел учениците трябва да картографират лавовите потоци и посоката на тяхното разпространение. Да определят посоката на ветровете по разпространението на облака от пепел и газове. Да изберат възможно най-близкия до пострадалите терен, подходящ за кацане.

За по-пълното използване на възможностите на ГИС и ДИЗ предвиждаме от втория учебен срок да започне извънкласни занимания с група ученици със специални интереси в географията и технологиите. Идеята на тези групи е да се достигне третия етап на обучението по география чрез ГИС и ДИЗ, а именно на самостоятелните проучвания и изследователските проекти.

Заключение

Дистанционните аерокосмически изображения са надежден инструмент за визуализация, интерпретация, изследване и анализа на географските обекти и явления и процесите свързани с тях. Съществуват методи, които се прилагат за интегрирането им в обучението по география, още в първите етапи на изучаването на този предмет в училище. Използването на сателитни изображения има следните предимства:

- Спомагат за ефективно прилагане на образователни стратегии свързани с преподаването на концепцията за устойчиво развитие.
- Подпомагат интегрирането и овладяването на ИКТ в училищното образование.

- Задълбочават разбирането за геодинамичните процеси в различните геосфери.
- Свързват географското познание с другите изучавани предмети чрез между предметни връзки.
- Имат повишени изисквания към квалификацията на преподавателите по география.
- Повишават атрактивността на предмета и мотивацията за учене.
- Преодоляват недостатъците на текстовата информация по отношение на обучението с деца билнгви,

Литература:

1. Bloom, Benjamin S. Taxonomy of Educational Objectives (1956).
2. Jahn, M., M. Haspel, A. Siegmund. "GLOKAL Change": Geographi meets remote sensing in the context of the education for sustainable development
3. Държавни образователни изисквания - МОН
4. Закон за предучилищното и училищното образование ДВ, бр.79, 13.10.2015 г
5. Люцернска декларация за географско обучение за устойчиво развитие – 2007 г.

ДИНАМИКА НА ТРОПИЧЕСКАТА ГОДИНА И ПРОБЛЕМИТЕ НА СЛЪНЧЕВИТЕ КАЛЕНДАРИ

Ангел Манев

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

Ключови думи: календар, слънчев, тропическа, пакет.

Резюме: Анализиран е проблемът с приложимостта на формулата на Нюкомб. Разгледани са възможностите за конструиране на слънчев календар. Показана е адекватността на календарната формула на Българския циклов календар на Танев-Манев.

DYNAMICS OF TROPICAL YEAR AND PROBLEMS OF THE SOLAR CALENDAR

Angel Manev

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

Keywords: calendar, sunny, tropical, package

Abstract: Analyzed the problem with the applicability of Newcomb's formula. Explored the possibilities of constructing a solar calendar. Showing correlation is the adequacy of the calendar formula Bulgarian calendar of Tanev-Manev.

Въведение

За да съществува понятието Календар са необходимо да са изпълнени три условия. Отсъствието на поне едно от трите условия не дава право да се определят като календар каквото и нагледни поредици от дни и години да се анализират. Първото условие е Стартовата дата на календара, Второто е наличието на определена календарна формула, която да гарантира точността и устойчивостта на календара. И третото условие е изградена методика за синхронно смятане с друг календар, чрез който са регистрирани едни и същи реални събития според двата календара. Малко календари изпълняват посочените условия и затова са малко календарите, чрез които може да се датират реални събития и да се изграждат хронологии.

В настоящото изследване се анализира календарната формула на Българския циклов календар на Танев-Манев. Основните характеристики на този календар са публикувани в [1]. Стартовата дата на календара е 5505г.пр.н.е. и е обоснована в [2] а неговата методика за синхронно смятане е демонстрирана в [3]. Целите, които са набелязани при конструирането на този календар, са няколко: Първо да се създаде изключително точен слънчев календар, чрез който да могат да се регистрират реални исторически събития, записани в древните хроники. Второ да се създаде инструмент, чрез който да се разчитат календарни записи, оставени от древните българи и трето да се предложи нов календар, чрез който църковните и фолклорни празници да се празнуват в дни, които са постоянни и Земята се намира винаги на едно и също положение по орбитата си, независимо коя година се празнува празника. За да се реализират тези цели е необходимо да се съчетаят двата подхода в календаристиката, този на математиците и астрономите и този на църковните хронисти, които са записвали реални исторически и астрономически събития но и от другата мистичната гледна точка.

Древните хронисти не са имали съвременните хронометри, не са познавали атомния разпад. За тях единственото стабилно циклично явление е било смяната на деня с нощта.

Денонощието е видимата и осезаема циклична промяна на средата в която живее човекът и само чрез броенето на денонощията хората са разполагали и историческите събития в тяхната последователност върху оста на времето. Календарът представлява логическа постройка от поредица от цели денонощия. Характерно за календарите е тяхната „разделителна способност“ - точно едно цяло денонощие.

В основата на всички слънчеви календарни системи е залегнало понятието година Тропическа година. Годината е приблизително времето за което Земята извършва една пълна обиколка около Слънцето. Тропическата година обикновено се определя като времето за което при видимото си движение по Небесната сфера Слънцето преминава последователно през точката на Пролетното равноденствие. В днешна астрономия, тропическата година се дефинира като интервал от време, за който средната тропическа дължина на Слънцето се увеличава с 360 градуса. Интересът към точното определяне на продължителността на Тропическата година произтича от пряката връзка на тази година с построяването на календарните системи. В исторически аспект различните изследователи определят по различен начин продължителността на Тропическата година и сега тя няма почти нико общо с началото на астрономическата пролет [4]. До началото на 19-ти век, практически единственият начин да се намери дължината на тропическата година е сравнението на датите на равноденствие. Сега, благодарение и на съвременните методи на точни наблюдения и на създадените прецизни теории за въртенето на Земята около Слънцето, Тропическата година може да се определи с голяма точност.

Върху продължителността на Тропическата година освен субективният фактор – изследовател, влияят и обективни физични въздействия водещи до неравномерности във въртенето на земята и орбиталното и движение. Точните астрономически наблюдения показват, че самата точка на Пролетното равноденствие се премества по Небесната сфера и това влияе на Тропическата година във времето. За сега астрономията приема теорията за прецесията на земната ос като единствено вярната. Според тази теория прецесията на земната ос влияе върху продължителността на Тропическата година тъй като самата точка на Пролетното равноденствие се движи. Движението на Равноденствието е постоянно и води до постоянното намаляване на Тропическата година с около 0.53 секунди на столетие.

Най-разпространена в началото на миналия век е така наречената Слънчева теория на Нюкомб за движение на Земята около Слънцето. Според тази теория, поради прецесията на Земната ос, продължителността на Тропическата година се пресмята по следната формула :

$$(1) \quad T_H = 365.24219879 - 0.00000614x(T - 1900)$$

Където първата константа е точно измерената продължителност на Тропическата година за 1900 година от Новата ера. Във формулата T е годината, чиято продължителност търсим с формулата.

В последствие се появиха изследвания, според които формулата на Нюкомб не би трябвало да се използва за много отдалечени интервали от време [5]. Предлага се параболичната формула (2) и се дискутират методическите грешки, които могат да възникнат при използването на формулата на Нюкомб.

$$(2) \quad T_B = 365.242189669701 - 0.00000616187xT_B - 0.000000000644xT_B^2$$

T_B е отстоянието от 2000г. във векове.

Съществува и кубична формула за продължителността на Тропическата година [6] :

$$(3) \quad T_K = 365.2421896698 - 0.0000061xT_B - 0.000000000729xT_B^2 + 0.000000000264xT_B^3$$

На Фигура 1 е показано как се изменя продължителността на Тропическата година според трите описани формули. Още при първото наблюдение става ясно, че кубическата формула се отклонява чувствително от хода на графиките на първите две формули за времето преди 500 година преди Новата ера. Поведението на двете първи формули е много близко за години от порядъка на 5500пр.н.е В цифров вид за годината 5500пр.н.е съответната продължителност на Тропическата година в денонощия е :

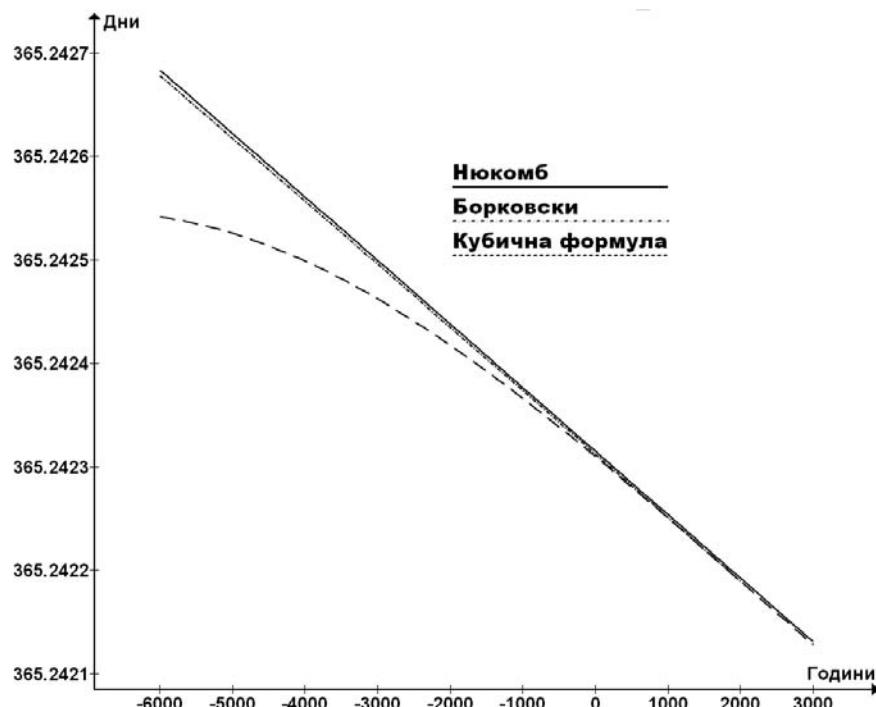
$$\begin{aligned} T_H &= 365,24265306 \\ T_B &= 365,24264819 \\ T_K &= 365,24253571 \end{aligned}$$

Разликата между получените стойности на продължителността на Тропическата година според формулата на Борковски и другите две формули е следната:

$$T_B - T_H = 0.00000487 \text{ денонощия}$$

$$T_B - T_K = 0.00011248 \text{ денонощия}$$

Кубичната формула е получена в наше време на базата на много прецизни наблюдения и е приложима за бъдещи периоди от 8-10 000 години. За големи времеви отстояния в миналото формулата на Борковски е по-точната [5]. Последвалите пресмятания за които се използва дължината на Тропическата година са направени, като е използвана формулата на Борковски.



Фиг. 1

Фактът, че продължителността на Тропическата година не е цяло число дни, колкото е разделителната способност на слънчевите календари, води до систематическо изместване на началото на Новата година във времето. Поради това се налага да се прилагат различни логически конструкции за да се коригира разминаването между положението на Земята по орбитата за цялото число дни 365 и изоставането и до завършването на пълна обиколка. Такава година с 365 цели дни се оказва с 0.24264819 денонощия по-къса (за 5505 г.пр.н.е.). Налага се да се въвеждат допълнителни календарни дни, така че Земята да застава винаги в едно и също положение по орбитата си в началото на Новата година, когато е стартиран календарът. Налага се да се съгласува Календарната година с Тропическата година, която е по-дълга. Добавянето на корекционни дни се осъществява чрез използването на времеви пакет, наречен корекционен пакет на календара. В рамките на определен период от години, наречен „дължина на корекционния пакет“ се добавят няколко високосни години с по един допълнителен ден, така, че в края на цикъла Земята е отново в „стартовата“ си позиция по орбитата си.

Най-грубата корекция е четиригодишната корекция. При нея на всеки четири години се добавя един ден и така четири път и по 0.25 се оформя едно цяло денонощие. По този начин е решен проблемът в Юлианския календар. Закръглянето до втория знак на Тропическата година обаче, не решава проблема с изоставането на Земята по орбитата и. Малко, 0.0073182 от денонощието, но все пак тази разлика се натрупва за дълъг период от време. Налага се да се въведат и други допълнителни, корекционни дни за да е възможно да се броят цели дни в рамките на всяка година.

Построяването на корекционен пакет се базира на два принципа: Първо от кога започва да се използва пакета и второ колко точно трябва да работи създавания календар. Тези принципи се проявяват като два основни въпроса пред слънчевия календар: Колко е дължината на Тропическата година при стартирането на календара и второ до кой знак зад запетаята е

необходимо да се закръгля реалната Тропическа година и да се използва тя като Календарна година.

След като по мистичен път е определено, че 5500-та година преди Нвата ера е Сътворен Света е логично стартовата дата на календара да се търси около тази година. Следователно в основата на календара трябва да се постави близка до тази година дължина на Тропическата година. Дължината на Тропическата година през 5505 година пр.н.е. е $T_{\text{тр}} = 365.242648491$. За нуждите на календаристиката не винаги е необходимо да се използва такава висока точност на дължината на Тропическата година [7]. Закръгленето до петия десетичен знак дава грешка от едно денонощие за период от 100 000 години. Следователно това е приемливата точност с която може да се работи при построяването на корекционния пакет на Сълънчевия календар.

Проблемът с точността на календара се решава чрез техниката на Верижните дроби [7]. Взема се определена дължина на Тропическата година и дробната и част се разлага на верижни дроби. Процесът спира, когато е постигната отнапред зададена точност. В случая е ясно, че петата календарна дроб ще бъде достатъчна за изграждането на точен корекционен пакет. Във всяка календарна дроб знаменателя представлява дължината на корекционния пакет, а числителя е броят на високосните години в пакета. По този начин продължителността на корекционния пакет и съответно броя на високосните години в него се определят от продължителността на Тропическата година в началото на пакета.

За изследване на поведението на петата календарна дроб в различните закръглявания на Тропическата година на анализ беше подложен интервалът от години от 5600 до към 5535 в посока намаляване към годината 5505. Резултатите са показани в Таблица 1. За всяка една година се изчислява дължината на Тропическата година според формулата на Борковски и след това се пресмятат календарните дроби до петата календарна дроб. Така се оформят 7 интервала за които петата дроб като числител и знаменател са показани в третата и четвъртата колона. В петата колона е продължителността на Тропическата година за първата година от посочения в първа колона времеви интервал.

На Фигура 2 е увеличен времевия период от 6500 година пр.н.е. до 4500 година пр.н.е. Пътната наклонена линия представлява част от графиката на формулата на Борковски за дължината на Тропическата година. Хоризонталните линии са прекарани на нивото на дължината на Тропическата година за съответните корекционни пакети, това е указано от дясната страна на линиите. Цифрите, посочващи пресечните „точки x“ указват през коя година дължината на Тропическата година на съответния пакет съвпада с реалната Тропическа година, според Борковски. Или това е годината в която съответният корекционен пакет е точен. Вижда се как чрез по-дългите пакети е възможно да се доближи до интересуващата ни жalonна година 5505 пр.н.е. Същата зависимост се наблюдава и в данните в Таблица 1.

Като математически разсъждения горното изложение е достатъчно за да се ориентира изследователя само в математическата същност на слънчевите календари. Но за да стане една логическа конструкция календар тя трябва да бъде и адекватна. Трябва на базата на тази конструкция да може да се изгради хронология на реалните събития от човешката история. А тези реални събития са записани основно като се използва Юлиянския а по-късно и Григорианския календари. Следователно трябва да се търси конструкция, която да позволява да се създаде и методика за синхронно смятане, обвързваща новия слънчев календар с Григорианския календар.

Основните характеристики на Григорианския календар са неговата календарна дроб и датата му на стартиране. Календарната дроб на Григорианския календар е 97/400., което означава, че дължината на корекционния пакет е 400 години и в тези 400 години има разположени 97 високосни години. Пак поради закръгленето на дължината на тропическата година в Григорианския календар се правят и три допълнителни векови корекции от по един ден, които се позиционират в края на календара.

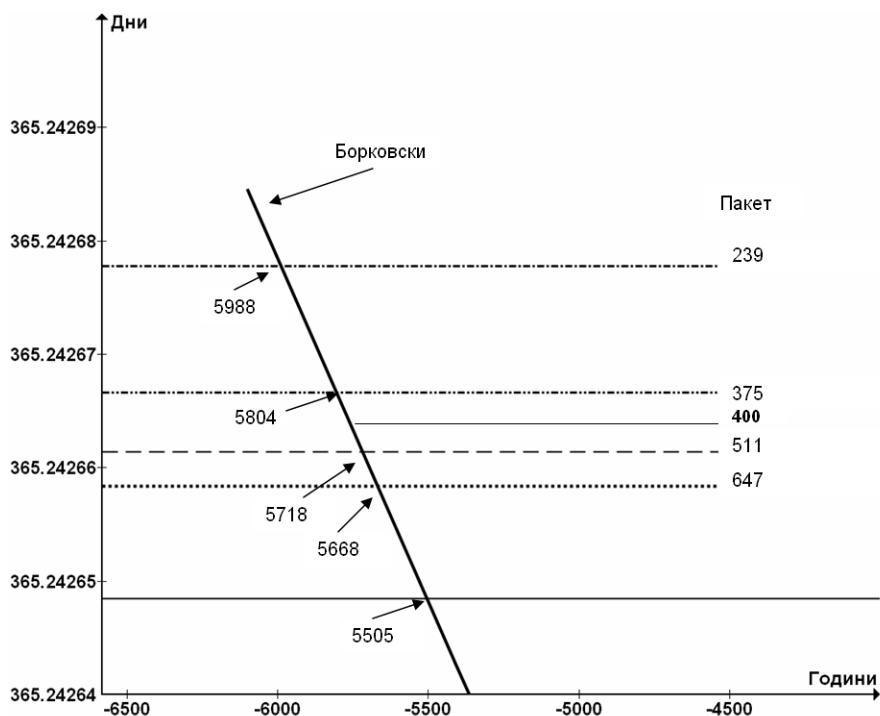
Новият календар трябва да има корекционен пакет с дължина около 400 години. Такива каландари могат да се изградят само на базата на две от дробите в Таблица 1. Това са 91/375 и 124/511. Календарната дроб 91/375 не е добра за изграждането на календар, който ще се съгласува с Григорианския защото неговата дължина е по-малка от 400-те години на Григорианския пакет. Това означава, че в рамките на 375 години ще се правят и векови корекции преди те да се направени в Григорианския пакет. Или след 375-те години ще се получи разминаване в датите на двата календара.

От направените разсъждения следва, че единствено приемлива календарна дроб за изграждане на слънчев календар, стартиран през 5505 г.пр.н.е и удобен за синхронизиране с Григорианския календар е дробта 124/511. С тази дроб може да се достигне до приемлива

базова точност на календара. Определянето на неговата абсолютна точност е предмет на друго изследване.

Таблица 1

	Интервал пр.н.е [години]	Числител A	Знаменател B	Тропическа година [години]	Точна календарна дроб [години]
1	5988-5803	58	239	365.2426 77771	0.2426 77824
2	5804-5719	91	375	365.2426 66620	0.2426 66666
3	5718-5669	124	511	365.2426 61407	0.2426 61448
4	5668-5637	157	647	365.2426 58375	0.2426 58423
5	5636-5614	190	783	365.2426 56435	0.2426 56449
6	5613-5597	223	919	365.2426 55041	0.2426 55059
7	5596-5584	256	1055	365.2426 54010	0.2426 54028



Фиг. 2

Литература:

1. Танев, Т., Манев А., Календарна формула и календарна дроб на Българския циклов календар, XXII Международна научна конференция, 7-8 юни 2012, гр.Стара Загора, Международно научно online списание Наука и технологии, Том II, Номер 3, 2012 , стр. 140-146 , ISSN 1314-4111
2. Танев, Т., А. Манев, Точно определяне на Началото на календарната система (Археометричен анализ), International Science conference 4th - 5th June 2009, Stara Zagora, BULGARIA "Economics and Society development on the Base of Knowledge", Volum e VI , pp. 77-82, ISBN 978-954-9329-45-2
3. Танев, Т., А. Манев, Български празнични циклов календар, Издание „Данграфик“- Варна, 2013г., 118 стр. ISBN 978-954-9418-69-9
4. Meeus, J., Savoie D., The history of the tropical year , J. Br. Astron. Assoc. 102, 1, 1992
5. Borkowski, K.,The Tropical year and solar calendar,The Journal of the Royal Astronomical Society of Canada vol. 85, No. 3 (whole No. 630), June 1991, p. 121–130.
6. Laskar, J., 1986, *Astron. Astrophys.*, 157, 59.
7. Селешников, С.,История календаря и хронология, Наука, Москва, 1972 г.

Session 4

***Ecology
and
Risk Management***

Chairman: Prof. Garo Mardirossian
Secretary: Tsveta Srebrova, MS

FAILURE FACTORS FOR THE USE OF GEO-INFORMATION DURING NATURAL DISASTERS

Nikolina Mileva

Utrecht University
e-mail: n.p.mileva@students.uu.nl

Keywords: natural disaster management, geo information (GI)

Abstract: The severity and frequency of weather-related natural disasters have increased, thus showing how important is disaster management. Geo-information (GI) can help us better understand natural phenomena but there are obstacles which prevent humanitarian originations and individuals from taking full advantage of it. In this paper based on an extensive review of disaster management literature, some key failure factors were identified. The purpose is to offer an overview of these factors using the framework of project management and to point out areas where improvements could be initiated. The findings show that there is an abundance of papers describing the use of new sources of geo-information and new processing techniques. But the lack of skills, awareness and time hinder their use. There are also issues with the visualization, compatibility, availability and sharing of geo-information, which have to be approached.

ФАКТОРИ ЗА НЕУСПЕХ ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕТО НА ГЕОИНФОРМАЦИЯ ПО ВРЕМЕ НА ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ

Николина Милева

Утрехтски университет
e-mail: n.p.mileva@students.uu.nl

Ключови думи: управление на природни бедствия, геоинформация

Резюме: През последното десетилетие важността на управлението на бедствия се увеличи, тъй като природните стихии се проявяват все по-често и нанасят все по-големи щети. Геоинформацията може да ни помогне за по-доброто разбиране на природните явления, но съществуват различни пречки, които възпрепятстват хуманитарните организации и отделните индивиди да се възползват напълно от нейните преимущества. В този доклад въз основа на обширен преглед на научната литература за управление на бедствията, бяха идентифицирани някои ключови фактори за неуспех. Целта е да се предложи обзор на тези фактори използвайки управлението на проекти като рамка за класификация и по този начин да се посочи в кои сфери са необходими подобряния. Изводите показват, че съществува многообразие от нови източници на геоинформация и нови техники за обработката ѝ. Но липсата на умения, информираност и време възпрепятстват използването им. Също така съществуват пречки при визуалното представяне на информацията, при оперативната съвместимост на различните данни и при дотъпността и обмена на геоинформация, които също трябва да бъдат взети под внимание.

Introduction

Climate changes have increased the severity of weather-related natural disasters. Land and sea temperatures have risen, precipitation patterns have changed making some regions more inclined to floods and storms [1]. These developments together with global conflicts and disease outbreaks have highlighted the importance of monitoring and managing disasters. There is a lot of spatial data available that can contribute to the better understanding and management of disasters. But it is questionable if we make use of it in the best possible way. As Dawes et al. [2] have noted, the importance of having data in the right format and at the right time has increased, however there is much room for improvements. Their findings were based on a research of the World Trade Centre

attack in 2001 but are still valid today. More recent natural disasters such as the Haiti earthquake, Typhoon Haiyan and Cyclone Pam have shown that (geo-)information derived from mapping, crowdsourcing and social media can save human lives [3, 4, 5]. But there are still many factors – both organisational and technological, limiting the use of GI to its full extent. The purpose of this paper is to identify these factors using the framework of project management, thus showing areas where improvements could be initiated. The main research question therefore is:

What are the factors that prevent humanitarian organizations and individuals involved in disaster management from taking full advantage of geo-information?

In order to answer this main research question, the following subquestions are addressed as well:

- How is GI used to support disaster management in its different domains?
- What are the expectations of GI users?
- Where do these expectations fail to overlap with the capabilities of current GI disaster management tools?

First, the methodology is outlined. In the next two chapters, a closer look is taken at how geo-information is used describing the different applications and limitations. Subsequently, the user expectations are discussed and it is showed where these are not met. Conclusion and some recommendations are given in the last chapter.

Methodology

This study is based on a literature review in the Scopus database covering scientific papers from the last five years. The literature search was concentrated on specific case studies describing the applications and limitations of geo-information and resulted in 97 documents of which 19 were identified as relevant. For the assessment of the needs of geo-information users, 101 documents were found. However, only few were relevant to geo-information. Therefore, also other sources of information were used, more specifically the reports of ALNAP (Active Learning Network for Accountability and Performance in Humanitarian Action).

Applications

Using geo-information for the purposes of disaster management is not a novelty. From simple multicriteria overlay analysis and mapping techniques to data fusion, simulation models and real-time data from remote sensors and mobile devices, the use of geo-information has evolved tremendously. There are many areas of application – hazard prediction and modelling, susceptibility mapping, risk assessment and mapping, public awareness and education, scenarios development, emergency planning and training, real time monitoring and forecasting, early warning and alerting [6].

The types of spatial data used are diverse. Widely used across the different domains of disaster management are data about land use, soil, slope and aspect, altitude, the location of houses, shelters, rivers and roads [7, 8]. But there are also data which are specific for the particular domain – for example the different indices. The Topographic Wetness Index (TWI) is used for flood susceptibility mapping [7]; different indices algorithms are used for the automatic recognition of build-up regions [9].

The sources of geo-information are also diverse – statistical databases, ground observations, (satellite) imagery and its products, social media, etc. The spatial and temporal resolution of satellite images have improved and even ad hoc acquisition of new satellite data is possible within less than 8h [10]. There are also simulation models such as fire spread models [11] and hydraulic models [12], which make use of spatial data in a new way and supplement traditional spatial analysis. Spatial Video Geonarratives are also a new source of spatial data, where participants are guided through an area familiar to them and are asked to discuss different issues such as consequences of a tornado, but also health and crime related problems. GPS-enabled cameras and word geotagging software are used to create spatial data from the recordings [13]. Crowdsourced information from (social) media also gained popularity as a tool for near real time mapping [14].

There are also new techniques emerging for the processing of remotely sensed data – for example the object-oriented analysis technique [15]; GEOBIA (object-based image analysis) is considered to be “the most innovative new trend for processing images” [16]. 3D visualizations also emerge not only as a technique for representation of geo-information but also for analysis purposes [17, 18]. Specialized data models are used for a better overview of the data available [19]. Data fusion is another technique applied in order to overcome data limitations [20]. There are geo web applications able to combine information and services from different sources (mashup) including real time data from mobile devices [21].

Limitations

There are some limitations in the use of geo-information. For the use of satellite imagery the main drawbacks are the lack of openly available [18] and up-to-date data [22] and the fact that satellite images are not always sufficient to estimate damages, so additional data such as multi-view image or video are needed [23].

Besides having up-to-date data, other limitation for the use of geo-information is the lack of high resolution datasets such as road networks, digital elevation models but sometimes also additional information such as the location of critical facilities [20, 22, 24]. Thus, spatial analysis on a finer level encompassing also local communities is not possible and accounting for the fact that "hazards do not stop at the county boundary" is difficult [25]. For the use of simulation models, the computational costs of finer-grain modelling and simulation at a local scale are high and different software packages may be needed in order to perform this type of analysis [11]. Open source tools offer flexibility to some extent but expertise is required to build and manage them and it takes time to fix bugs [19].

Another issue is the conversion of data. Many of the data sets could be used automatically but often data conversion is required because source data sets are not standardized [18, 19]. There is a need of pre-defined core data sets (such as address and parcel information), pre-organized sharing relationships and standards, and interoperable systems [26]. Standards and data policy also hinder the use of mashup technology. Data security, http proxy standards, the use of common coordinate system are all topics that have to be addressed [21].

The use of social media is not equally spread among rural and urban populations and different socio-economic groups. So, relying solely on it as a source of information can lead to a bias in the data [27]. The reliability of such information is questionable because it is "captured by untrained persons and therefore poorly structured and not standardized" [6]. Spelling mistakes in the local place names are an obstacle in the spatial analysis [20]. Low awareness and lack of knowledge and capacity to process the data are also an issue for using crowdsourced information. There are as well some purely technical obstacles such as outdated software and hardware and limited bandwidth [14]. Web applications which use real time data from mobile devices require real time synchronization between the application and the server, and reliable network [21].

The lack of skills for dealing with spatial information across government agencies has to be approached as well [26]. For example, GEOBIA although accurate is time-consuming [15, 24] and difficult for non-experts [24]. Often in order to make use of these new methods the operational chains within management organizations have to be changed [12]. Confidentiality and ethical issues may also arise during the use of geo-information as it may reveal the identity of the participants or other sensitive information that may harm local business and local residents [13].

User expectations

There are not a lot of research papers on the expectations and actual needs of GI users. The study of Burston et al. [28] is one of the few researching the needs of emergency managers. Their study found out that emergency managers are dissatisfied with the visualization of warnings and the misinterpretation caused by the lack of harmonization across information platforms. For them it is important to have enough time for preparation and a warning system should "ensure that people can be gathered as soon as possible". Emergency managers also would like to have time series information about the warnings and finer spatial resolution. They have expressed their concerns that for remote areas interpolation of data is required, which reduces the reliability of the warning system. Therefore higher resolution of (spatial) data has to be provided [28].

ALNAP offers a series of documents with lessons learned from recent disasters, which are rich source of information about the needs of people involved in disaster management as they are often based on interviews with operational humanitarian practitioners. In an assessment of the Nepal earthquake, it was identified that some baseline datasets should be available at the beginning of a disaster [29], for example up-to-date maps of the infrastructure [30]. The data should be publicly accessible via the web and it should be ensured that new data collected is compatible with the data already available [29]. Data management systems should enable the quick extraction of information and the conversion to different formats according to the needs of the users [31]. Data should be shared as soon as possible [14]. Visualization is also important because in the aftermath of a disaster there is an information overload [14] and it is difficult to comprehend all the information available [29, 31]. The technology used at the time of a disaster should be fully mastered. If this is not the case, more traditional technologies should be preferred [30, 31]. Information gaps and limitations of the scenarios, assumptions and assessments should be acknowledged and clearly outlined [31]. In the research of Burston et al. [28], emergency managers also perceived that uncertainty is not adequately communicated in forecasts. Collecting information that is too detailed is not beneficial [31]; it is "better

to have moderately reliable information and “good enough” analysis on time than “perfect” information and analysis that comes too late” [32].

The mismatch of expectations and reality

Analysing the applications and limitations of geo-information and the needs of geo-information users, the following mismatches were identified:

- Current visualization of disasters does not fully meet the needs of geo-information users. There is advancement in the use of 3D visualization for both presentation and analysis of data but it still fails to outline the uncertainty of forecasts, the information gaps in the different scenarios and assumptions, and the temporal aspects of data.
- For geo-information users time during disasters is critical. Therefore the collection and analysis of data should not be too detailed and should not be aimed at achieving the most accurate and comprehensive analysis but rather a moderately reliable one. Because of this time-consuming techniques for processing geo-information may not be suitable even if they provide accurate results.
- People involved in disaster management do not always have the skills to use certain technologies or techniques. In such cases more traditional well known technologies and techniques should be used. Manual mapping and weighted overlay analysis may be preferred because they do not require any expert skills [33]. Because of this some innovations in the area of geo-information may not be applied during a disaster until they reach a certain maturity level.
- Despite the abundance of geo-information, there are still some basic datasets missing, the data available is not current or does not meet the needs of the users in respect to spatial resolution.
- Sharing data with other stakeholders such as other humanitarian organizations or media [34] is important. However, there are some compatibility issues between different information platforms and data formats, which hamper it.

According to the classification framework of Moe and Pathranarakul [35], disaster management can be viewed as public project management, where disaster management phases are presented as parts of a project life cycle. Using this framework the mismatches identified above can be addressed in different phases of a disaster. Organizational changes and the lack of skills and awareness to use certain technologies and techniques should be approached in the initiation phase; outdated software and hardware, limited bandwidth and network issues, compatibility issues between information platforms and data formats, data issues (not available, not reliable, not up-to-date, with low spatial resolution) should be approached in the planning phase; visualization of uncertainty, information gaps and temporal aspects, lack of time for using time-consuming techniques for processing, confidentiality and ethical issues should be approached in the execution phase.

Conclusion and recommendations

GI is used in many domains – for flood and wildfire evacuation and recovery, assessing human vulnerability to cyclones and storm surges, post-disaster recovery, (real-time) damage detection, landslide monitoring, earthquake emergency response just to mention a few. However, GI tools do not always meet the needs of their users. A pull approach should be considered, where emergency managers are actively involved in the development of new GI technologies and techniques.

References:

1. Bergholt, D. and P. Lujala (2012), Climate-related natural disasters, economic growth, and armed civil conflict. *Journal of Peace Research*, Vol. 49, 1 , pp. 147-162.
2. Dawes, S. S., A. M. Cresswell and B. B. Cahan (2004), Learning from crisis lessons in human and information infrastructure from the world trade center response. *Social Science Computer Review*, Vol. 22, 1, pp 52-66.
3. Toriumi, F., T. Sakaki, K. Shinoda, K. Kazama, S. Kurihara and I. Noda (2013), Information sharing on twitter during the 2011 catastrophic earthquake. In: International World Wide Web Conferences Steering Committee (ed.), *Proceedings of the 22nd international conference on World Wide Web companion*. Rio de Janeiro: pp. 1025-1028.
4. Wiederhold, B. K. (2013), In a disaster, social media has the power to save lives. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, Vol. 16, 11, pp. 781-782.
5. Sanderson D. and B. Ramalingam (2015), Nepal Earthquake Response: Lessons for operational agencies. WWW site <http://www.alnap.org/resource/20140> (accessed 31.10.2015)

6. Reinhardt, W. P. (2014), Geographic Information for Disaster Management—An Overview. In: Teodorescu, H. N., A. Kirschenbaum, S. Cojocaru and C. Bruderlein (eds.), Improving Disaster Resilience and Mitigation-IT Means and Tools. Springer Netherlands, pp. 225-238.
7. Rahmati, O., H. R. Pourghasemi and H. Zeinivand (2016), Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. *Geocarto International*, Vol. 31, 1, pp. 42-70.
8. Hossain, M. N. and S. K. Paul (2015), Simulation of physical and socioeconomic factors of vulnerability to cyclones and storm surges using GIS: A case study. *GeoJournal*, pp. 19.
9. Varshney, A. and E. Rajesh (2014), A Comparative Study of Built-up Index Approaches for Automated Extraction of Built-up Regions From Remote Sensing Data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, pp. 1-5.
10. Kussul, N., D. Mandl, K. Moe, J. Mund, J. Post, A. Shelestov, S. Skakun, J. Szarzynski, G. Van Langenhove and M. Handy (2012), Interoperable infrastructure for flood monitoring: SensorWeb, grid and cloud. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 5, 6, pp. 1740-1745.
11. Li, D., T. J. Cova and E. P. Dennison (2015), A household-level approach to staging wildfire evacuation warnings using trigger modeling. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 54, pp. 56-67.
12. Serpico, S. B., S. Dellepiane, G. Boni, G. Moser, E. Angiati and R. Rudari (2012), Information extraction from remote sensing images for flood monitoring and damage evaluation. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 100, 10, pp. 2946-2970.
13. Curtis, A., J. W. Curtis, E. Shook, S. Smith, E. Jefferis, L. Porter, L. Schuch, C. Felix and P. R. Kerndt (2015), Spatial video geonarratives and health: Case studies in post-disaster recovery, crime, mosquito control and tuberculosis in the homeless. *International Journal of Health Geographics*, Vol. 14, 1.
14. Morrow, N., N. Mock, A. Papendieck and N. Kocmich (2011), Independent evaluation of the Ushahidi Haiti project. WWW site <http://ggs684.pbworks.com/w/file/fetch/60819963/1282.pdf> (accessed 31.10.2015)
15. Rau, J., J. Jhan and R. Rau (2014), Semiautomatic object-oriented landslide recognition scheme from multisensor optical imagery and DEM. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 52, 2, pp. 1336-1349.
16. Arvor, D., L. Durieux, S. Andrés and M. Laporte (2013), Advances in Geographic Object-Based Image Analysis with ontologies: A review of main contributions and limitations from a remote sensing perspective. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 82, pp. 125-137.
17. Leskens, J. G., C. Kehl, T. Tutenel, T. Kol, G. D. Haan, G. Stelling and E. Eisemann (2015), An interactive simulation and visualization tool for flood analysis usable for practitioners. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.
18. Vescoukis, V., N. Doulamis and S. Karagiorgou (2012), A service oriented architecture for decision support systems in environmental crisis management. *Future Generation Computer Systems*, Vol. 28, 3, pp. 593-604.
19. Aydinoglu, A. C. and M. S. Bilgin (2015), Developing an open geographic data model and analysis tools for disaster management: Landslide case. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 15, 2, pp. 335-347.
20. Soto, A. (2015), Deriving information on disasters caused by natural hazards from limited data: a Guatemalan case study. *Natural Hazards*, Vol. 75, 1, pp. 71-94.
21. Karnatak, H.C., R. Shukla, V.K. Sharma, Y.V.S. Murthy and V. Bhanumurthy (2012), Spatial mashup technology and real time data integration in geo-web application using open source GIS - a case study for disaster management. *Geocarto International*, Vol. 27, 6, pp. 499-514.
22. Masuya, A., A. Dewan and R. J. Corner (2015), Population evacuation: evaluating spatial distribution of flood shelters and vulnerable residential units in Dhaka with geographic information systems. *Natural Hazards*, Vol. 77, 3, pp. 1859-1882.
23. Balkaya, C., F. Casciati, S. Casciati, L. Faravelli and M. Vece (2015), Real-time identification of disaster areas by an open-access vision-based tool. *Advances in Engineering Software*, Vol. 88, pp. 83-90.
24. Pham, T., P. Apparicio, C. Gomez, C. Weber and D. Mathon (2014), Towards a rapid automatic detection of building damage using remote sensing for disaster management: The 2010 Haiti earthquake. *Disaster Prevention and Management*, Vol. 23, 1, pp. 53-66.
25. Cobb, D. J., M. Hong and Y. Wu (2015), Identifying socially vulnerable population to storm surge flooding based on local planning needs: A case study of Lee County, Florida. *International Journal of Geoinformatics*, Vol. 11, 1, pp. 43-52.
26. Potts, K. E., R. M. Bennett and A. Rajabifard (2013), Spatially enabled bushfire recovery. *GeoJournal*, Vol. 78, 1, pp. 151-163.
27. Lüge, T. (2015), Social Media Monitoring during Humanitarian Crises - Lessons Learned. WWW site <http://www.alnap.org/resource/21232> (accessed 31.10.2015)
28. Burston, J., D. Ware and R. Tomlinson (2015), The real-time needs of emergency managers for tropical cyclone storm tide forecasting: results of a participatory stakeholder engagement process. *Natural Hazards*, Vol. 78, 3, pp. 1653-1668.
29. Nepal Earthquake Assessment Unit (2015), Nepal Experiences with Assessments. WWW site <http://www.alnap.org/resource/20998> (accessed 31.10.2015)
30. Grünewald, F. and S. Carpenter (2014), Urban Preparedness - Lessons from Kathmandu Valley. WWW site <http://www.alnap.org/resource/10884> (accessed 31.10.2015)
31. ACAPS (2012), Coordinated Assessments in Emergencies. What we know now: Key lessons from field experience. WWW site <http://www.alnap.org/resource/7912> (accessed 31.10.2015)

32. Patrick, J. (2011), Haiti Earthquake Response: Emerging evaluation lessons. WWW site <http://www.alnap.org/resource/6125> (accessed 31.10.2015)
33. Theilen-Willige, B., R. Löwner, F. El Bchari, H. A. Malek, M. Chaibi, A. Charif, C. Nakhcha, M. A. Ougougdal, M. Ridaoui and E. Boumaggard (2014), Remote sensing and GIS contribution to the detection of areas susceptible to natural hazards in the Safi area, W-Morocco. 2014 1st International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management, ICT-DM 2014.
34. Demuth, J. L., R. E. Morss, B. H. Morrow and J. K. Lazo (2012), Creation and communication of hurricane risk information. Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 93, 8, pp. 1133-1145.
35. Moe, T. L. and P. Pathranarakul (2006), An integrated approach to natural disaster management: Public project management and its critical success factors. Disaster Prevention and Management, Vol. 15, 3, pp. 396-413.

ЗЕМЕТРЕСЕНИЯТА В НЕПАЛ – 2015 Г. – ГЕНЕЗИС И ОСОБЕНОСТИ

Бойко Рангелов

Минно-геологки университет
e-mail: branguelov@gmail.com

Ключови думи: Силни земетресения, Непал, генезис, особености

Резюме: Силните земетресения в Непал през 2015 година донесоха много разрушения и човешки жертви. Генетически са привързани към границата на Евразия с Индийския субконтинент. Типичната геодинамична обстановка се характеризира в условия на силна компресия, създадена от коллизията на двете континентални плочи. Поради това земетресенията имат възседен характер и много продължителна автотшокова серия. Двете най-силни сейзимични събития се отличават по макросеизмичните си характеристики – първото с почти изометрично макросеизмично поле, второто – със силно изтеглена ос в направлението СЗ-ЮИ.

NEPAL EARTHQUAKES, 2015 – GENESIS AND PECULIARITIES

Boyko Ranguelov

Mining and Geology University – Sofia
e-mail: branguelov@gmail.com

Keywords: Strong earthquakes, Nepal, genesis, peculiarities

Abstract: The strong earthquakes in Nepal 2015, generated huge damages and many victims. Genetically the seismic events are located at the boundary between Eurasia and Indian subcontinent. The geodynamic environment is typically compressive. All strong earthquakes are thrust type and that's why generated long lasted aftershocks. The most powerful two seismic events have completely different macroseismic fields – the first one – isometric, the second in time – elongated ax to NW-SE.

Въведение

На 25 Април - събота, 2015 година в 13.56 местно време в сравнително пуст, ненаселен район на Хималайите, Земята започва да се руши от силен земетръс. Магнитуд 7.8. За около 7-8 минути цялата планина заедно с Еверест, Анапурна и другите осемхилядници започва неистово да трепери. Катманду се издига с около 3 метра. Еверест и околните осемхилядници започват да губят от височината си. По-късно прецизните измервания ще покажат, че те пропадат с по няколко десетки милиметра. Земята променя оста и скоростта на въртенето си (ефектът се дължи на факта, че огромен къс от земната кора с размери 120 на 60 километра се е издигнал средно с около 1 метър, а това променя инерчния момент на въртене на Земята и времето започва да тече с части от милисекундата по-бавно). Вибрациите са ужасяващи, но не и неочеквани – и в миналото Катманду е преживявало подобен ужас.

История на земетръсните прояви в района

– 1897 година – Великото Асамско земетресения (по днешни изчисления с магнитуд 8.7) – най-силното сухоземно земетресение за последните 200 години. Ричард Олдъм пише за него в своя рапорт от 1899 година – ...”видях с очите, си как една планина на няколко километра от мен, започна да се срива и целият хълм с височина около 200 метра започна да сляга, докато се изравни със земята. В същото време, друг район зад мен започна да расте – и стигна 15-20 метра над земята, не успях да се държа на краката си и седнах, като рискувах, всеки

момент земята да ме погълне...". За да промени релефа на земята в такива мащаби, наблюдаваната интензивност (по всички макроиземични скали) достига най-високата – XII степен.

- през 1950 – в същия район – нов трус с магнитуд 8.6 променя отново релефа на щата Асам.

Тези извънредно силни трусове стават на изток от Непал.

- 1934 трус в Непал (на изток от Катманду) с магнитуд 8.0, убива около 17 хиляди души.
- 1988 година – в самия Непал, земетресение с магнитуд 6.9 убива около 1000 души и разрушава силно Патна.

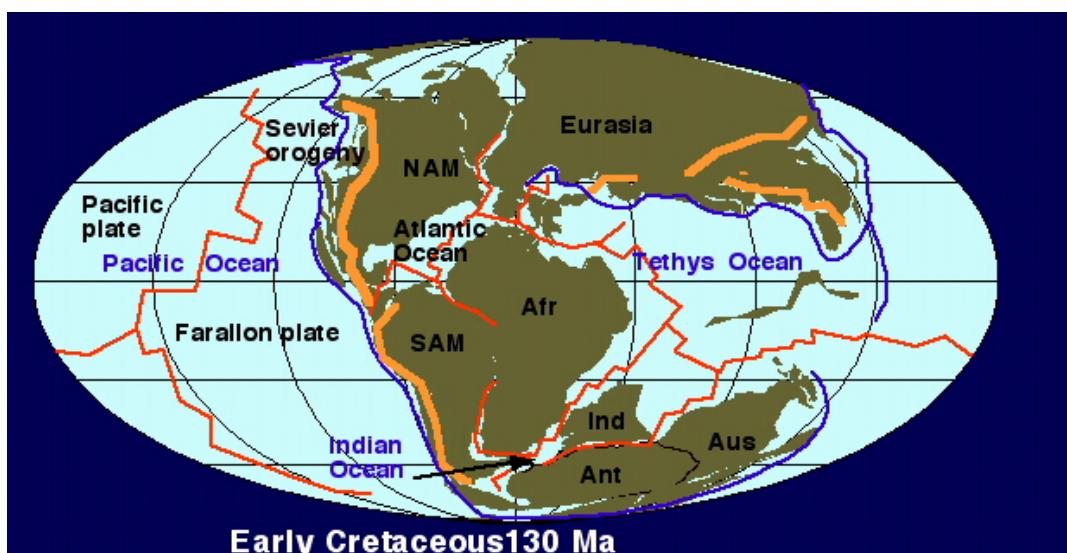
В същото време – на запад от Непал, земята не е много по-спокойна:

- 1905 година на 4 Април – в долината Кангла, в Намчал Прадеш, става земетръс с магнитуд 7.8, разрушил Дармасала (столицата на Далай Лама) и избил поне 20 000 души.

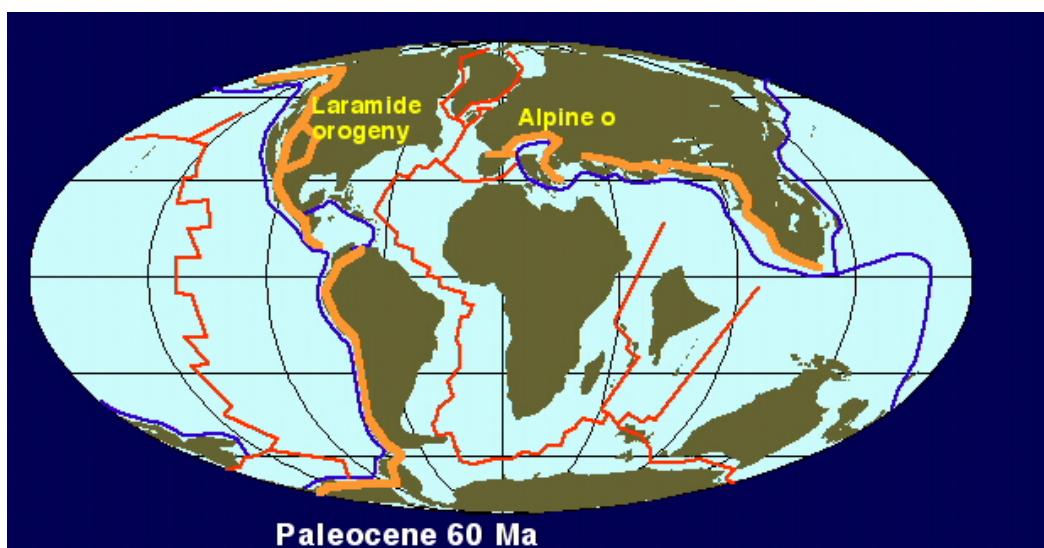
Списъкът на тези унищожителни земетресания може да бъде продължен.

Геодинамичната обстановка

Историята започва много преди това – около 130 milionna години в епохата на Ранната Креда. Тогава Индийският субконтинент се отделя от Антарктида и Австралия и започва своя дълъг път на север. Това е континентът пропътувал разстоянието от района на Южния полюс до Азия по сравнително спокойна, несмущавана от други глобални катализми, траектория.



След около 60-70 milionna години вече е в средата на днешния Индийски Океан

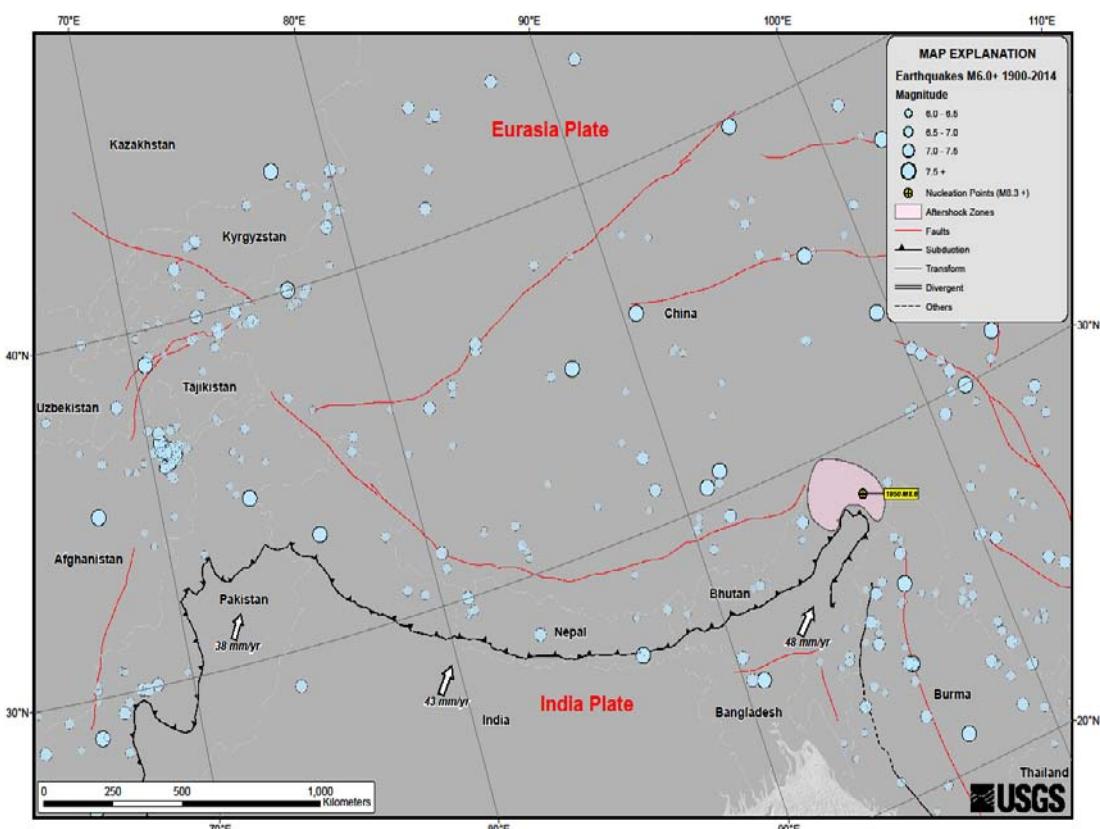


И така до преди около 20 милиона, когато се сблъскава с Азия и започва да избутва нагоре най-голямата планина на Земята – Хималайт. И така до ден днешен. От сблъсъка на Индийския субконтинент с континента Азия, произлиза и най-високата планина на планетата.

Има и още нещо важно – набраната инерция от преди 130 милиона година, продалжава с нестихваша сила и днес. Затова зоната на колизия между двете континентални площи – Индийската и Азиатската ражда най-бързо растящата планина на планетата Земя. Това означава, че само през Кватерера, (а може би дори само през Холоцен), Хималайт се издигали със средна скорост от 1-2 см на година. И това е вследствие на гигантската колизия на сблъсък между двете континентални площи.

Поради това – силното земетресение от 2015 г., както и ставалите преди него, както и тези, които ще стават в бъдеще, са изцяло предизвестени.

Това следва непосредствено от геотектонската обстановка в района – на фигуранта е представена границата между Азиатската плоча и Индийската субплоча – жълтата линия. На фона на сблъсък между двете, отчетливо личи съвременнана сейзмичност – кръгчетата с различен цвят са епицентрите на силните земетресения от 1960 година до земетресението станало на 25 Април, 2015 (звездичката). Вижда се че масово сейзмичните събития стават на север от границата. Това говори че там се натрупват напреженията в земните недра, които се освобождават от ставащите в обема на земната кора земетресения – <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>.



Тектонска схема на района със скорости и посоки на движение на Индийската субплоча и някои по-силни земетресения (според USGS). GPS измерванията, показват движения от около 40 мм/год.

Причини за ужасяващите последици

Основните причини са:

Първо – дълбината му е около 10 километра – за съжаление сравнително плитко, поради което – много разрушително.

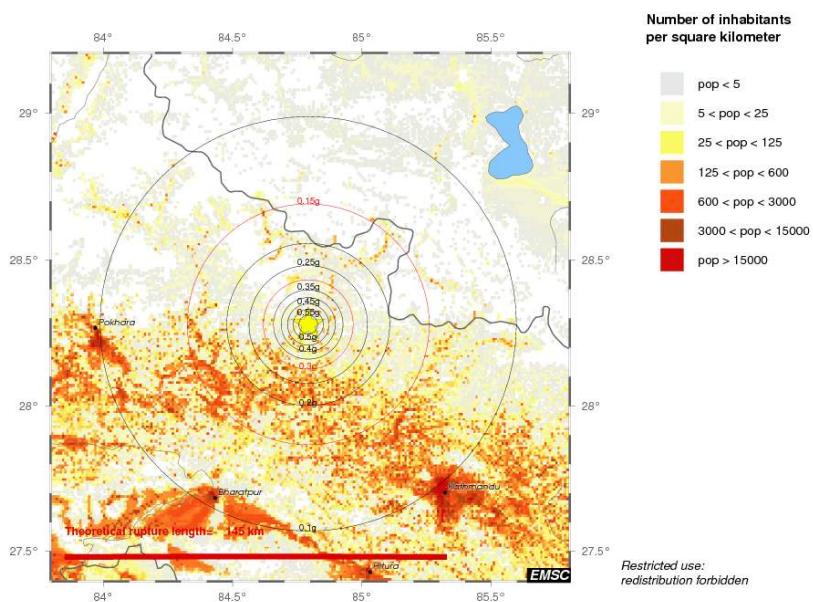
Второ – сравнително близко до многолюдни места (Катманду е само на 80-90 км с население 1.5 млн. души, а Баратпур – на 70 км с население над 150 000 души)

Population and theoretical PGA computed for MAG=7.6 (limit of validity of PGA law)

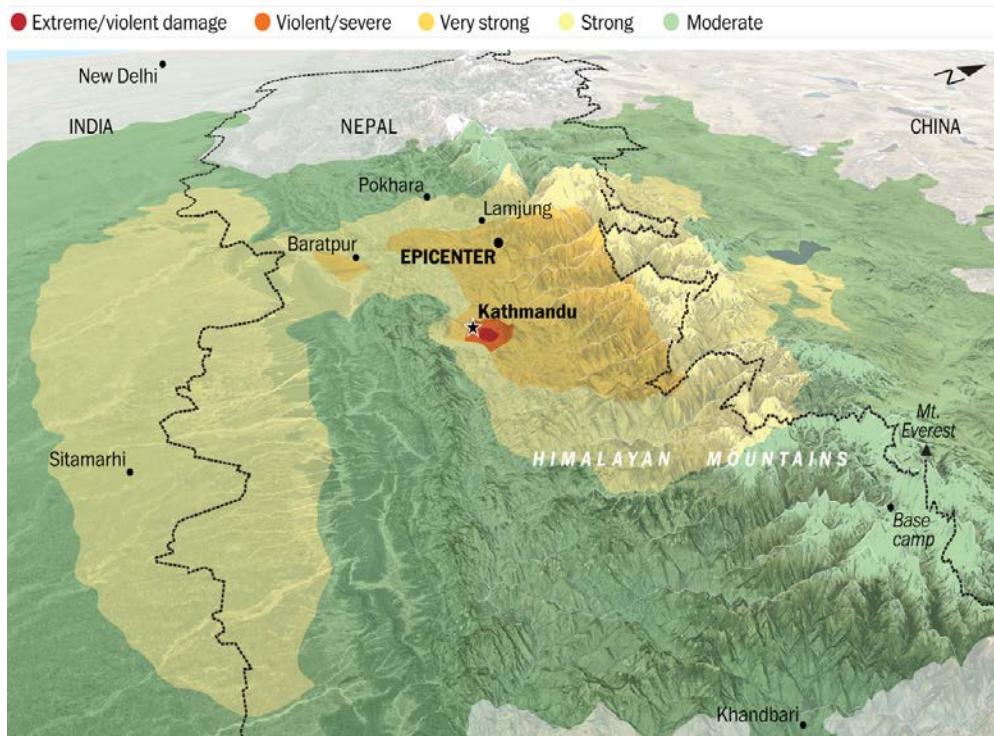
M7.8 2015/04/25 - 06:11:26 UTC

Lat 28.28 Lon 84.79 Depth 10.0 km

0 km 50 km

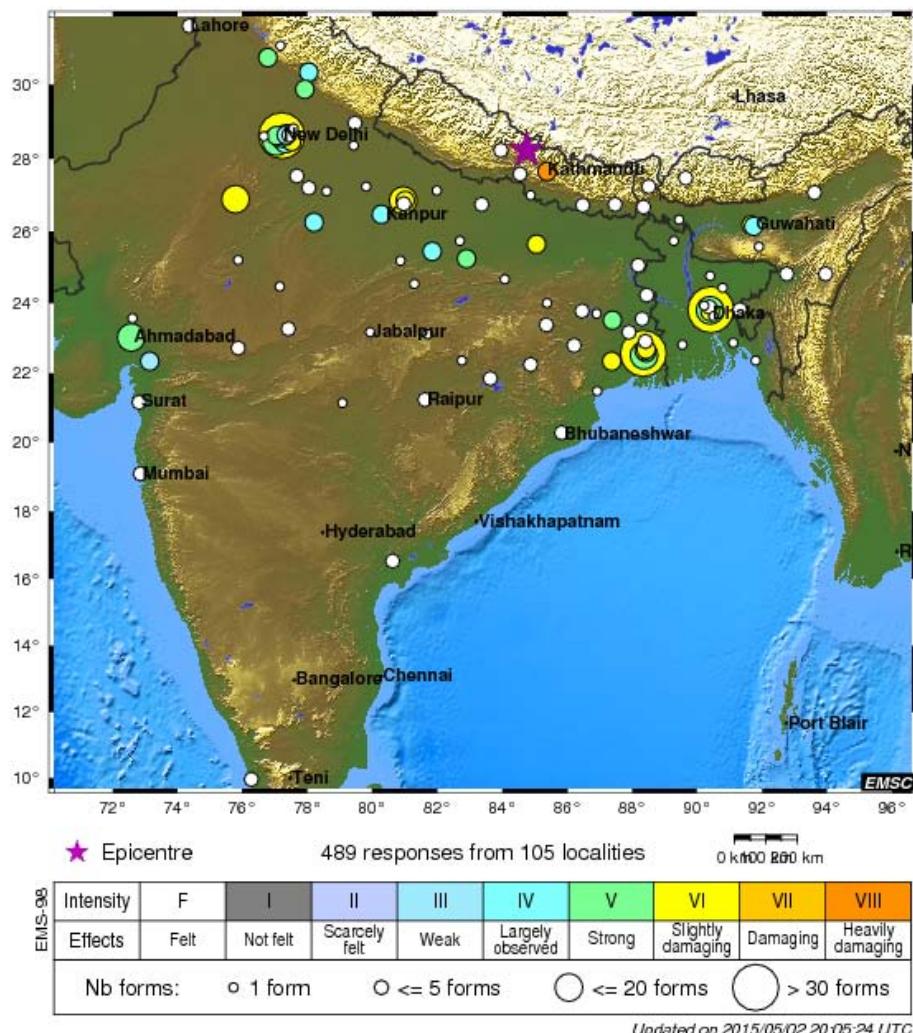


Трето – поради силата си, трусят предизвика всички естествени вторични явления които също имат разрушителен потенциал и убиват: – големи цепнатини в земята; активизирани свлачища, които освен че затрупват хора, разрушават спасителната инфраструктура – пътища, елпроводи, други комуникации, което от своя страна затруднява спасителните операции; лавини във високопланинската част – погребали над 300-400 души. Изобщо най-лошо стечание на обстоятелствата. Поради това и поради силата си, трусят предизвиква тежки разрушения на площ над 20 000 кв.км, а е усетен на разстояния над 1500 км, дори до Цейлон. Броят на жертвите по последни данни е над 7 700, а на ранените около 15-16 000.

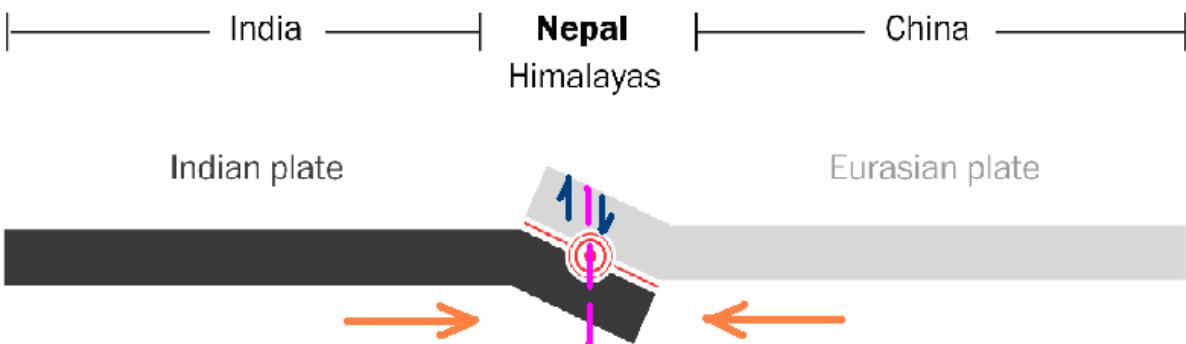


Разрушения по скалата на Меркали – екстремни (червено), много силни (кафяво), силни (оранжево), повреди (жълто)

M 7.8 NEPAL
2015/04/25 06:11:26.9 UTC

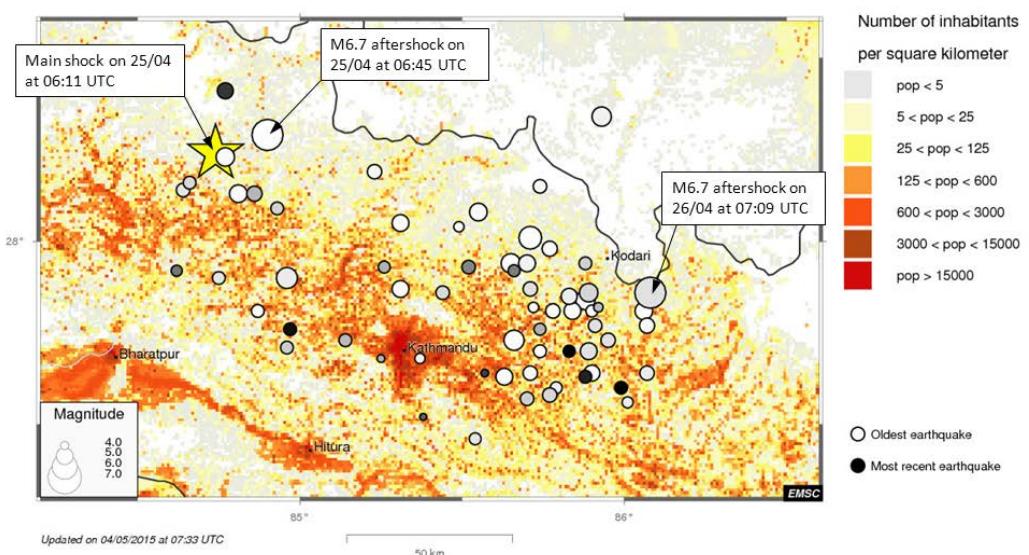


Данни за усещането на населението по степени (според ЕМСЦ)



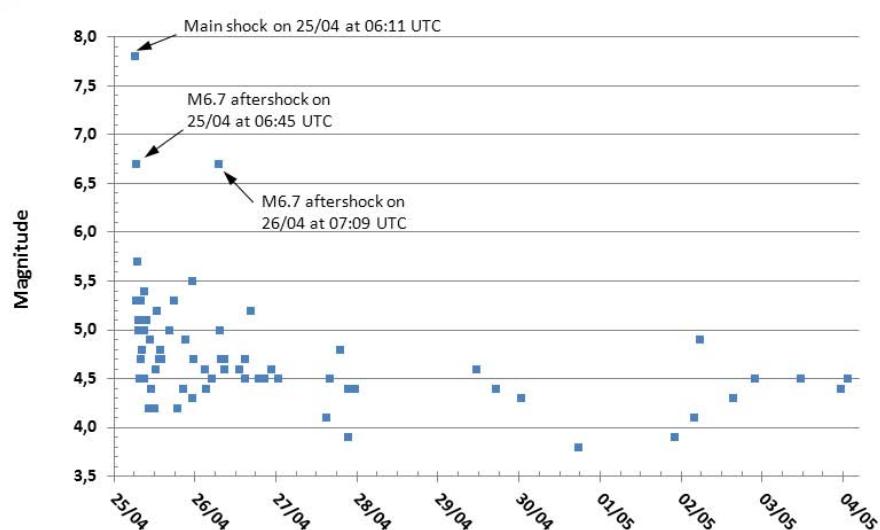
Напречен профил Северозапад-Югоизток през колизията на Индийската с Евроазийската плоча. Показани са силите на сблъскване (оранжевите стрелки); огнището (с кръгче), вертикалното разкъсване (лилавата линия) и издигането на южната част (с Катманду на нея) и пропадането (от отката) на северната (с Еверест на нея) – сините стрелки.

M7.8 in Nepal on 25/04/2015
Aftershocks distribution and population density



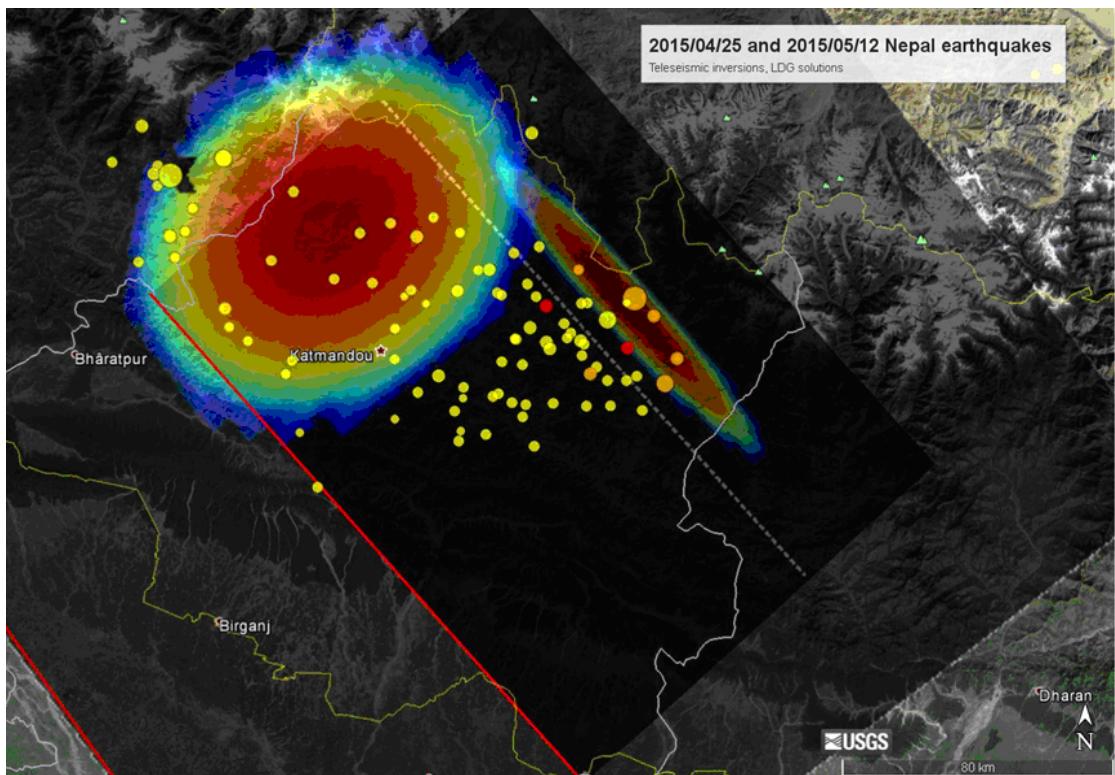
Разпределение на афтершоковете по място и време и плътност на населението в района

M7.8 in Nepal on 25/04/2015
Aftershocks distribution



Updated on 04/05/2015 at 07:00 UTC

Разпределение на афтершоковете във времето за първите десет дни след силния трус



Макросеизмични полета на първия (25.04.2015, M7.8) – изометрична форма и втория (12.05.2015, M7.4) трус със силно изтеглена елипсовидна форма и направление на дългата ос С3-ЮИ

Аналогии между трусовете в Непал 2015 и тези в България – 1904 г.

За разлика от труса в Непал, Българското земетресение от 4 Април 1904 година става на два мощни труса, първият с магнитуд 7.2, а вторият – с M7.8, разделени от интервал от време равен на 20-ина минути (Ranguelov B. et al, 2000). Тези трусове събрани в единичен, вероятно ще надминат по сила Непалския, ако енергията им беше отделена на една порция (както в Непал). Разбира се оценката на магнитудите на тези два труса е направена постфактум (по различни начини), понеже по това време магнитудната скала още не е била формулирана от Чарз Рихтер (от Калифорнийския Технологичен институт). Той прави това през 1935 година заедно с Бено Гутенберг – от същия институт. Съгласно това, вторият трус (M7.8 – като в Непал), е най-силното земетресение в пределите на континентална Европа през последните 200-250 години (Ranguelov B., 2005). За щастие, това не се е случило преди 111 години, но последиците са били не по-малко ужасяващи. Разрушени са Кресна и Крупник, пострадали са силно Горна Джумая (дн.Благоевград) и Дупница, както и Пехчево в Македония. Поради образуваната пукнатина в земята, Струма се е загубила за известно време. Имало е много активизирани свлачища, лавини и дълга афтершокова серия – продалжила няколко години. Това обаче, което отличава Българския трус от Непалския, който е в условия на компресия т.е. свиване, натиск (и то е най-същественото), е че за разлика от Непал, у нас труствът става в категорични условия на екстензия, т.е. разтягане, опън (Vikulin A. et al, 2000).

Затова и преместванията на земния релеф не е така драматични, затова и движенията на земната кора преди и след труса (които могат да бъдат премерени и днес с GPS) са в рамките на няколко (единици) милиметра за година.

Всичките тези данни показват, че тези геодинамични области на Земята са много активни, което означава, че те имат потенциал да генерират подобни трусове в миналото, имат го и сега, ще го имат и в бъдещето.

Заключение

- Разгледан е генезисът на силните земетресения в Непал през 2015 г. и автершоковите серии които те са предизвикали.
- Описани са последиците и особеностите в макросеизмичните полета на двета най-силни труса.

- Направено е сравнение на земетресенията в Непал 2015 г. и България 1904 г. и е показано, че са станали в условията на силно различаваща се геодинамична обстановка. В Непал – сълна компресия, в България – екстензия.
- Показано е, че Непал не е бил подготвен за подобни силни земетресения, независимо че такива са ставали и преди.

Литература:

1. Ranguelov, B., 2005, A model of the Aegean geodynamic zone., in "The South Aegean active volcanic arc." (Eds. M. Fytikas and G. Vougioukalakis),, ELSEVIER. pp. 11-17.
2. Ranguelov, B., S.Rizhikova, T.Toteva., 2001. The earthquake (M7.8) source zone (South-West Bulgaria)., Acad.Publ.House "M.Drinov",, 279 pp.
3. Vikulin, A., B. Ranguelov, A. Kies, G. Lamykina., 2000, The belt seismicity - a new tool for geodynamic investigations in Kroupnik seismogenic zone., In. Far East Seismicity Problems., Ed. A. Vikulin., Petropavlovsk-Kamchatsky., RAS, p. 91-95.
4. Ranguelov, B., T. van Eck, G. Papadopoulos, S. Pavlides, S.Shanov, V. Shenk., Initial data for the magnitude reevaluation of the strong earthquakes during 1904 in Kresna-Kroupnik zone (SW Bulgaria). In. Reports on Geodesy., No4 (49), 2000, Warsaw, pp. 50-55.
5. Рангелов, Б., 2015. Земетресението в Непал – ужасяващо бедствие или очакван катализъм., Сп. Минно дело и геология, кн. 3-4. сс. 13-17.
6. <http://www.journalriskcrisis.com/mr-ranguelov-on-seismic-early-warning-systems/>
7. <http://www.emsc-csem.org/>
8. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>

**MAGNETIC SURVEY OF THE DANUBE RIVERBED
FROM km 795⁺⁶¹⁰ TO km 796⁺⁰³⁰ (THE AREA OF THE NEW BRIDGE
OVER DANUBE RIVER VIDIN-KALAFAT)**

Bozhidar Srebrev¹, Iliya Cholakov¹, Dimitar Ognianov²

¹National Institute for Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences

²VIDASOF Ltd

e-mail: srebrev@geophys.bas.bg

Abstract: The article observe carried out of magnetic survey on the area of new bridge over Danube river Vidin-Kalafat. The project for a new bridge over Danube river at Vidin-Kalafat started in the beginning of 2003. Organization and conduct of the field campaign take place during the months of July and August 2007.

**МАГНИТНО ПРОУЧВАНЕ НА КОРИТОТО НА РЕКА ДУНАВ
ОТ km 795⁺⁶¹⁰ ДО km 796⁺⁰³⁰ (РАЙОНА НА НОВИЯ МОСТ
НА РЕКА ДУНАВ ВИДИН-КАЛАФАТ)**

Божидар Сребров¹, Илия Чолаков¹, Димитър Огнянов²

¹Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките

²VIDASOF Ltd

e-mail: srebrev@geophys.bas.bg

Резюме: Работата разглежда проведеното магнитно проучване на района на новия мост на река Дунав Видин-Калафат. Проектът за нов мост на река Дунав при Видин-Калафат стартира през 2003 г. Организацията и провеждането на полевите магнитни работи беше през м. юли и август 2007 г.

The project for a new bridge over Danube river at Vidin-Kalafat started in the beginning of 2003. The project consortium was formed from UK and Spanish companies and Bulgarian participation and he predicted survey of the riverbed of Danube river at km 796, affected by construction works. According to the requirements for identification, assessment and risk management of construction of the facility has provided a map of the riverbed 1:2000 and geomagnetic survey to detect buried objects including munitions of the wars. The task associated with the realization of such a project, implemented first in the country, was commissioned by the developer of the site Spanish FCC CONSTRUCTION of "VIDASOF" Ltd. with a contract from 04.07. 2007. Organization and conduct of the field campaign take place during the months of July and August 2007 by a team led by Bozidar Srebrev from Bulgarian Academy of Sciences (BAS) and participation of Iliya Cholakov and Dimitar Ognianov. The equipment for the task is provided by "HYDROREMONT IG" Ltd. - Varna, BAS and "VIDASOF" LTD. For correctly reporting the results of geomagnetic studies of the area affected by the construction of the bridge has been used 3D-model of riverbed provided by "VIDASOF" LTD.

Principal survey data:

1. Investigated section of the river Danube 70 m upstream 150 down-stream to km 795⁺⁹¹⁰
2. Coordinate system: local (bridge-related)
3. Scope of the magnetometric survey: 10.1 ha
4. Water level variation during magnetometric measurements in km 795⁺⁹¹⁰: 26.2 - 26.8 m Baltic Elevation System.
5. Water depth variation during magnetometric measurements in km 795⁺⁹¹⁰: 8.6 – 10.2 m.
6. Method of magnetometric survey: geomagnetic field deviation
7. Accuracy of the measurements of the geomagnetic field: 1 nT
8. Accuracy of positioning of the sensor: 1 m.
9. Method of hydrographic survey: echo sounding measurements
10. Total number of measured points in the digital model describing the anomalous field: 3080
11. Number of survey gals: 24
12. Number of land control points: 1
13. Average spacing between the survey gals: 18 m
14. Speed of the survey vessel along the survey gals: 2-3 km/h
15. Frequency of magnetic field measurements along the profile (gal): every two seconds
16. Total length of the navigation canal survey profiles: > 220 m

I. General Remarks

I.1. Scope of the task

The field campaign for magnetic survey of the riverbed of the river navigation canal touched by project "New Bridge over Danube River" was conducted between 31 July and 6 August 2007. The scope and contents of the performed activities comply with the Investor's Assignment Note and Bulgarian standards.

The investigation site-focus in water territory occupied of navigation canal from km 795⁺⁶¹⁰ to km 796⁺⁰³⁰ and width 600 m (water level 27) , according to the investor's assignment. Equipment's setting-up is accordingly investor's requirements for detection of sunken objects; including ammunition from past wars - metal objects over 50 kg.

Before beginning was executed:

- Equipment calibration.
- Site investigation of magnetic field.
- Set-up of work parameters
- Equipment synchronization

Magnetometric investigations were made in three stages:

1 stage - site investigation in general and determine the zones for detail investigations.

2 stage - Detail magnetometric survey.

3 stage - Result analyst, recommendations for addition investigation include diver inspection.

The detailed magnetometric survey of the riverbed covers the area 220 m along the coast and 460 m across the river 24 survey profiles along the coast with 18 m average interval was projected for preliminary investigation of geomagnetic field. The length of the survey profiles is 220 m. The parameters of implementation of the magnetometric survey comply with the requirements of Investor' Assignments.

I.2. Equipment

Equipment for localization of the metal objects includes:

- Magnetometer Proton-4 for investigations in the water territory
- Proton magnetometer PMP-5A for land measurements
- GPS- receiver – Aquarius 5000- Desault-Sersel
- Motor cater – 4.5 t.

Calibration of the Proton-4 magnetometer was made by PMP- 5A standard magnetometer from Geomagnetic Observatory (PAG) at the Geophysical Institute, Bulgarian Academy of Sciences.

I.3. Work organization

One team was established for implementation of the task composed of Capitan, Hydrograph, Geophysicists (specialists in the geomagnetism) and Surveyor.

Team participants:

- Assoc. prof. Bozhidar Srebrov – Head of Geomagnetic Service.
- Assoc. prof. Iliya Cholakov – Head of Geomagnetic Observatory.
- Diver- Ivailo Dushkov.
- Hydrograph – Dr. Dimitar Ognianov.
- Data processing - Bozhidar Srebrov, Peter Petsinski.

I.4. Methodology and technology

The investigations for obtaining of geomagnetic anomalies, caused by ammunitions from past wars or different artificial magnetic disturbers consist:

- Preliminary calibration of the Proton -4 magnetometer and reference land measurements by PMP-5A magnetometer.
- Carry-out of site investigation in general and determine the areas for detail investigations.
- Carry-out of the detail magnetometric survey.
- Data processing including comparison with data from the Geomagnetic Observatory Panagyurishte (PAG). Preparation of maps and 3D model of the disturbed geomagnetic field of the riverbed.

GPS technology for determination of positioning, geomagnetic survey and specialized software for design, control and processing of data have been used in the process of design of a geomagnetic map and a 3D model of the anomalous geomagnetic field near the riverbed.

I.5. Regulatory framework

See the References of this article.

II. Instrument Calibration and Site Survey in General

II.1. Instrument calibration

The operative geomagnetic control was made as follows:

1. Calibration of Proton-4 magnetometer was made by PMP-5A standard observatory magnetometer:

- The both magnetometers sensor in one place on the land was sited.
- With every one magnetometer 10 simultaneously measurements was made.
- The average values measured by the magnetometers are as follows:

Magnetometer	Average values of the magnetic field
Proton -4	48 617 nT
PMP -5A	47 643 nT

The instrument calibration value for Proton -4 magnetometer is:

$$48617 \text{ nT} - 47643 \text{ nT} = -973 \text{ nT}.$$

2. Comparisons of geomagnetic field data from km 795^{+610} to km 796^{+030} area of Danube River with data for total geomagnetic field F from Geomagnetic Observatory PAG during time intervals during measurements on the every one of the geomagnetic profiles.

II.2 Site investigation in general

The magnetometric survey in general near the riverbed covers the area 220 m along the coast and 460 m across the river and 4 survey profiles along the coast with 100 m average interval were measured for preliminary investigation of geomagnetic field. The length of these survey profiles is > 220 m.

III. Detail Magnetometric Survey

III.1. Method and technology

The survey of the geomagnetic field has been conducted by the measurements in the river water with time interval 2 seconds. Water-depths during the geomagnetic measurements have been 8.6 – 10.2 m and the width of the accessible investigation area was 460 m. The number of survey gals was 24 with average spacing between the survey gals -18 m. For determination of positioning and time during the geomagnetic measurements the GPS receiver was used. The average distance between magnetometer sensor and the riverbed surface was 3.5 m. The distance between Motor cater and the magnetometer sensor was 60 m. The magnetometer investigation of the underwater area was made by JW FISHERS INC *Tracker II* software installed in a computer, which worked in synchronization with the magnetometer and the GPS receiver. The geomagnetic field was measured in 3080 points in the investigation area.

IV. 3D Model of the Anomalous Geomagnetic Field

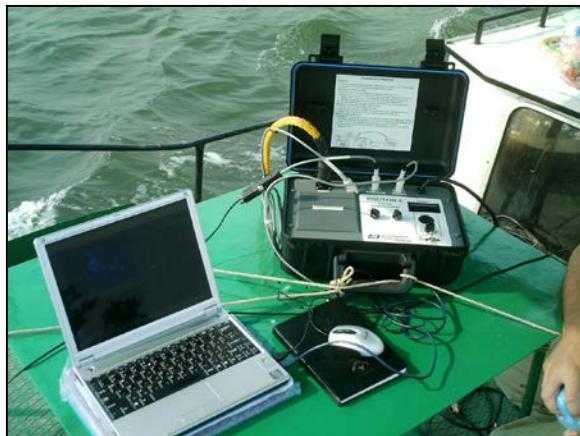
IV.1. Description of the model

The 3D model of the anomalous geomagnetic field is created by separation of the geomagnetic variations (registered in the geomagnetic observatory) from the site-measured geomagnetic field data and by optimization procedure for obtaining of the disturbed areas which contain local minimums of the geomagnetic field. On the base of the model are obtained the areas with considerable negative geomagnetic field deviation. These disturbed areas could be associated with ferromagnetic bodies which eventually can change the normal geomagnetic field. After data processing was derived 73 points with anomalous geomagnetic field which can be used for planning of detailed diver searches in these areas.

IV.2. Results

The all 3080 points in the water section have been used for representative description of the anomalous geomagnetic field and for creation of the 3D model. The accuracy of the measurements of the geomagnetic field is 1 nT and optimization level step for obtaining of the disturbed zones is 14 nT. The value of the negative geomagnetic field deviation at distance 3.5 m between magnetometer sensor and one ferromagnetic metal body with mass 50 kg is > 28 nT.

The equipment and the results from data processing are shown further down:



Equipment for magnetic water survey

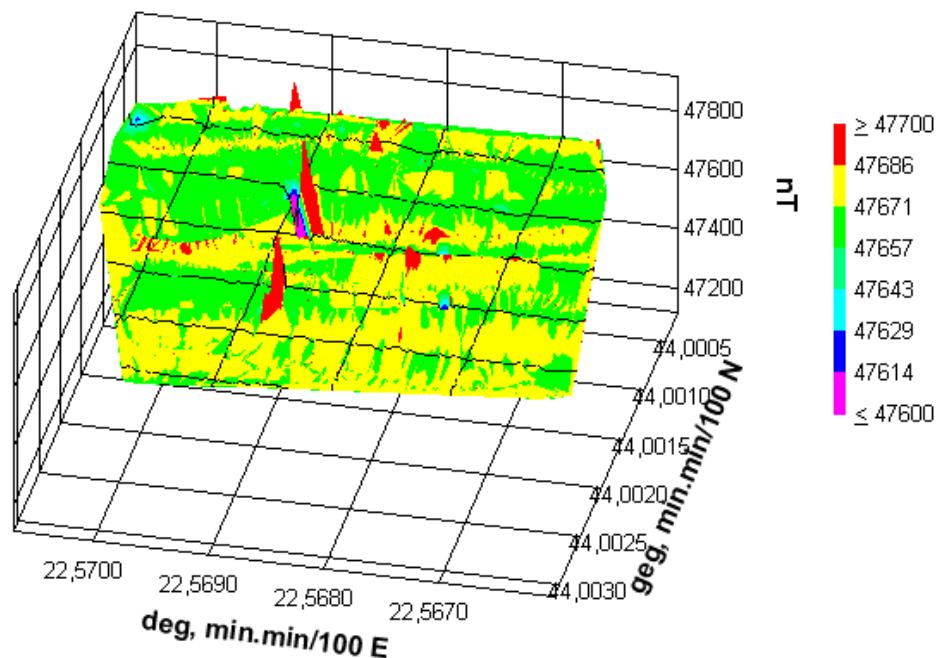


The Sensor of Proton-4 magnetometer

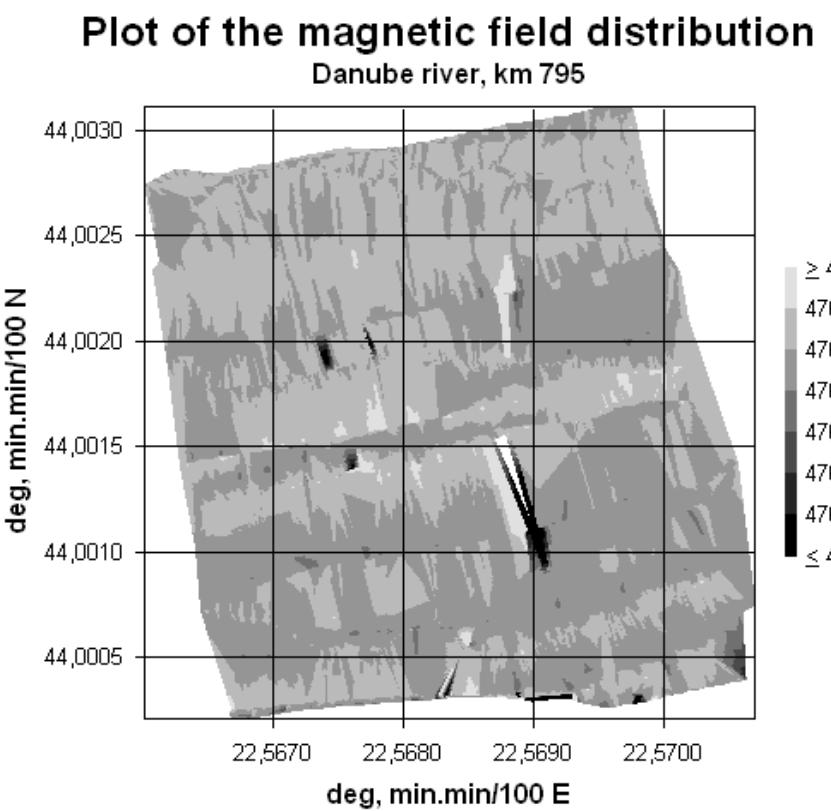
On the first picture is shown the 3D model of the disturbed geomagnetic field in the investigated area. The geomagnetic field values are in the interval between 47 600 and 47 700 nT. The magnetic field with values below 47 671 nT is eventually influenced by disturbers on the riverbed and under the riverbed surface in small dept.

3D Model of the magnetic field distribution

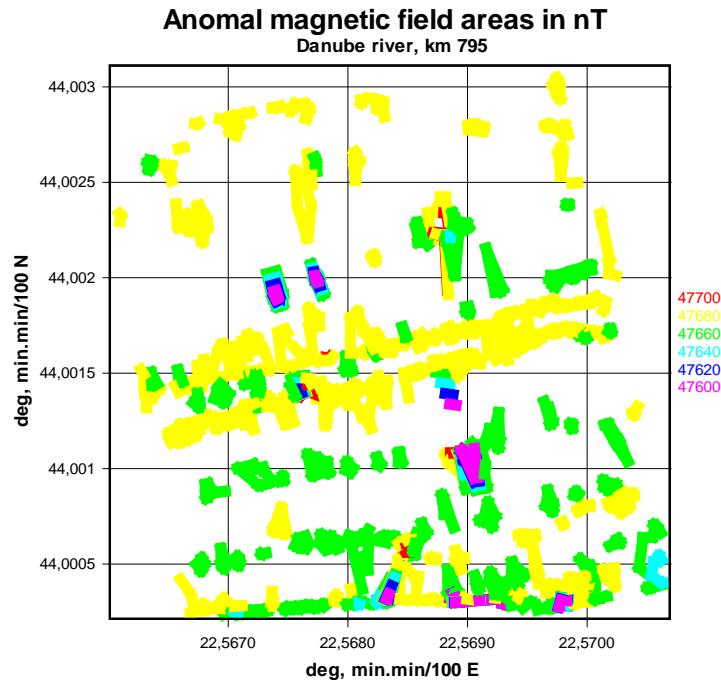
Danube river, km 795



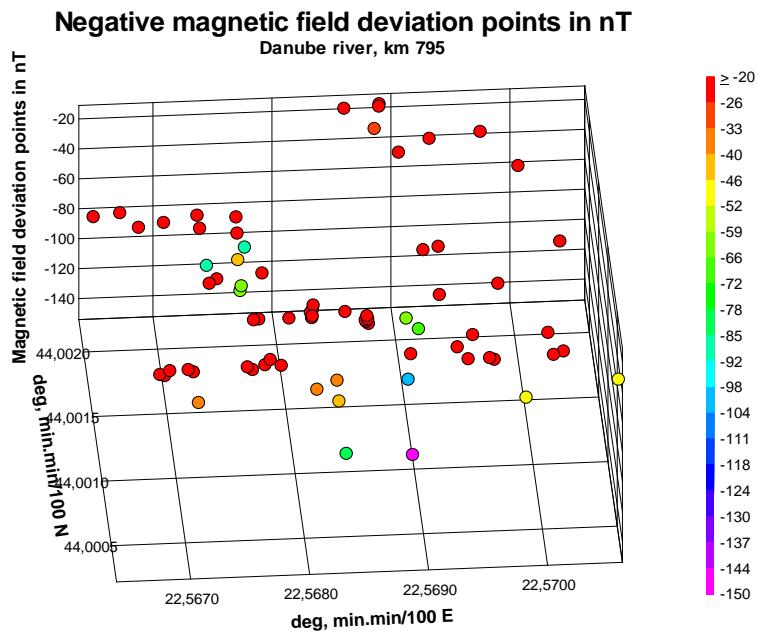
The next picture is a plot of magnetic field distribution in the investigated area.



After application of the optimization procedure for obtaining of areas with anomalous magnetic field values the next plot was draw. All spots on this picture are areas with disturbed magnetic field caused the eventually disturbers which can be on the river-bed and under the river-bed surface.



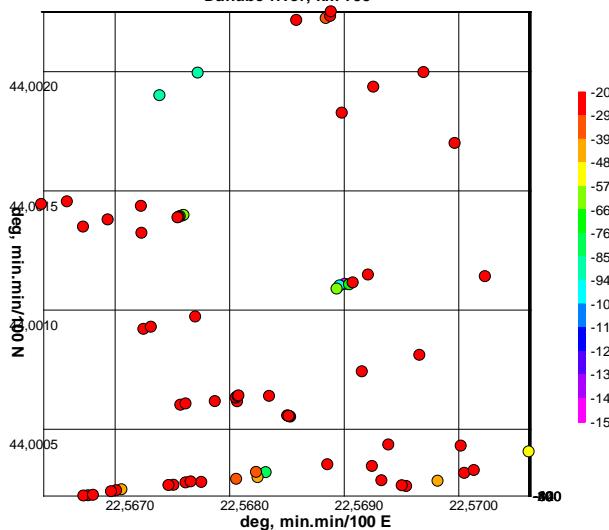
Through data processing was derived 73 points with anomalous geomagnetic field which are containing in the areas with anomalous magnetic field. These points are shown in the next scatter plot:



The places in the magnetic field deviation points in the investigated area can be seen on the next plot:

Negative magnetic field deviation points in nT

Danube river, km 795



The coordinates of these negative magnetic field deviation points are described further down. These coordinates can be used for planning of detailed diver searches in the areas around the points.

Coordinates deg, min.min/100		Negative magnetic field deviation points		Coordinates deg, min.min/100		deviation nT	
22.568551	44.000551	-17	22.567683	44.000279	-15		
22.568545	44.000553	-14	22.569265	44.000344	-17		
22.568538	44.000554	-12	22.570629	44.000405	-48		
22.568532	44.000555	-16	22.567270	44.000919	-18		
22.568525	44.000556	-15	22.567335	44.000928	-16		
22.568100	44.000640	-11	22.567722	44.000971	-17		
22.568093	44.000637	-14	22.568970	44.001101	-103		
22.568087	44.000635	-19	22.569008	44.001108	-154		
22.568076	44.000631	-15	22.569230	44.001147	-19		
22.567614	44.001397	-62	22.569277	44.001935	-15		
22.567604	44.001395	-65	22.566377	44.001443	-16		
22.567584	44.001392	-44	22.566602	44.001454	-15		
22.567577	44.001389	-26	22.569987	44.001699	-15		
22.567568	44.001387	-15	22.566746	44.000220	-17		
22.567253	44.001322	-16	22.566787	44.000221	-18		
22.568860	44.002223	-32	22.566830	44.000223	-15		
22.568900	44.002232	-18	22.566988	44.000238	-16		
22.569347	44.000284	-20	22.567031	44.000242	-18		
22.569525	44.000263	-18	22.567075	44.000246	-39		
22.569563	44.000260	-19	22.567489	44.000264	-18		
22.569834	44.000282	-47	22.567532	44.000265	-20		
22.570070	44.000315	-22	22.567775	44.000277	-19		
22.570154	44.000327	-21	22.568077	44.000290	-37		
22.570251	44.001140	-18	22.568263	44.000297	-46		
22.568951	44.001088	-61	22.568875	44.000351	-21		
22.569058	44.001106	-70	22.569408	44.000434	-17		
22.569097	44.001114	-18	22.567593	44.000601	-16		
22.566743	44.001348	-16	22.567638	44.000606	-16		
22.566958	44.001378	-16	22.567893	44.000616	-17		
22.567248	44.001435	-17	22.568088	44.000615	-16		
22.569002	44.001826	-14	22.568367	44.000638	-16		
22.569715	44.001996	-17	22.569177	44.000741	-16		
22.567400	44.001899	-91	22.569679	44.000810	-16		
22.567734	44.001994	-88					
22.568604	44.002215	-17					
22.568906	44.002251	-18					
22.568251	44.000319	-34					
22.568328	44.000318	-83					
22.570040	44.000429	-17					
22.567638	44.000275	-18					

References:

1. IAGA Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice by J. Jankowski and C. Sucksdröff, 1996.
2. IAGA Guide for Repeat Station Surveys by L.R. Newitt, C.F. Barton and J. Bitterly, 1997.
3. Quality Assurance Certificate for Proton - 4 magnetometer.

ВЛИЯНИЕ НА ВОДАТА КАТО ЕКОЛОГИЧЕН ФАКТОР ВЪРХУ СЪСТОЯНИЕТО НА РЕЗЕРВАТ КАМЧИЯ

Мария Димитрова¹, Светлана Маркова², Румен Недков¹, Мариана Захаринова¹

¹*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*

²*Софийски университет Св. св. Климент Охридски
e-mail: maria@space.bas.bg*

Резюме: Анализирани са последствията от повторящи се разливи на река Камчия на територията на резерват Камчия върху състоянието на лонгозните гори в резервата. Като мярка за състоянието на растителността и водното съдържание в ния са използвани индексите NDVI и NDWI за периода 1985-2015 по данни от Landsat.

THE INFLUENCE OF A WATHER AS A ECOLOGICAL PHACTOR ON A CONDITION OF KAMCHIA PRESERVE

Maria Dimitrova¹, Svetlana Markova², Roumen Nedkov¹, Mariana Zaharinova¹

¹*Space Research and Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences*

²*Sofia State University st. Kliment Ohridski
e-mail: maria@space.bas.bg*

Abstract: In this work it is the effects of repeated floods around Kamchia River in the territory of the reserve Kamchia on the state of the forests in the reserve. As a measure of the state of vegetation and water content, were used NDVI indices and NDWI for the period 1985-2015 data from Landsat.

При проследяване на времевото разпределение на наводненията на територията на България се забелязват повторящи се разливи по южното поречие на Камчия през пролетта на 2006, 2010 и 2015 година и зимата на 2014 [1, 2]. Тази територия попада в резерват Камчия.

Биосферен резерват „Камчия“ е разположен на територията на област Варна в общините Долни чифлик и Аврен. Географските координати са $43^{\circ}00'24''$ N; $27^{\circ}52'10''$ E. Площта на резервата и буферната зона е 1053,2 ха. Буферна зона 199,2 ха, резерват 854,0 ха. Резерват Камчия е обявен за резерват с Постановление №14289 от 29.06.1951 г. на Министерството на горите. През 1977 г. е включен в световната мрежа от биосферни резервати като част от програмата „Човек и биосфера“ на ЮНЕСКО за опазване на най-представителните екосистеми на планетата. Особено ценни за резервата са лонгозните гори по долното течение на река Камчия. [3]

За откриване на наводнения е приложена методиката, описана в [4].

За количественото изследване състоянието на растителността е избрано да се използват нормирания диференциален вегетационен индекс NDVI и нормирания диференциален воден индекс NDWI, които се изразяват посредством отразената електромагнитна енергия в различни спектрални участъци както следва [4, 5]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

където:

- NIR е количествата отразена електромагнитна енергия в близкия инфрачервен диапазон с дължина на вълната около $0.85 \mu\text{m}$, което за данните от Landsat 5 и 7 е 4-ти канал, а за Landsat 8 – 5-ти
- RED е количествата отразена електромагнитна енергия в червения диапазон с дължина на вълната около $0.65 \mu\text{m}$, което за данните от Landsat 5 и 7 е 3-ти канал, а за Landsat 8 – 4-ти
- SWIR - количествата отразена електромагнитна енергия в късовълновия инфрачервен диапазон с дължина на вълната около $1.65 \mu\text{m}$, което за данните от Landsat 5 и 7 е 5-ти канал, а за Landsat 8 – 6-ти

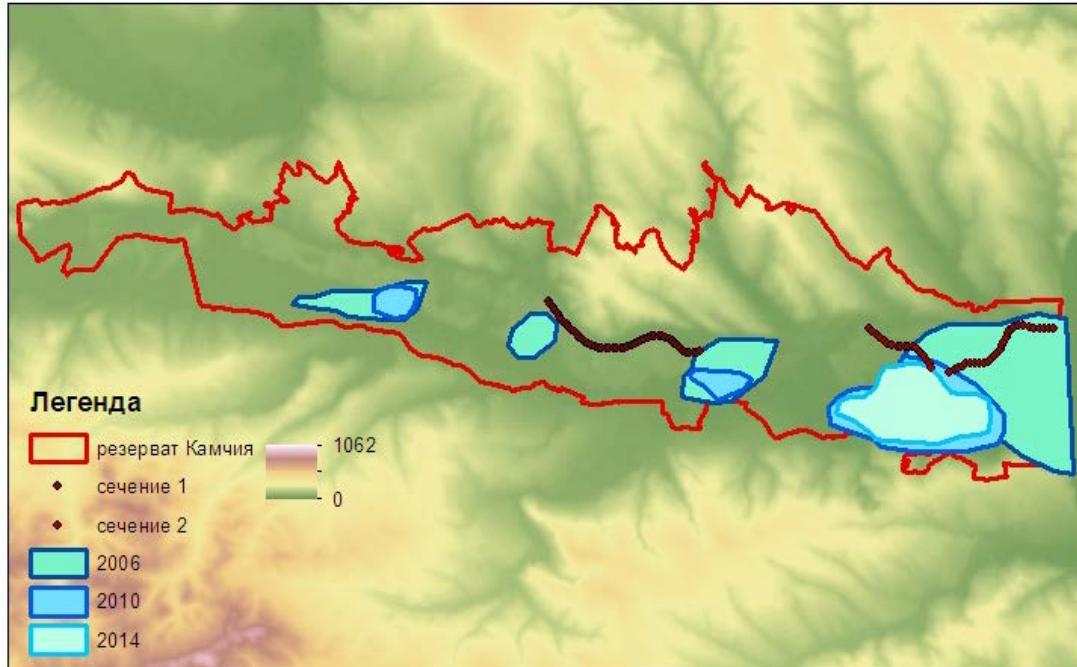
Нормираният вегетационен индекс има стойности между -1 и 1, като колкото по-голяма е стойността, толкова по-силна е вегетацията и по-голямо е водното съдържание. Това е така, т.к. здравите зелени растения силно погълщат слънчевата енергия в червения диапазон на спектъра (над 80 %), докато в близкия инфрачервен диапазон поглъщането е много по-ниско (до 40 %).

Отрицателните стойности на NDVI отговарят на дълбока вода, стойностите около 0 – на гола изгоряла почва, от 0.2 до около 0.4 – на тревна растителност а най-високите стойности се отнасят за горите.

Нормираният диференциален воден индекс има стойности между -1 и 1, като колкото по-голяма е стойността, толкова по-голямо е водното съдържание в листната маса на изследваната гора.

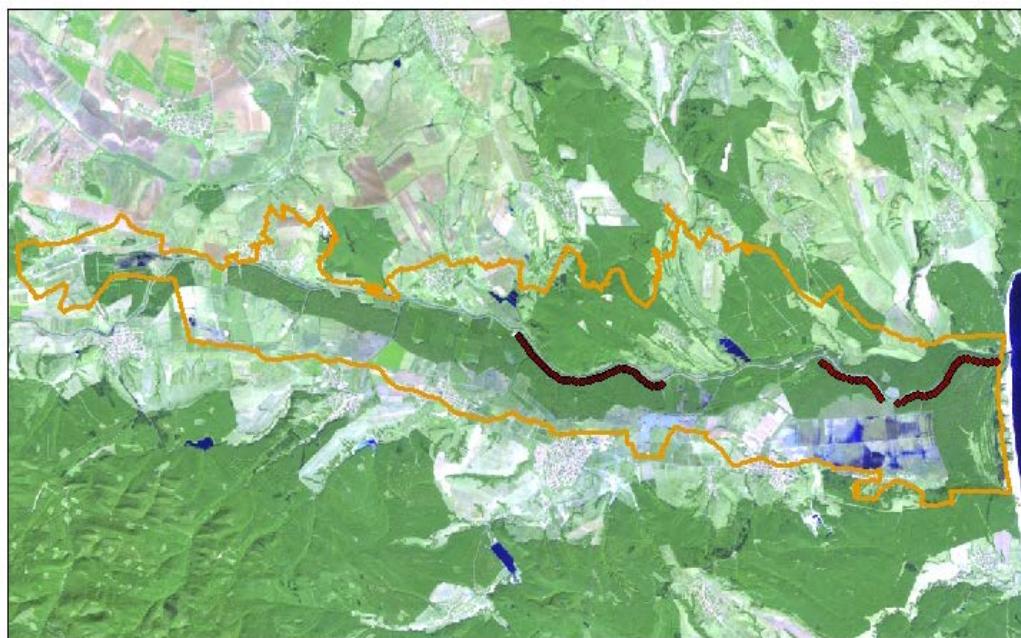
За да може да се прави сравнение за различни години е необходимо индексите да се пресмятат за една и съща фаза от развитието на растенията, т.е. за един и същи годишен сезон.

На фигура 1 са показани разливите, определени по базата данни от MODIS [1, 2]. върху цифров модел на релефа на територията около резервата. Забелязват се повтарящи се разливи по южното поречие на Камчия през пролетта на 2006, 2010 и 2015 година и зимата на 2014. Тази територия попада в резерват Камчия.



Фиг. 1. Повтарящи се разливи на територията на резерват Камчия

Landsat 5 25.05.1999



Легенда

- ◆ сечение 1 резерват Камчия
- ◆ сечение 2

Фиг. 2. Разлив на Камчия от пролетта на 1999 година по изображенията от Landsat

В настоящата работа са пресметнати индексите за периода 1985 – 2014 година, като са подбрани изображения от последните дни на май до последните дни на август.

За изследването са използвани данни от Landsat 5, 7 и 8 за периода 1985 – 2014 година както следва (Таблица 1)

Таблица 1. Данни, използвани за изследването

	година	дата	сензор	Композитно изображение (канали)
1	1985	24.07	TM	345
2	1986	27.07	TM	345
3	1987	31.08	TM	345
4	1990	7.08	TM	345
5	1991	10.06	TM	345
6	1992	19.07	TM	345
7	1999	25.05 23.07	ETM+ ETM+	345 345
8	2000	6.07	ETM+	345
9	2001	21.05	ETM+	345
10	2002	12.05	ETM+	345
11	2003	31.05	ETM+	345
12	2006	31.05	TM	345
13	2007	21.07	TM	345
14	2008	23.08	TM	345
15	2009	8.06 27.08	TM	345 345
16	2010	11.06	TM	345
17	2011	16.07	TM	345
18	2013	2.05	OLI	456
19	2014	8.07	OLI	456
20	2015	25.05	OLI	456

При подбора на данни от Landsat се забелязва наличие на наводнение и през май 1999 година (фигура 2).

След пресмятане на индексите са построени сечения на два избрани участъци от лонгозните гори, които са успоредни на речното корито, които са показани на Фигури 1 и 2.

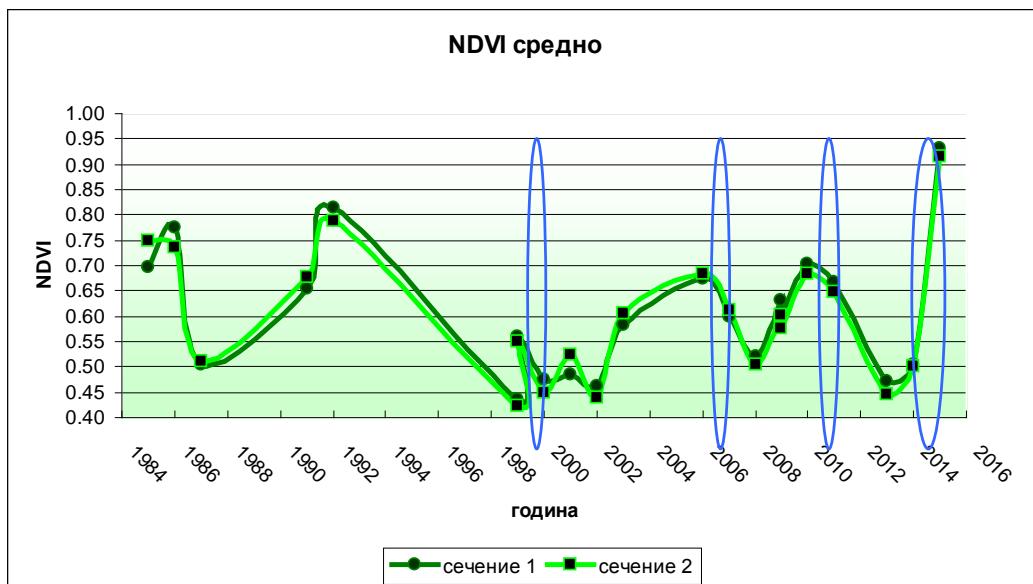
Първият участък не се залива при наблюдаваните наводнения, докато вторият преминава през най-често заливания участък.

По тяхното протежение са построени диаграми на разпределението на индексите и са определени максималните и средните им стойности.

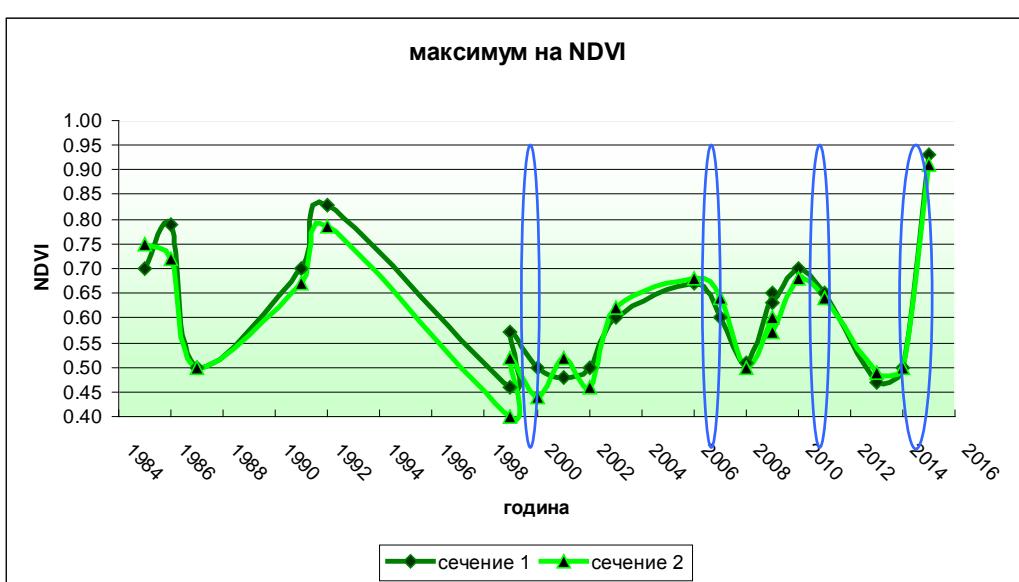
На фигура 3 са представени вариациите във времето на средните стойности на NDVI индексите по двете сечения. Както се вижда, поведението на двета профила е идентично, което означава, че както условията, така и типа растителност на двете места са много подобни.

На фигура 4 са представени вариациите във времето на стойностите на NDVI, отговарящи на максимумите в разпределението на индексите.

Както се вижда от сравнението на фигури 3 и 4, максимумите на разпределение напълно отговарят на средните стойности на NDVI индекса. Поведението на двета профила е идентично, което означава, че както условията, така и типа растителност на двете места са много подобни.



Фиг. 3. Времево поведение на средните NDVI индекси



Фиг. 4. Времево поведение на максимумите на разпределение на NDVI индекса

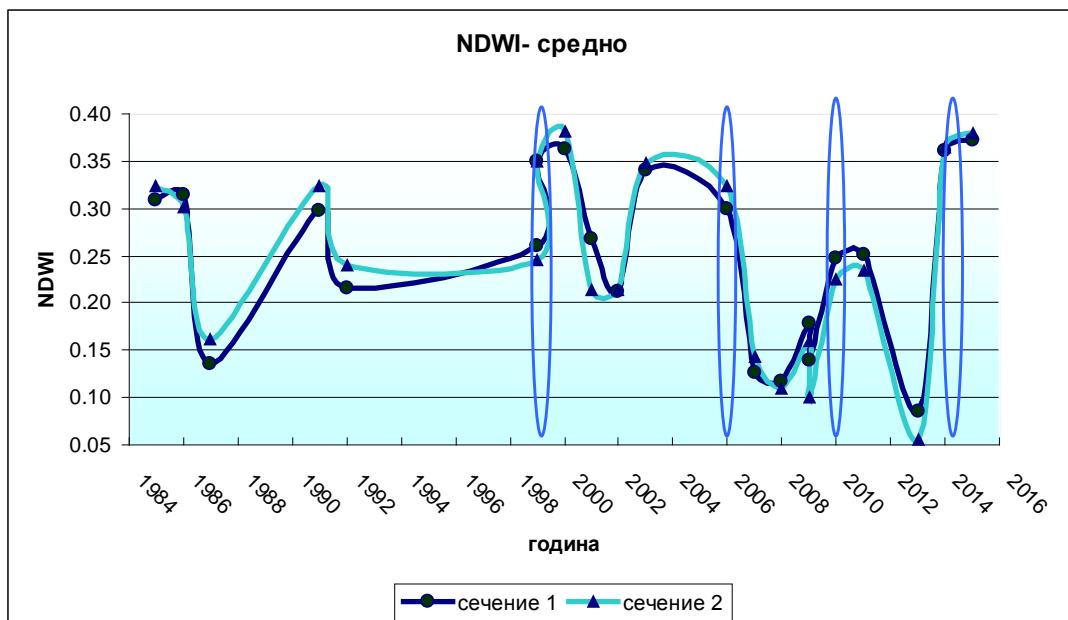
Стойностите на NDVI варират между 0.4 и 0.9, което говори за горска растителност, намираща се в добро екологично състояние през по-голямата част на изследвания период.

На фигураните със сини овали са показани периодите на наводнения.

За 1999, 2000 и 2006 може да се каже, че след наводненията NDVI индекса първоначално спада, т.е. прекалено многото вода в случая има по-скоро отрицателно въздействие върху гората. Това, обаче не се наблюдава за разлива от есента на 2014 и пролетта на 2015 година.

На фигури 5 и 6 са показани съответно изменениета във времето на средните и максимални стойности на NDWI индексите по двете сечения.

Както се вижда от сравнението на фигури 5 и 6 тук също максимумите на разпределение напълно отговарят на средните стойности на NDWI индекса.



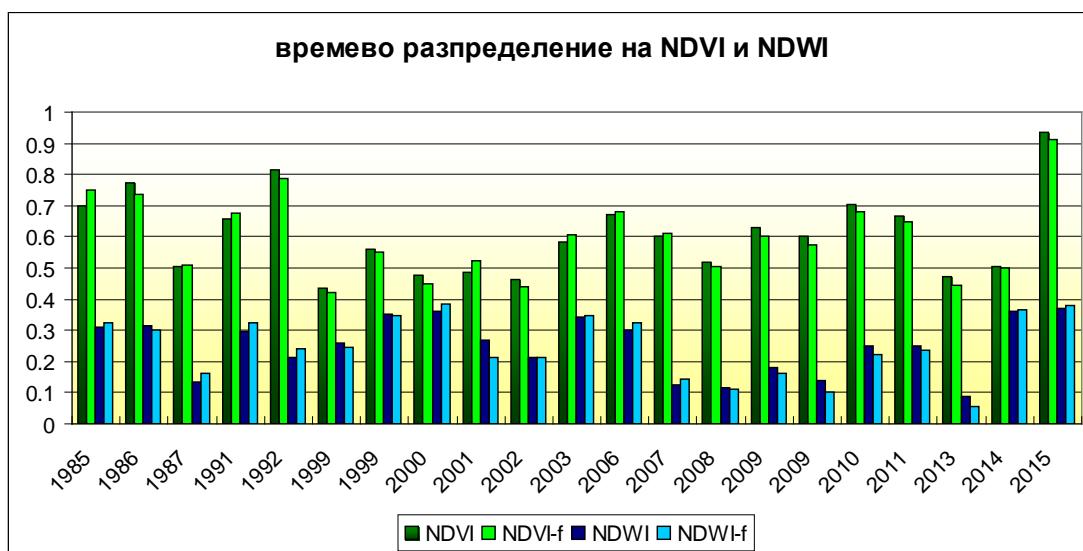
Фиг. 5. Времево поведение на средните NDWI индекси



Фиг. 6. Времево поведение на максимумите на разпределение на NDWI индекса

Разливите не оказват пряко влияние върху водното съдържание на короните на дърветата.

На фигура 7 са представени едновременно средните стойности на NDVI и NDWI индексите за двата профила за да може да бъде направена съпоставка на тяхното времево поведение.



Фиг. 7. Сравнение на газвитието във времето на NDVI и NDWI индексите по двете сечения

Както се вижда от графиката, няма пряка зависимост между влажността в короната на дърветата и тяхното вегетационно развитие. Влиянието на наводненията е по-скоро отрицателно, отколкото отрицателно, въпреки, че за наблюдаваната лонгозна растителност е характерно да изисква висока влажност и периодично заливане от прилежащите реки.

Наблюдаваните разливи преминават през изследваните лонгозни гори и зализват прилежащи земеделски и други площи, които не са обект на това изследване. Като се отчете и факта, че наводненията са наблюдавани в ранна пролет и късна есен, а селскостопанските площи не са с трайни насаждения, влиянието на наводненията там не може да се отчете коректно посредством сателитни данни.

Литература:

- Димитрова, М., Б. Велчева, ОРГАНИЗАЦИЯ НА СПЕЦИАЛИЗИРАНА WEB-БАЗА ДАННИ СЪС СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЗА ЕКОМОНИТОРИНГ НА БЪЛГАРИЯ, Десета научна конференция с международно участие SES 2014
- Димитрова, М., Р. Недков, Пространствено-времево разпределение на наводнения и пожари на територията на България за периода 2004 - 2015 г. по данни от MODIS, Екологично инженерство и опазване на околната среда, № 3, 2015, ISSN 1311 – 8668
- Природен парк Камчия - план за управление 2005-2015, Република България, Министерство на околната среда и водите,
http://www.moew.government.bg/files/file/Nature/Protected_areas/Planove_za_upravlenie/Plan_Upravnie_Kamchia.pdf
- Димитрова, М., Р. Недков, РЕГИСТРИРАНЕ НА НАВОДНЕНИЯ И ПОЖАРИ ПО ДАННИ ОТ MODIS, Екологично инженерство и опазване на околната среда, № 3 (4) 2014, стр.19-24, , ISSN 1311 – 8668
- Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao, L.G. Ferreira, Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices, Remote Sensing of Environment 83 (2002) 195–213
- Cheng Yen-Ben, Susan L. Ustin, David Riaño, Vern C. Vanderbilt, Water content estimation from hyperspectral images and MODIS indexes in Southeastern Arizona, Remote Sensing of Environment 112 (2008) 363–374

**СЕЗОННА ДИНАМИКА НА ПЛАВАЩИТЕ ТРЪСТИКОВИ ОСТРОВИ В
ЕЗЕРОТО СРЕБЪРНА НА БАЗАТА НА СПЪТНИКОВИ, НАЗЕМНИ И GPS
ДАННИ, ЗА ПЕРИОДА МАРТ 2014 г. – МАРТ 2015 г.**

Ива Иванова, Румен Недков

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

Ключови думи: дистанционни изследвания, динамика, плаващи тръстикови острови, местообитания

Резюме: В настоящата работа се проследява сезонната динамика на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна за период от една година. Плаващите тръстикови острови имат изключително важно значение за гнезденето на различни видове водолюбиви птици, някои от които световно застрашени видове. За изследване динамиката (като абсолютно и относително движение) на плаващите острови е използвана единствената възможност, която предоставят високотехнологичните методи, базирани на дистанционни изследвания от космоса с помощта на сензори с подходящи за целта параметри на регистрираните от тях данни за този вид несистемни ландшафтни единици. Това показва как островите се променят през сезоните за една година, какви движения и промени във формата и площта им се наблюдават и дали това се отразява върху използването им от някои световно застрашени видове птици като място за гнездене. Сезонния мониторинг дава представа как да бъдат опазени плаващите тръстикови острови като важно местообитание.

**SEASONAL DYNAMICS OF FLOATING REED ISLANDS IN SREBARNA LAKE
BASED ON SATELLITE, TERRESTRIAL AND GPS DATA, FOR THE PERIOD OF
MARCH 2014 - MARCH 2015**

Iva Ivanova, Roumen Nedkov

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: ivaivanova@space.bas.bg, medkov@space.bas.bg

Keywords: remote sensing, dynamics, floating reed islands, habitats

Abstract: In this work we describe the seasonal dynamics of the floating reed islands in Srebarna Lake for the period of one year. The floating reed islands are essential for the breeding of various species of waterbirds, some of them endangered species. To study the dynamics (such as absolute and relative motion) of floating islands was used only opportunity which provide high-tech methods based on remote sensing from space using sensors by suitable parameters recorded by the data for this type of unsystematic landscape units. The change of the islands through the seasons in a period of one year was shown, dynamics and changes in their shapes and sizes, and the effects on their usage of some globally threatened species of birds as a nesting site. Seasonal monitoring gives an idea of how to preserve the floating reed islands as important habitat.

Въведение

Предметът на изследване в работата е динамиката на плаващите тръстикови острови през относително дълъг период от време в езерото Сребърна (от 1978 г. насам). Поддържаният резерват (ПР) „Сребърна“ е разположен на брега на р. Дунав между R.km 391 R.km 393 (44°07 N, 27°04 E; UTM grid NJ 08) и надморска височина между 10 m и 13.2 m) [4].

Плаващите тръстикови острови имат изключително важно значение за гнезденето на различни видове водолюбиви птици, някои от които световно застрашени видове. Плаващите

тръстикови острови са уникални за Европа като местообитания на водолюбиви птици са представени единствено в езерото Сребърна и Делтата на р. Дунав.

За изследване динамиката (като абсолютно и относително движение) на плаващите острови е използвана единствената възможност, която предоставят високотехнологичните методи, базирани на дистанционни изследвания от космоса с помощта на сензори с подходящи за целта параметри на регистрираните от тях данни за този вид несистемни ландшафтни единици[3].

Плаващите тръстикови острови представляват специфични формирования от плаващи фрагменти от почва, гниещи листа, коренища и стъбла от тръстика, разположени в акватории с ниво на водата, по високо от 2 м. Те представляват слой с дебелина от 1-6 м, които са изградени от комбинация на тръстикови ризоми и корени и други водни растения, смесени с органика и соли[3].

Плаващите тръстикови острови са:

подвижни – движещи се под действието на водните и въздушните течения;

фиксираны – неподвижно прикрепени към дъното чрез тръстикови коренища. Те са способни при изменение на водното ниво да извършват вертикални движения, при което се образува воден слой под тях, който е отлична среда за някои видове риби.

Първоначално тръстиковите острови са неподвижни. При покачване на нивото на водата те се отделят от брега или дъното на водния басейн и се превръщат в плаващи острови с различни размери и форма, които под влияние на водните и въздушните течения се движат по повърхността на водоема [1].

Хидрографските характеристики на водосборната област и морфометричните характеристики на езеро Сребърна участват пряко във формирането на неговия воден режим. С тях са свързани процесите на формиране на повърхностния отток, подземния отток, а така също и положението на водното ниво в езерото[2].

Изследваната част от ПР „Сребърна“ включва акваторията на цялото езеро, което се състои от езерно огледало с площ около 1 km^2 и два основни тръстикови масива (северен и южен). Тези тръстикови масиви са съставени от два типа – така наречената „редина“ – тръстика, която израства от дъното на езерото и е прикрепена за него неподвижно и плаващи тръстикови острови с различна големина. Те може да се движат както в хоризонтална, така и във вертикална посока.

Методология

За целите на изследването са използвани спътникови изображения от спътниците Landsat 8 OLI за различните сезони (табл. 1.).

Таблица 1. Източници на данни

Езерото Сребърна		
Спътник	Година	Дата
Landsat 8	2014	28 март
Landsat 8	2014	15 юли
Landsat 8	2014	4 ноември
Landsat 8	2015	15 март

За количествена оценка на състоянието на плаващите острови е необходимо всички входни данни да бъдат преобразувани в цифров вид и геореферирани. Това означава, че подбраните изображения и картен материал трябва да бъдат привързани (геореферирани) към една и съща координатна система [5].

Геореферирането на входните данни е в UTM (universal transversal mercator- 35T), WGS 84, 35 зона.

Спектралните отражателни характеристики на растителността са динамични и зависят както от условията на попадане и отражение на излъчената от слънцето енергия, така и от състоянието на самите обекти – влажност на почвата, вегетационен период.

Информация за обектите се получава на базата на техните спектрални отражателни характеристики, характера на които има важно значение за избора на спектралния диапазон, в който се използват дистанционните методи за дадено изследване.

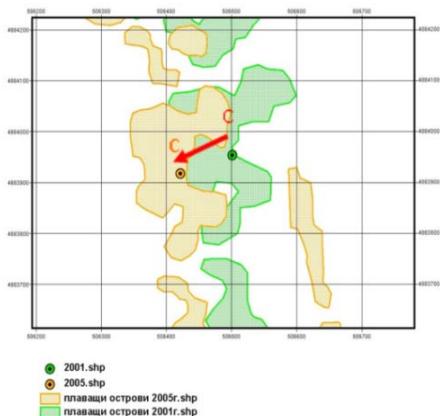
Цифровите модели на релефа са генериирани на базата на хоризонталите от топографската карта.

Генериране на съответните векторни слоеве, необходими за проследяване на динамиката на плаващите тръстикови острови

- генериране на векторни слоеве за различни времеви периоди на отделните компоненти върху растерни изображения;
- плаващи тръстикови острови;
- водно огледало на езерата;
- генериране на векторни слоеве на реки, канали и населени места;
- съвместяване на получените векторни слоеве от различните години и определяне на площта на плаващите тръстикови острови и площта на водното огледало в езерото Сребърна[1].

Определяне координатите на местоположението на плаващите тръстикови острови

Тъй като плаващите острови представляват сложни геометрични фигури, координатите на местоположението им се определят по аналогия на метода за определяне центъра на масата, като вместо масата се използва площта (Метод на определяне на координатите на центроид). Уравненията за изчисляване на координатите на центъра на плаващите острови са дадени по-долу:



$$(1) \quad C_x = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i}$$

$$(2) \quad C_y = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}$$

Фиг. 1. Местоположение на центъра на плаващ остров през две различни години в ПР „Сребърна”

Където:

x_i е разстоянието от центъра на квадрата на мрежата с площ A_i до координатната ос y ,

y_i разстоянието от центъра на квадрата на мрежата с площ A_i до координатната ос x ,

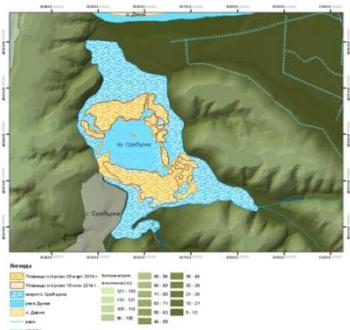
$C_i (x_i, y_i)$ са центровете на базисните клетки на мрежата с площ A_i .

Този метод на определяне на координатите дава възможност да се проследят всички възможни случаи на движение (абсолютно относително), тъй като на практика между тези два вида движение не съществува рязка граница, използваният метод е оптимален, тъй като дава количествена оценка за реалната динамика[1].

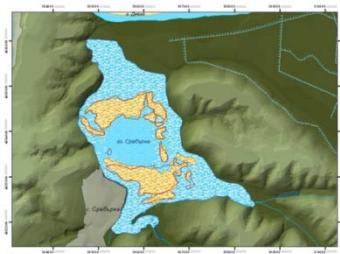
Динамиката на плаващите тръстикови острови може да се изрази в промяна на тяхната площ, вследствие изменение нивото на водата, в резултат островът може да стане по-малък или по-голям. Също така, самият остров с течение на времето може да се разкъса и от него да се отдели част, която ще стане нов плаващ остров с определена площ и форма. Има и вероятност самият плаващ остров да се слее с друг, при което площта му се увеличава и формата му се променя.

Резултати

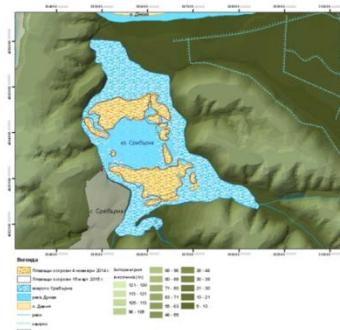
Сравнителни цифрови модели на разположението на плаващите тръстикови острови през сезоните



Фиг. 2. Цифров модел на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна, от 28 март 2014г., сравнен с 15 юли 2014



Фиг. 3. Цифров модел на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна, от 15 март 2014г., сравнен с 4 ноември 2014



Фиг. 4. Цифров модел на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна, от 4 ноември 2014г., сравнен с 15 март 2015

Площ на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна

тръстикови острови и централното водно огледало на езерото Сребърна



Фиг. 5. Площи на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна през сезоните в ha



Фиг. 6. Площи на централното водно огледало на езерото Сребърна през сезоните в ha

Динамиката на плаващите тръстикови острови

За да се проследи динамиката на плаващите тръстикови острови през изследвания времевия период, за всеки отделен остров се изчислява неговата площ, след което се прави сравнение на площите през отделните години. Определя се и техния коефициент на относителната им площ като местообитания, спрямо централното водно огледало на езерото (KM)[1].

За да се наблюдава движението на плаващите острови в езерото Сребърна, са избрани няколко острова, които имат сравнително постоянна форма и са ясно различими през отделните години. Тяхното разположение е избрано така, че да обграждат централното водно огледало на езерото. В случая са избрани пет от островите, които са класифицирани в отделни класове, обозначени като: K1, K2, K3, K4 и K5.



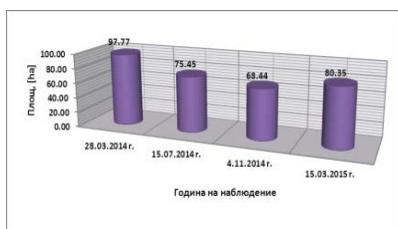
Фиг. 7. Схема на разположението на плаващите тръстикови острови

Площи на отделните плаващи тръстикови острови

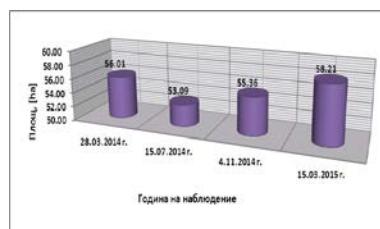
Таблица 2. Площ на плаващи тръстиковите тръстикови острови и коефициентът на относителната площ на местообитанията спрямо централното водно огледало

Година	К1		К2		К3		К4		К5	
	Площ, [га]	КМ %	Площ, [га]	КМ %	Площ, [га]	КМ %	Площ, [га]	КМ %	Площ, [га]	КМ %
28 март 2014	97.77	119	122.04	56.01	122.04	8.04	122.04	5.07	122.04	5.39
15 юли 2014 г.	75.45	95	126.17	53.09	126.17	6.60	126.17	4.18	126.17	4.83
4 ноември 2014 г.	68.44	88	128.52	55.36	128.52	6.63	128.52	3.67	128.52	4.56
15 март 2015 г.	80.35	104	129.63	58.21	129.63	9.74	129.63	7.79	129.63	5.87

Изменение на площите на плаващи тръстикови острови



Фиг. 8. Изменение на площта на плаващ тръстиков остров K1



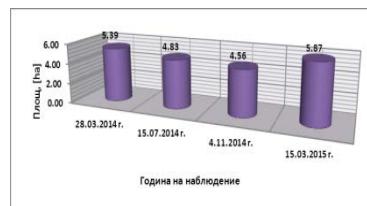
Фиг. 9. Изменение на площта на плаващ тръстиков остров K2



Фиг. 10. Изменение на площта на плаващ тръстиков остров K3



Фиг. 11. Изменение на площта на плаващ тръстиков остров K4

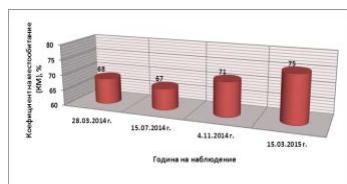


Фиг. 12. Изменение на площта на плаващ тръстиков остров K5

Коефициенти на относителната площ на местообитанията (KM)



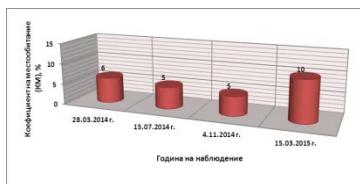
Фиг. 13. KM на плаващ тръстиков остров K1



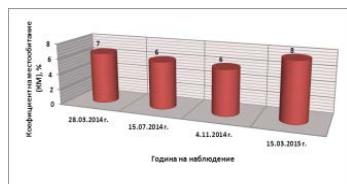
Фиг. 14. KM на плаващ тръстиков остров K2



Фиг. 15. KM на плаващ тръстиков остров K3

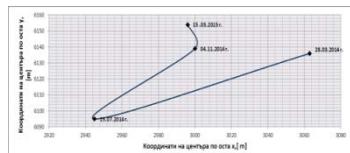


Фиг. 16. KM на плаващ тръстиков остров K4

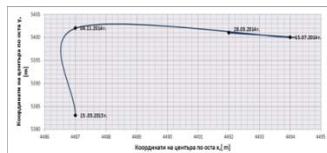


Фиг. 17. KM на плаващ тръстиков остров K5

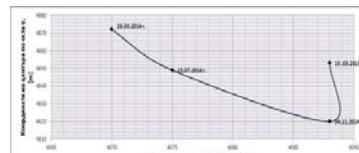
Движение на плаващите тръстикови острови



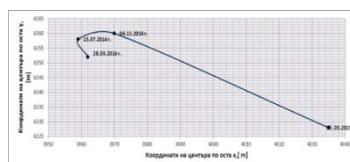
Фиг. 18. Движение на плаващ тръстиков остров K1



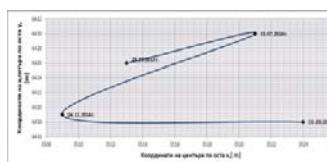
Фиг. 19. Движение на плаващ тръстиков остров K2



Фиг. 20. Движение на плаващ тръстиков остров K3



Фиг. 21. Движение на плаващ тръстиков остров K4



Фиг. 22. Движение на плаващ тръстиков остров K5

Заключение

От получените резултати се вижда че плаващите тръстикови острови извършват определени движение дори и в рамките на един сезон. Наблюдава се ясно изразена динамика, която включва промяна във формата, площта и местоположението на островите. Най – голяма площ плаващите тръстикови острови имат през март месец от наблюданата година.

Литература:

- Иванова, И., 2014, Изследване динамика на плаващите тръстикови острови в ПР „Сребърна“ и езерото Лумина от езерния комплекс Рошу-Пую-Лумина в БР „Делтата на р. Дунав“, на базата на спътникови, наземни и GPS данни“, Дисертационен труд, Акад. Изд. «проф. Марин Дринов», БДС ISO 7144, ISBN 978-954-322-762-4, София
- Железов, Г., 2005, Пространствено моделиране и анализ на Сребърската система от влажни зони. Год. на СУ, Том 97, ГГФ, Книга 2 – география, с. 317-330.
- Hibaum, Michev T., Vasilev T., Uzunov V., 2000. Management Plan “Sreburna” biosphere reserve, CLGE-BAS, Sofia (in Bulgarian)
- Michev, T. et all, 2002. Mapping of wetlands in Bulgaria with the help of satellite images and GIS International Symposium "Spatial information technologies for its security, processing and efficient use, Sofia, Bulgaria, p. 149-160
- Nedkov, R. at al, 2001. Preparation of land cover database of Bulgaria through remote sensing and GIS, FAO of UN, Rome

МОДЕЛ ЗА КОЛИЧЕСТВЕНА ОЦЕНКА НА DISTURBANCE INDEX И ВЕКТОРА НА МОМЕНТНОТО СЪСТОЯНИЕ НА ЕКОСИСТЕМА СЛЕД ПОЖАР НА БАЗАТА НА АЕРОКОСМИЧЕСКИ ДАННИ

Наталия Станкова, Румен Недков

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

Ключови думи: дистанционни изследвания, възстановяване след пожар, Tasseled Cap трансформация, Disturbance Index, вектор на моментното състояние на екосистема, посочен ъгъл

Резюме: Целта на настоящата работа е изследване на процесите, протичащи в екосистема преди и възстановителните процеси след пожар. За постигане на целта се използва комплексен подход, за реализацията на който е разработен модел на базата на три компонента - Disturbance Index, вектор на моментното състояние на екосистемата и посочен ъгъл. Като входни данни за модела е използвана Tasseled Cap трансформация (TCT), от която са генериирани трите основни Tasseled Cap компонента. Изследваната територия се намира в югоизточна България, където през август, 2007г. избухва голям пожар. Използвани са спътникови изображения от Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ и Landsat 8 OLI.

MODEL FOR QUANTITATIVE ASSESSMENT OF DISTURBANCE INDEX AND VECTOR OF INSTANTANEOUS CONDITION OF AN ECOSYSTEM AFTER FIRE BASED ON AEROSPACE DATA

Nataliya Stankova, Roumen Nedkov

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

Keywords: remote sensing, recovery after fire, Tasseled Cap transformation, Disturbance Index, vector of instantaneous condition, direction angle

Abstract: The aim of this study is monitoring the processes in the ecosystem before and ecosystem recovery processes after fire. To achieve this goal, an integrated approach was used for implementation of which a model based on three components was developed - Disturbance Index, Vector of Instantaneous Condition and Direction Angle. As input data for the model Tasseled Cap transformation (TCT) was used and the three main Tasseled Cap components were generated. The study area is located in southeastern Bulgaria, where a significant fire took place in August, 2007. Satellite images from Landsat 5 TM, Landsat 7ETM+ and Landsat 8 OLI were used.

Въведение

Горските пожари могат да се разглеждат като един от най-големите природни заплахи за околната среда. Те са често срещан отрицателен фактор, особено в области, характеризиращи се предимно с високи средногодишни температури и горещо сухо лято. Изследваната област е изключително податлива на пожари. През последните години броят и периметърът на областите, унищожени от пожари са достигнали критични нива и нямат еквивалент в историята на горското стопанство в България [1]. Актуалността на изследването на последствията от горски пожари е обусловена от големите по мащаб и с дълготраен характер техни въздействия върху екологичната обстановка на огромни територии. За оперативно, надеждно и мащабно такова изследване дистанционните аерокосмически методи, технологии и средства са незаменими [2].

За оценка на състоянието на екосистемата преди и след пожар е използван метод на линейна спектрална трансформация в многомерно пространство с цел намаляване на корелацията между отделните му елементи като се използват три – почва, растителност и влажност. Този тип преобразуване се нарича Tasseled Cap трансформация (TCT) [3,4,5].

На базата на получените компоненти - Brightness (BR), Greenness (GR) и Wetness (W) – е получен вектор, описващ моментното състояние на екосистемата [6]. Този вектор описва състоянието и връзката между трите основни компонента на изследваната екосистема, както и показва промяната в съотношението между компонентите в случай на бедствие.

Изчислен е и ъгълът на отклонение между Greenness компонентата от TCT и вектора на моментното състояние, който се нарича посочен ъгъл [6]. Този ъгъл показва посоката на промяната на зелената компонента по отношение на вектора на състоянието, давайки възможност за оценка степента на възстановяване на Greenness компонентата за различните моменти от изследвания период.

В новото пространство се изчислява Disturbance Index (DI) [7], който е линейна комбинация от трите Tasseled Cap компонента. Разглеждани последователно DI изображенията осигуряват директен начин за открояване на пикселите, различаващи се от тези, характерни за нормалното състояние за горите.

За мониторинг на процесите, протичащи в екосистемата преди и възстановителните процеси след пожар е разработен модел за количествена оценка на Disturbance Index, вектора на моментното състояние на екосистемата и посочния ъгъл.

Обект на изследване

Изследваната територия се намира в югоизточна България, на границата между областите Хасково и Ямбол, където август 2007 год. избухва голям пожар. В резултат на изключително високите температури и сухия климат за периода от средата на юли до септември 2007 год. на територията на Балканския полуостров избухват голям брой пожари [8,9,10,11]. Местоположението и периметърът на изгорялата територия са определени с помощта на две изображения от Landsat – преди (22/08/2007) и след пожара (29/08/2007). Пожарът засяга площ от 15798 ха. Според директивата за хабитатите [12] пожарът попада на територията на няколко защитени зони – Сакар, Ждрелото на река Тунджа и Дервентски възвищения. Според директивата за птиците [13] изследваната област попада на територията на защитена зона Сакар.

Материали и методи

За целта на настоящето изследване са използвани изображения от спътниците Landsat 5 TM (Thematic Mapper), Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper plus) и Landsat 8 OLI (Operational Land Imager). Подбранныте изображенията са взети веднъж годишно по време на изследвания период (2001 – 2015 год.) – 7 години преди и 8 години след пожара. Данните са набавени от USGS [14] като се вземат предвид периода от годината с най-голяма вегетация и дните с отсъствие на облачна покривка над изследваната територия. Датите на използваните изображения са показани в Табл. 1.

Таблица 1. Използвани изображения

Дати	Сензор
20/08/2001	ETM+
06/08/2002	ETM+
18/08/2003	TM
13/08/2004	TM
16/08/2005	TM
26/08/2006	TM
22/08/2007	TM
29/08/2007	TM
24/08/2008	TM
02/08/2009	TM
08/08/2011	TM
13/08/2013	OLI
16/08/2014	OLI
18/08/2015	OLI

След подбора на изображенията, следва екстракхиране на засегнатата от пожара област и прилагане на Tasseled Cap трансформация. Tasseled Cap трансформацията представлява

вид спектрална трансформация, която преобразува оригиналните силно ковариантни данни в три некорелирани индекси - Brightness, Greenness и Wetness. Използваните трансформационни матрици са различни за различните Landsat сензори. Като входни данни за модела се използват Tasseled Cap трансформирани изображения на територията на пожара.

Първата стъпка от модела е декомпозиция на всеки един от трите основни Tasseled Cap компонента - BR, GR и W (Фиг.1). Втората стъпка е изчисляване на средните стойности и стандартните отклонения за всеки един от Tasseled Cap компонентите. Третата стъпка е пресмятане на нормираните стойности на компонентите. Тези стъпки се правят с цел нормиране на радиометричните промени. Нормирането се извършва по следните формули:

$$nBR = (BR - E\{BR\}) / St.Dev(BR)$$

$$(1) \quad nGR = (GR - E\{GR\}) / St.Dev(GR)$$

$$nW = (W - E\{W\}) / St.Dev(W)$$

където $E\{BR\}$, $E\{GR\}$ и $E\{W\}$ са съответно средните стойности на Tasseled Cap компонентите - Brightness, Greenness и Wetness. $St.Dev(BR)$, $St.Dev(GR)$ и $St.Dev(W)$ са съответните стандартни отклонения на Tasseled Cap компонентите. Следователно nBR , nGR и nW са нормираните стойности на Brightness, Greenness и Wetness.

След нормирането трите Tasseled Cap компонента са събрани линейно за изчисляване на DI:

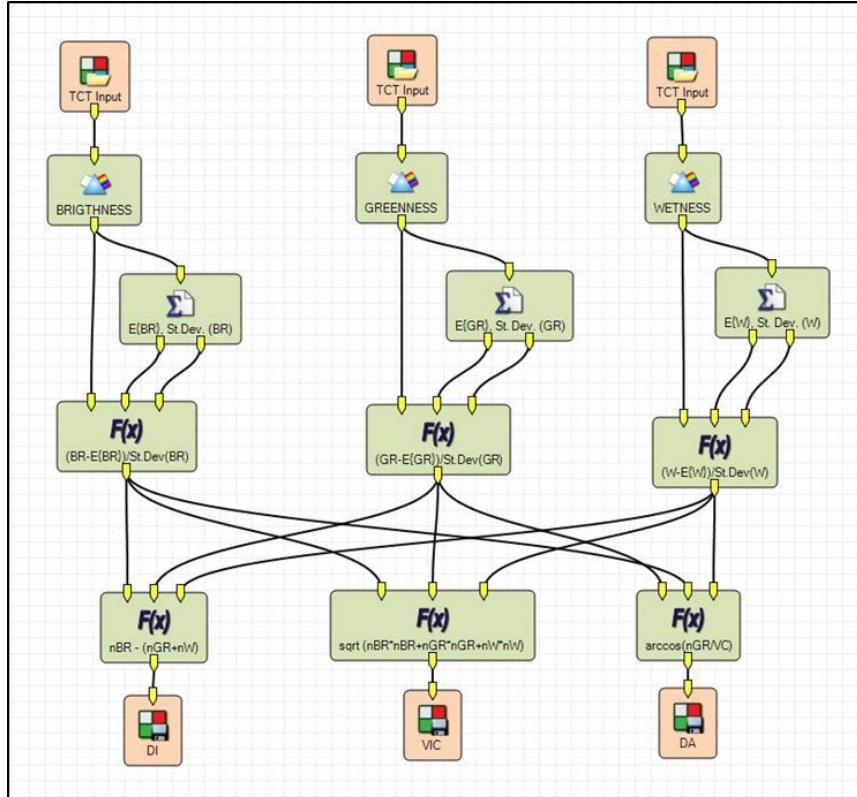
$$(2) \quad DI = nBR - (nGR + nW)$$

Следващата стъпка е изчисляване на вектора на моментното състояние на екосистемата (VIC) на базата на нормираните стойности на Tasseled Cap компонентите:

$$(3) \quad VIC = \sqrt{nBR * nBR + nGR * nGR + nW * nW}$$

Последната стъпка е изчисляване на посочния ъгъл (DA) – ъгъла на отклонение между зелената компонента от TCT и вектора на моментното състояние:

$$(4) \quad DA = \arccos(nGR / VIC)$$



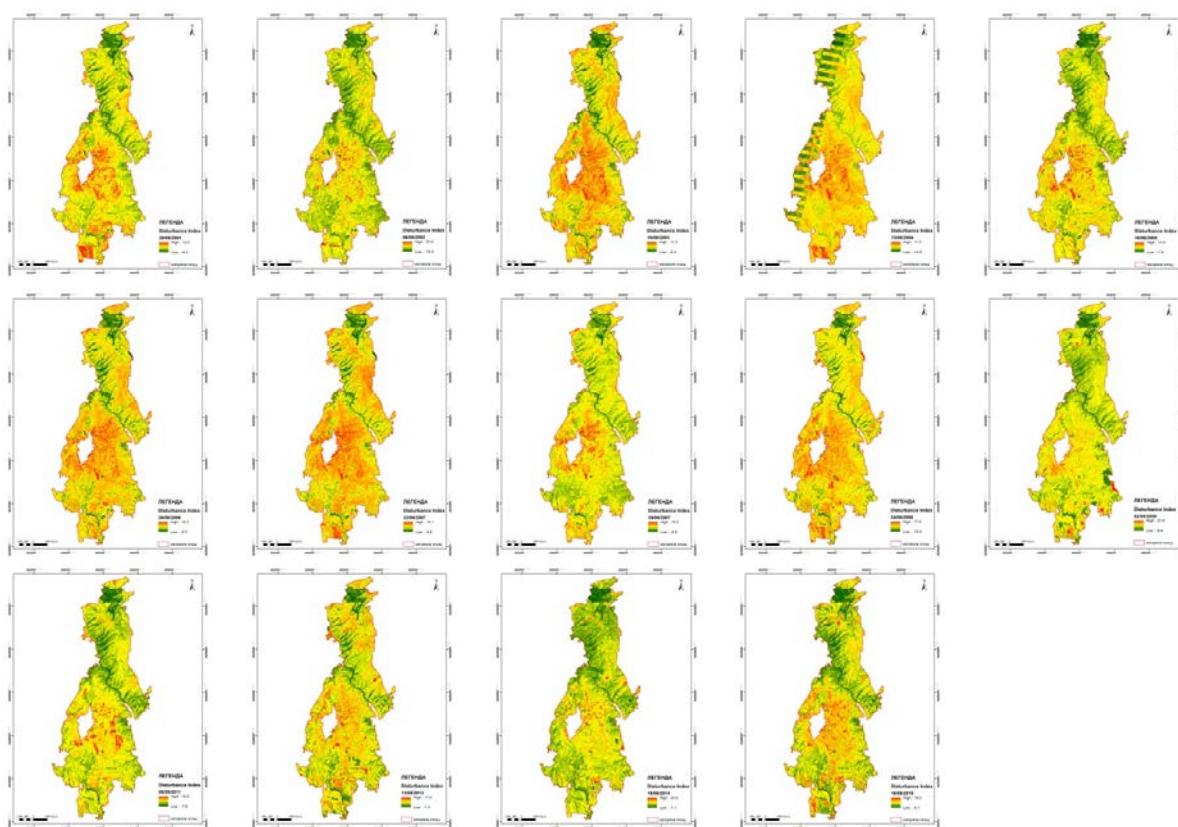
Фиг. 1. Модел за изчисляване на DI, вектора на моментното състояние и посочния ъгъл

Резултати

Disturbance Index (DI)

Изчисляването на DI се базира на наблюдението, че засегнатите от пожара горски насаждения обикновено се характеризират с по-високи стойности на Brightness компонентата и по-ниски стойности на Greenness и Wetness компонентите в сравнение незасегнатите горски участъци [7]. Следователно, засегнатите от пожара участъци имат високи положителни стойности на nBR и ниски отрицателни стойности на nGR и nW. Те показват високи стойности на DI. Обратно, незасегнатите участъци следва да представлят ниски стойности на DI [15].

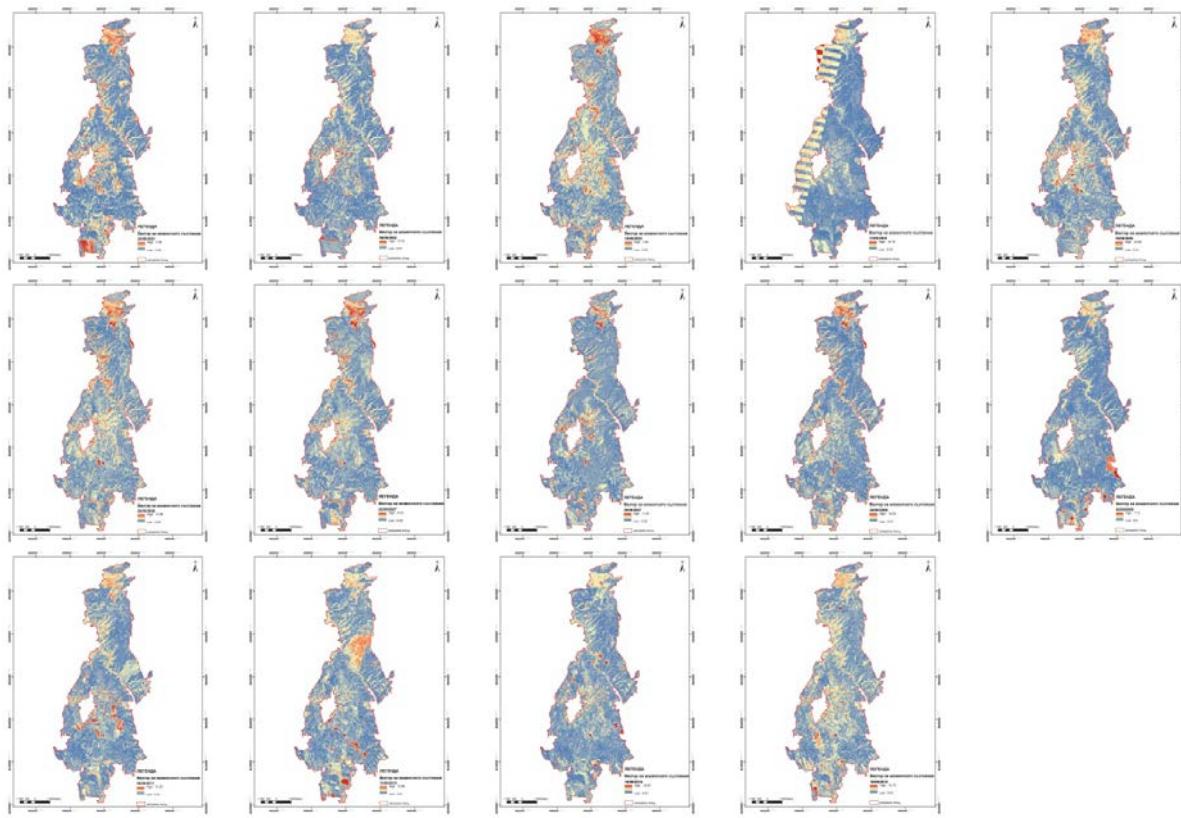
Фиг. 2 показва стойностите на DI, получени чрез прилагането на разработения модел на територията на пожара за всяка година от изследвания период – 7 години преди и 8 години след пожара. При сравняване на стойностите на DI от изображението непосредствено преди пожара и това след пожара установяваме, че не се наблюдава значително изменение в стойностите на този индекс, т.е. пожара не е отказал отрицателен биологичен ефект върху горската екосистема. Не е установена тенденция на изменение на стойностите на този индекс за периода преди пожара, както и за този след него.



Фиг. 2. Disturbance Index на територията на пожара за изследвания период – 2001-2015 г.

Вектор на моментното състояние на екосистемата

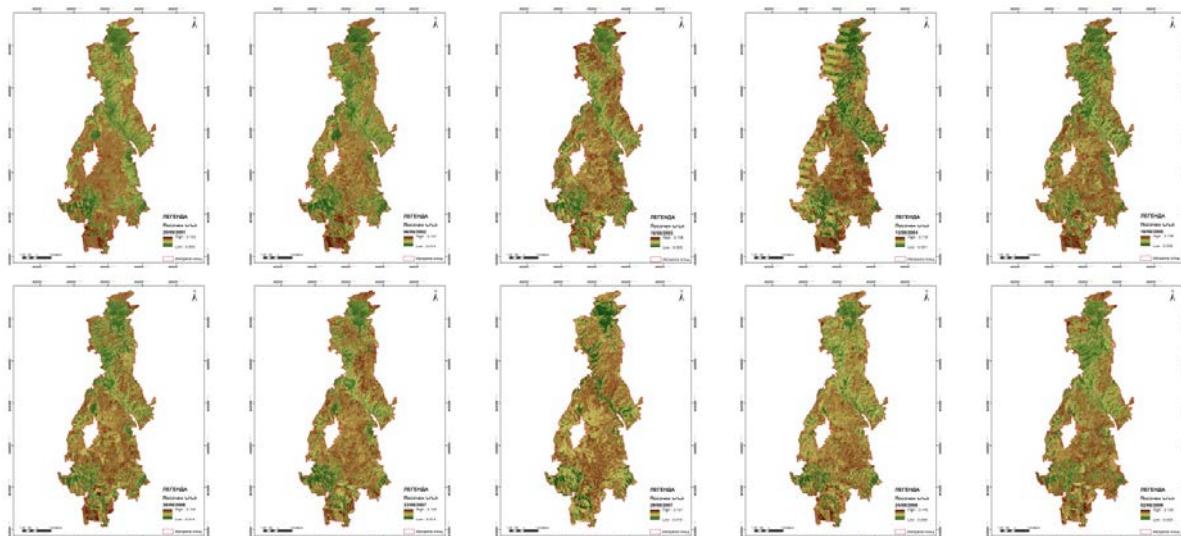
Фиг. 3 показва стойностите на вектора на моментното състояние на екосистемата на територията на пожара за всички години от изследвания период – 2001 – 2015г.

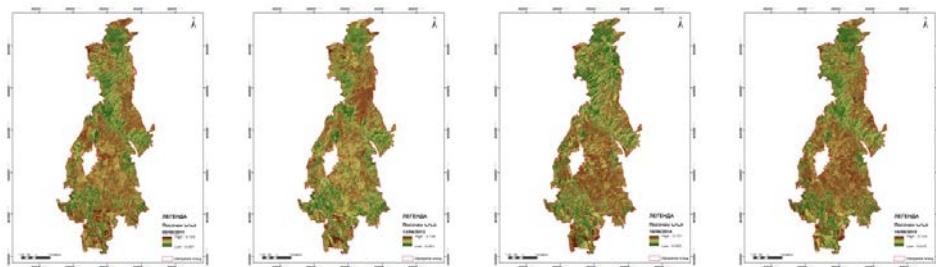


Фиг. 3. Вектор на моментното състояние на екосистемата на територията на пожара за изследвания период – 2001-2015 г.

Посочен ъгъл

Фиг. 4 показва ъгъла на отклонение между Greenness компонентата от TCT и вектора на моментното състояние за изследвания период – 2001 – 2015г. Като цяло посочния ъгъл следва тенденциите на изменение на вектора на моментното състояние, но представя по-ясно промените на зелената компонента за изследвания период.





Фиг. 4. Посочния ъгъл на територията на пожара за изследвания период – 2001-2015 г.

Заключение

Получените резултати дават възможност за обективна оценка на състоянието на екосистемата преди и след пожар. Чрез използването на предложния модел на базата на трите основни Tasseled Cap компонента е направена количествена оценка на Disturbance Index, вектора на моментното състояние на екосистемата и посочния ъгъл между Greenness компонентата от TCT и вектора на моментното състояние. Резултатите за вектора на състоянието и посочния ъгъл показват, че те са подходящи за мониторинг на състоянието на екосистемата преди и след природно бедствие. Като недостатък може да се отбележи, че те показват моментното състояние на екосистемата. Като индикатори за степента на възстановяване на екосистемата те дават обективна оценка не само за степента на възстановяване, но също и за наличието на невъзстановими участъци. Предложният модел може да използва данни и от други спътници, което предоставя възможност за по-детайлна оценка на възстановителните процеси.

Литература:

1. Dimitrova, M., I. Ivanova, M. Zaharinova, R. Nedkov (2011) - Application of aerospace methods of monitoring of forest fires and evaluation of burned area in Haskovo region in the summer of 2011, Seventh Scientific Conference with International Participation - Space, Ecology, Safety, 87-98.
2. Мардиrosян, Г. – Природни бедствия и екологични катастрофи, „Проф. Марин Дринов“, София, 2009, ISBN 978-954-322-350-3
3. Crist, E.P., R.C. Cicone (1984) - A physically-based transformation of Thematic Mapper data-the TM Tasseled Cap. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 22: 256-263. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.1984.350619>.
4. Kauth, R.J., G.S. Thomas (1976) - The Tasseled Cap – a graphic description of the spectral – temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. Proceedings second ann. symp. machine processing of remotely sensed data. West Lafayette' Purdue University Lab. App. Remote Sensing.
5. Avetisyan, D., R. Nedkov (2015) - Determining the magnitude and direction of land cover changes in the semi-natural areas of Haskovo Region, Southeast Bulgaria. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International, p. 4637 – 4640, doi 10.1109/IGARSS.2015.7326862
6. Stankova, N., R. Nedkov (2015) - Research model of monitoring the recovery of an ecosystem after fire based on satellite and GPS data, Ecological Engineering and Environment Protection (под печат)
7. Healey, S.P., W.B. Cohen, Z.Q. Yang, O.N. Kruskina (2005) - Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection. Remote Sensing of Environment, 97: 301-310. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2005.05.009>.
8. Nedkov, R., M. Dimitrova, M. Zaharinova, I. Ivanova (2008) - Web-based monitoring of the fires in the Balkans using satellite data during July and August 2007. Ecological engineering and environmental protection, No1: 13-19.
9. Stankova, N., R. Nedkov (2015) - Investigation of forest vegetation dynamics before and after a fire by using aerospace data, Ecological Engineering and Environment Protection 1/2015, p. 40-46, ISSN 1311 – 8668
10. Stankova, N., R. Nedkov (2015) - Monitoring the dynamics and post-fire recovery processes of different vegetation communities using MODIS satellite images, Journal of Environment Protection and Sustainable Development Vol. 1, No. 3, 2015, pp. 182-192
11. Stankova, N., R. Nedkov (2015) - Monitoring forest regrowth with different burn severity using aerial and Landsat data, Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International, p. 2166 – 2169, doi 10.1109/IGARSS.2015.7326233
12. Директива 92/43/EИО
13. Директива 2009/147/EO
14. <http://earthexplorer.usgs.gov/>
15. Chen, W., K. Moriya, T. Sakai, L. Koyama, C. Cao (2014) - Monitoring of post-fire forest recovery under different restoration modes based on time series Landsat data. European Journal of Remote Sensing, 47: 153-168. doi: <http://dx.doi.org/10.5721/EuJRS20144710>.

DYE REMOVAL FROM WATER SOLUTION BY MEANS OF ZEOLITIZED WASTE ASHES AND SLAG FROM FOUR BULGARIAN THERMO-POWER-PLANTS

Valeria Stoyanova¹, Radost Pascova¹, Annie Shoumkova¹, Adelina Miteva²,
Temenoujka Kupenova³

¹Institute of Physical Chemistry "Rostislav Kaischew" – Bulgarian Academy of Sciences

²Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

³Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy – Bulgarian Academy of Sciences

e-mail: valeria @ipc.bas.bg; ad.miteva@gmail.com; kupenova @inrne.bas.bg

Keywords: TPP, fly ash, slag, zeolitic composite, absorbance, dye removal, effluents

Abstract: A simple and cost effective method was applied for the synthesis of composite products containing zeolite type FAU from waste materials (fly ashes and/or slag) of several Bulgarian coal burning TPP. The method consists in a prolonged alkaline treatment at room temperature of the respective wastes. The zeolitic composites thus obtained as well as the starting wastes were tested as absorbents of a textile dye (malachite green) from water solutions. It was demonstrated that in comparison with the starting wastes, the zeolitized products possess better absorption properties: they almost completely extracted the dye for much shorter times. This reveals possibilities for their prospective application for purifying polluted waters, e.g. from the textile industry.

ОТСТРАНЯВАНЕ НА БОЯ-ОЦВЕТИТЕЛ ОТ ВОДЕН РАЗТВОР С ПОМОЩТА НА ЗЕОЛИТИЗИРАНИ ОТПАДНИ ПЕПЕЛИ И ШЛАКА ОТ ЧЕТИРИ БЪЛГАРСКИ ТОПЛОЦЕНТРАЛИ

Валерия Стоянова¹, Радост Паскова¹, Ани Шумкова¹, Аделина Митева², Теменужка Купенова³

¹Институт по физикохимия "Акад. Ростислав Каишев" – Българска академия на науките

²Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

³Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика – Българска академия на науките

e-mail: valeria @ipc.bas.bg; ad.miteva@gmail.com; kupenova @inrne.bas.bg

Ключови думи: ТЕЦ, пепел, шлака, зеолитен композит, абсорбция, извличане на оцветител, отпадни води

Резюме: Приложен е прост и икономически изгоден метод за синтез на композитни продукти, съдържащи зеолит тип FAU от отпадъци (пепели и шлаки) от няколко български ТЕЦ. Методът се основава на продължително третиране при стайна температура в алкални разтвори на съответните отпадъци. Получените зеолитни композити, както и изходните материали, са изследвани като абсорбенти на една текстилна боя (малахитово зелено) от водни разтвори. Установено е, че зеолитизираните продукти извличат боята почти напълно и за много по-кратки времена, отколкото изходните пепели и шлаки, което разкрива възможности за бъдещото им използване за пречистване на отпадни води, напр. от текстилната промишленост.

Introduction

Coal is an important raw material in the thermal power plants (TPP) either in Bulgaria or in the world. Global coal burning by-products, like fly ashes (FA) and slag (SL), are over 500 million tones per year [1]. Although the disposal and storage of such wastes is a large problem for the power generation industry, their degree of recycling is lower than 15-20% [2, 3]. At the same time, they have turned out to be useful secondary raw materials which could find many application fields [4 - 7]. What

concerns the annual producing of coal combustion waste products, it overcomes 34 million tones per year for the European Union, and it is over 6 million tones from the Bulgarian TPP [2, 5].

For the last decade, there has been an increased interest in the field of synthesis and application of the zeolites, and especially in recycling of FA and SL into zeolitic composites, using possibly simpler, faster and cheaper conversion methods [8 - 14]. The products of FA zeolitic conversion have found or can find many applications, e.g. for different ion exchange treatments, as molecular sieves, and adsorbents. Due to the specific zeolite structure, such composites are used in a wide range of environmental engineering processes, such as removal of heavy metals, ammonium ions or oil-derivative contaminants from polluted waters [1, 3, 15, 16].

As well known, effluents from different industries (textile, leather, paper, ceramic, food, paints and printing inks, hair coloring, etc.) are usually polluted by dyes. In many cases these dyes are dangerous, irritant and toxic for living organisms, and have to be removed in order to prevent environmental pollution. A recent study has been devoted on the absorption behavior of FA and zeolite-fly ash (ZFA) composites [17]. It has been established in all such investigations that not only FA but also zeolite-ash (ZFA) composites are especially suitable for the absorption of dyes from wastewater [7, 16 - 20].

Aim of the present study is to compare the possibilities for extraction of malachite green by several raw and zeolitized coal by-products (FA and/or SL) from Bulgarian TPP.

Materials, methods and experimental procedure

Samples of FA and/or SL were collected from several Bulgarian coal burning TPP, namely TPP "Varna" ("V"), "Republika" ("R"), "Rousse East" ("RE"), and "Svistov" ("S"). The "V" and "R" wastes consisted of FA, the "S" waste was milled SL, while the "RE" waste was a mixture of FA and SL. Detailed information about their content is available in our previous studies [5, 10, 11, 21].

Experiments for the synthesis of zeolitic composites were carried out, according to an idea of Derkowskij et al. for chemical activation of FA at room temperature [13, 14], applied also in [2]. For this purpose samples of FA and/or SL from the mentioned TPPs were treated by 5M solution of NaOH for a period of one year. The products thus obtained were filtered, washed to neutral pH, dried and analyzed. Methods, such as Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy-Dispersive X-ray (EDX) analysis and X-Ray Diffraction (XRD), were used for characterization of the raw materials, as well as of the final products with respect to their morphology, elemental and mineral composition.

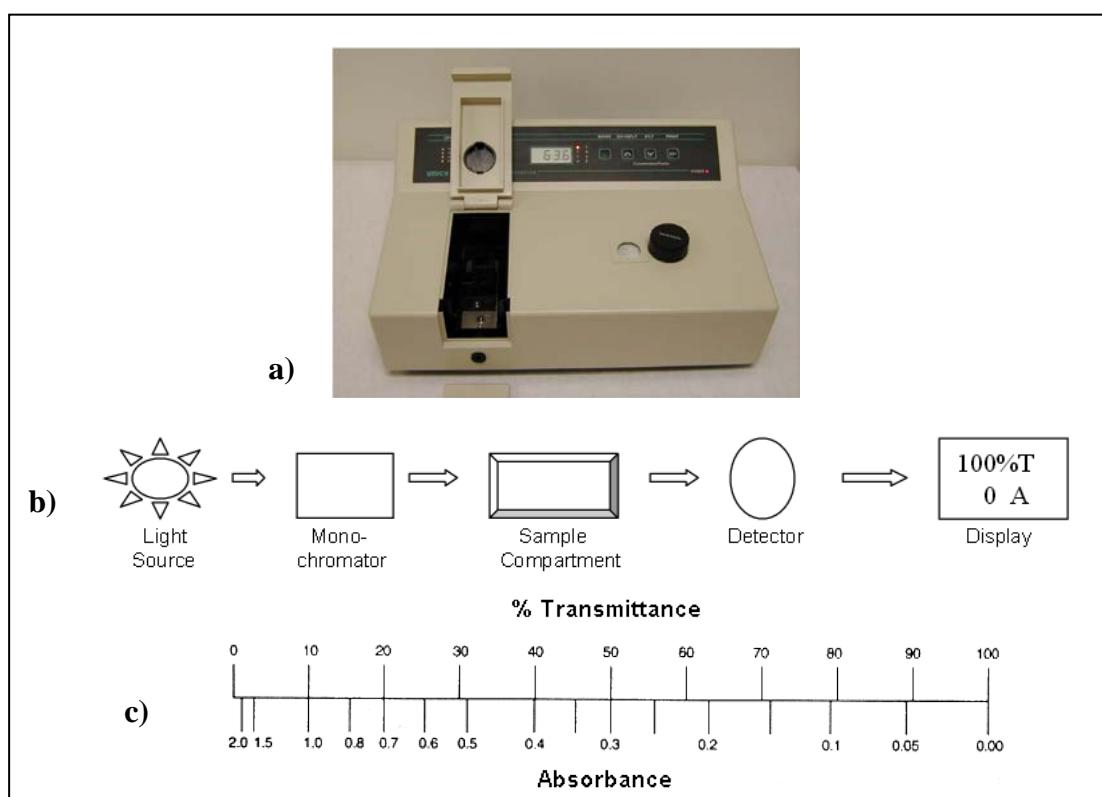


Fig. 1. Model 1200 Spectrophotometer (a), its block diagram (b), and scale of relation between absorbance and transmittance, according to eq.1

The dye used here - malachite green (MG), is an organic compound ($C_{23}H_{25}ClN_2$) that often appears as a pollutant in effluent waters, used for coloring of silk, leather, paper, etc. The initial concentration of MG in water solutions was 10 mg l^{-1} . The degree of its removal was determined by monitoring the absorbance changes at a wavelength of maximum of MG absorbance (617nm). All measurements of transmittance were carried out by using an UV spectrophotometer (1200 Series, Cole Parmer Instruments Company), Fig.1a, b. Full transmittance (100%T) was obtained using a test tube with a blank reference solution (distilled water). The relation between transmittance (%T) and absorbance (A) is visualized in Fig.1c, according to Eq.1:

$$(1) \quad A = 2 - \log(\%T)$$

This method of measurement needs a linear dependence between the absorbance (A) and the dye concentration (C) for construction of a calibration curve. The linearity was tested in the concentration interval of C from 10^{-3} to 10 mg l^{-1} . A calibration curve was drawn by measuring the transmittance of a set of samples with previously known dye concentration C (Fig.2a), and recalculating the respective absorbance (Fig.2b).

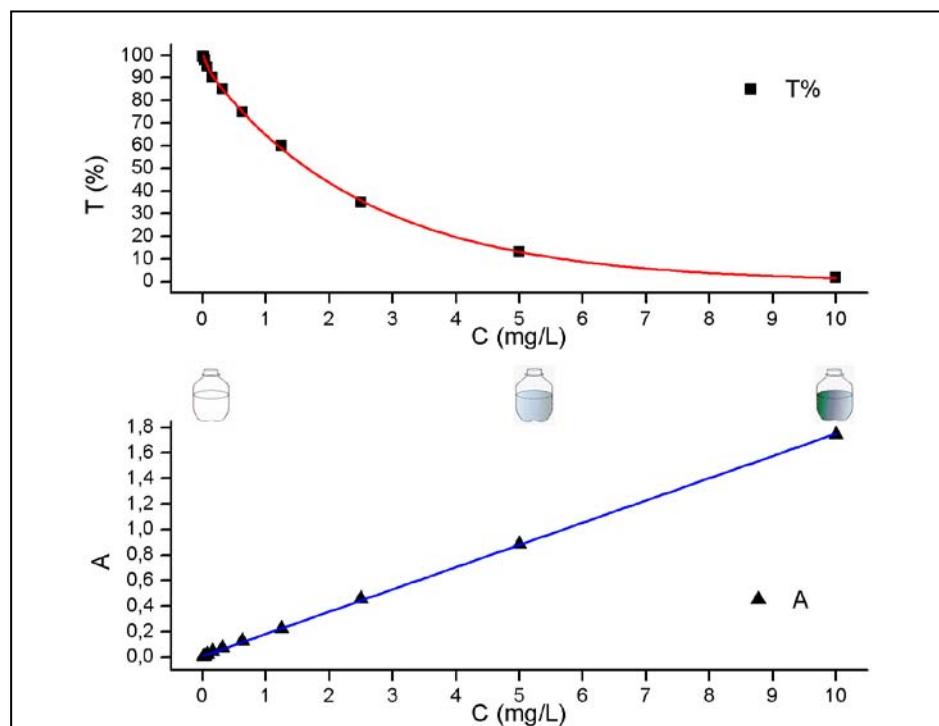


Fig. 2. Calibration curve, obtained using a set of samples with previously known concentration C

Results

The used starting materials (FA/SL) are very different with respect to their composition, size and shape of the particles [10, 11]. They contain significant amount of crystalline and amorphous aluminosilicates that could be utilized for zeolite production. Generally, the applied method of zeolitization is based on the alkali activated dissolution of aluminium and silicon containing phases in the FA/SL, and precipitation of zeolites from the respective gels. The main aluminium and/or silicon containing crystalline phases are found to be quartz (in "V" and "R" samples), that is the most difficult to be dissolved at room temperature, and mullite (in "V", "R" and "RE" samples). The most soluble and most reactive are those of the waste products which have a high content of amorphous aluminosilicates like the slag and to some extend the wastes which are mixtures from SL and FA ("RE").

Among the FA wastes, sample "V" has the smallest average particle size, and "RE" – the biggest one. More than half of all particles in each FA sample are of submicron size which enhances the dissolution of aluminium and silicon oxides needed for the zeolite synthesis. The specific surface of "R" sample is up to 2-3 times larger in comparison with the other waste samples. Accounting for the above mentioned differences, we can suppose that the waste products investigated should also possess different solubility in alkaline solutions.

The raw materials used are fine powder-like materials of complex composition. The particle morphology of these wastes is quite different as visible in Fig. 3.

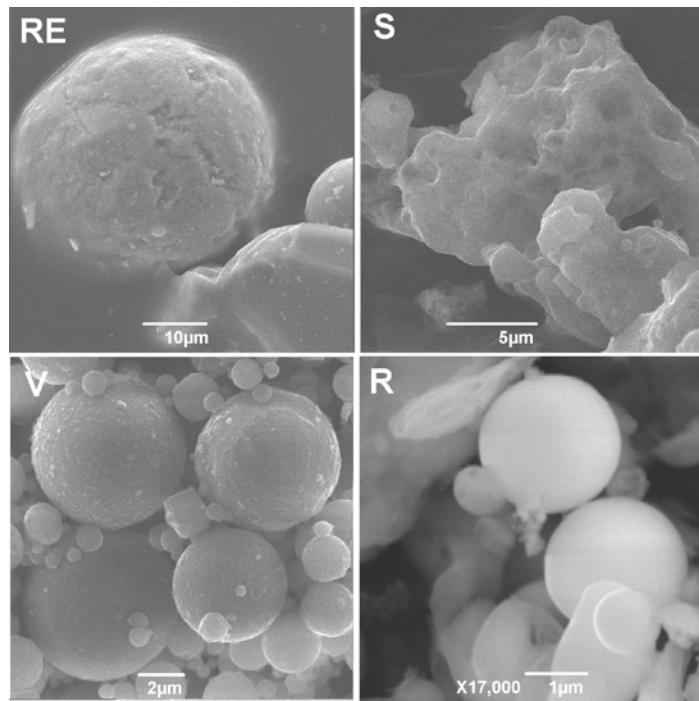


Fig. 3. SEM images of individual particles from four FA ("V", "R"), SL ("S") and FA+SL ("RE"). The white marker bar shows the sizes in micrometers

Using electron-microscopy we investigated also the morphology of the zeolite crystals grown on the surface of the FA and SL particles after one year of alkaline treatment at room temperature (Fig. 4). As seen, the zeolite crystals possess well developed octahedral shapes.

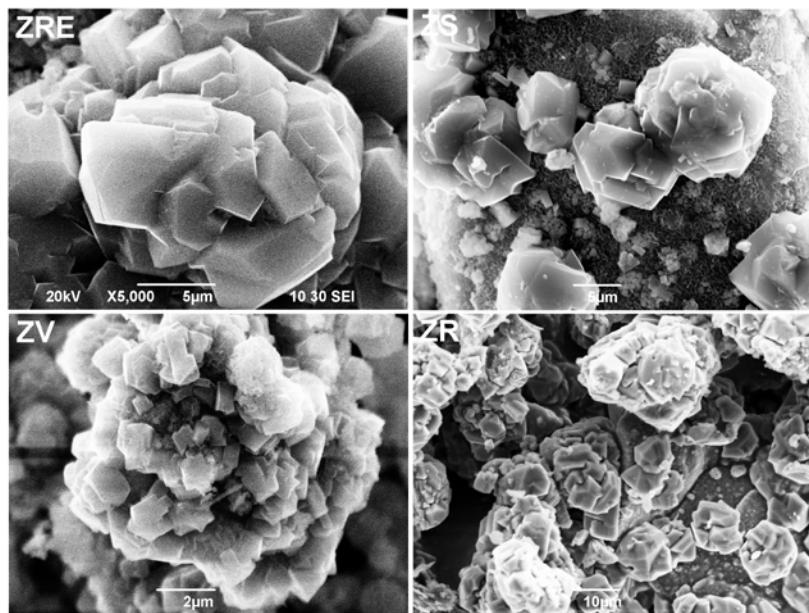


Fig. 4. Zeolite microcrystals grown on alkali activated particles of FA ("ZV", "ZR"), SL ("ZS") and FA+SL ("ZRE"). The white marker bar shows the sizes in micrometers

Our study showed that the most appropriate for the synthesis of zeolitic composites were the "RE" and "S" and to a certain extent the "R" wastes. The zeolite crystals formed after zeolitization of the first two wastes were characterized with almost perfectly grown faces and relatively big sizes as well as with a high degree of zeolitic conversion. For "RE" and "S" samples, both containing SL, this fact could be related to the better solubility in alkaline solutions due to the higher content of

amorphous phases in them. In contrast, smaller and not so well faceted zeolite crystals ("ZV") were observed in respect to other FA sample (the "V" sample).

XRD investigations were used to determine the type of crystals, formed on the surface of initial FA or SL particles after alkaline activation. It was established that independently of the differences in the initial characteristics of FA and SL used, all newly grown crystals were of the group of faujasite (FAU), most probably zeolite X (see the Fig.5). Such type zeolite X was obtained at similar conditions of alkali activation of FA from another Bulgarian TPP [2]. As seen in Fig.5, the spectra of all zeolitized materials show a good enough coincidence in the peak positions with those of zeolite X. Moreover, since the diffractograms were recorded under the same conditions some conclusions could be made about the relative content of the zeolite X in the respective composites.

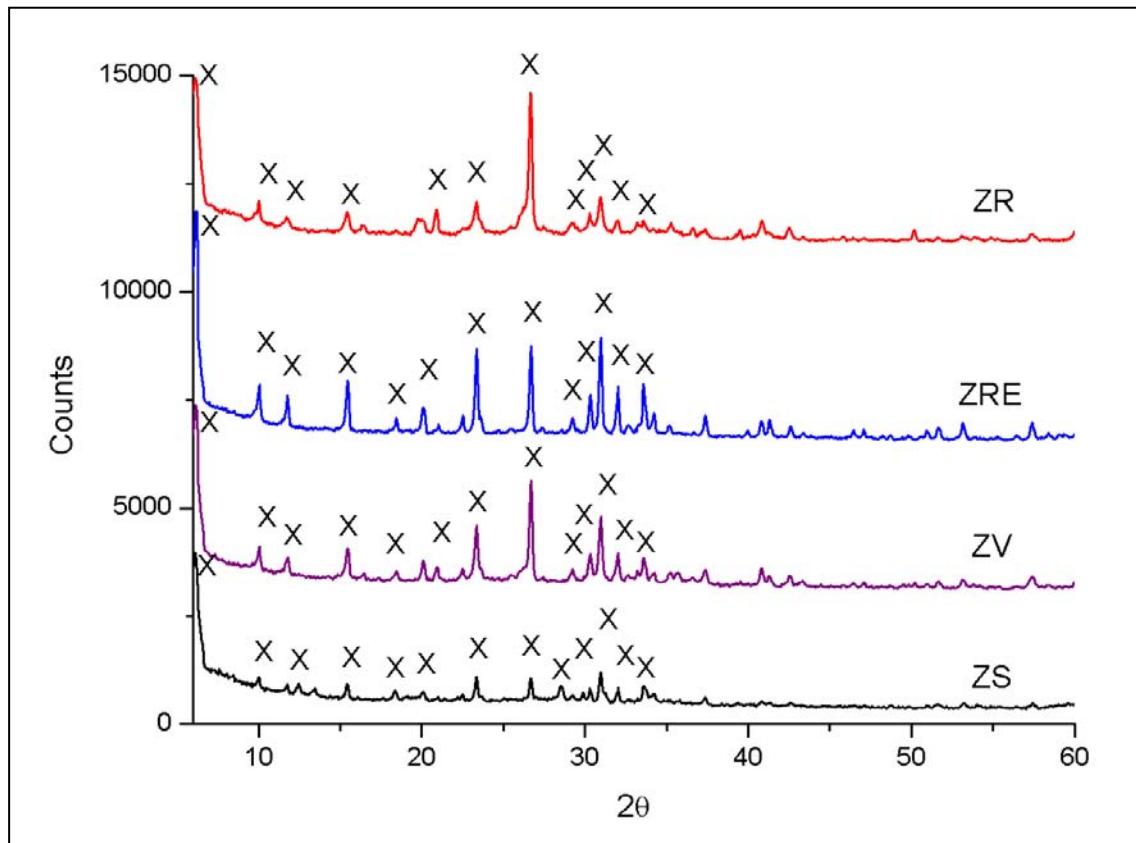


Fig. 5. X-ray diffraction (XRD) spectra of zeolitized FA/SL materials from TPP "V", "R", "RE" and "S" wastes evidencing the presence of zeolite FAU

As expected, due to the different mineral, chemical and morphological characteristics of the initial waste materials from TPP, the latter should exhibit different absorbance properties.

The absorption properties were investigated with respect to the initial "V", "R", "RE" and "S" wastes and to the zeolitized composites synthesized ("ZV", "ZR", "ZRE" and "ZS"). For this purpose, water solutions of the MG dye were used. All experiment lasted up to 48 hours. Fig.6 shows the transmittance (in %) of the water solutions of MG as a function of the time (in min) of absorption of the wastes and of the zeolitic composites investigated. The transmittance data were recalculated in terms of time dependent concentration C (mg l^{-1}) and were presented in Fig.7 for several times only, namely for 10 minutes, 1, 5 and 48 hours.

Among the initial untreated raw materials, the best results with respect to the kinetics and the degree of the MG removal was established for the FA sample "R": The concentration of the MG solution was felt down to 0.9 mg l^{-1} after 48 h. The most unfavorable result was obtained for the SL sample "S" which reduced the MG concentration 3 times, only, i.e. down to 2.8 mg l^{-1} after 48 hours.

The studies shown in Figs.6 and 7 clearly demonstrate that the rate of MG removal by the raw FA/SL or their zeolitic composites is initially very high, but thereafter significantly decreases. This result could be explained by the fact that in the beginning all absorbent sites are vacant, and the solute concentration gradient is high, but afterwards they both decrease.

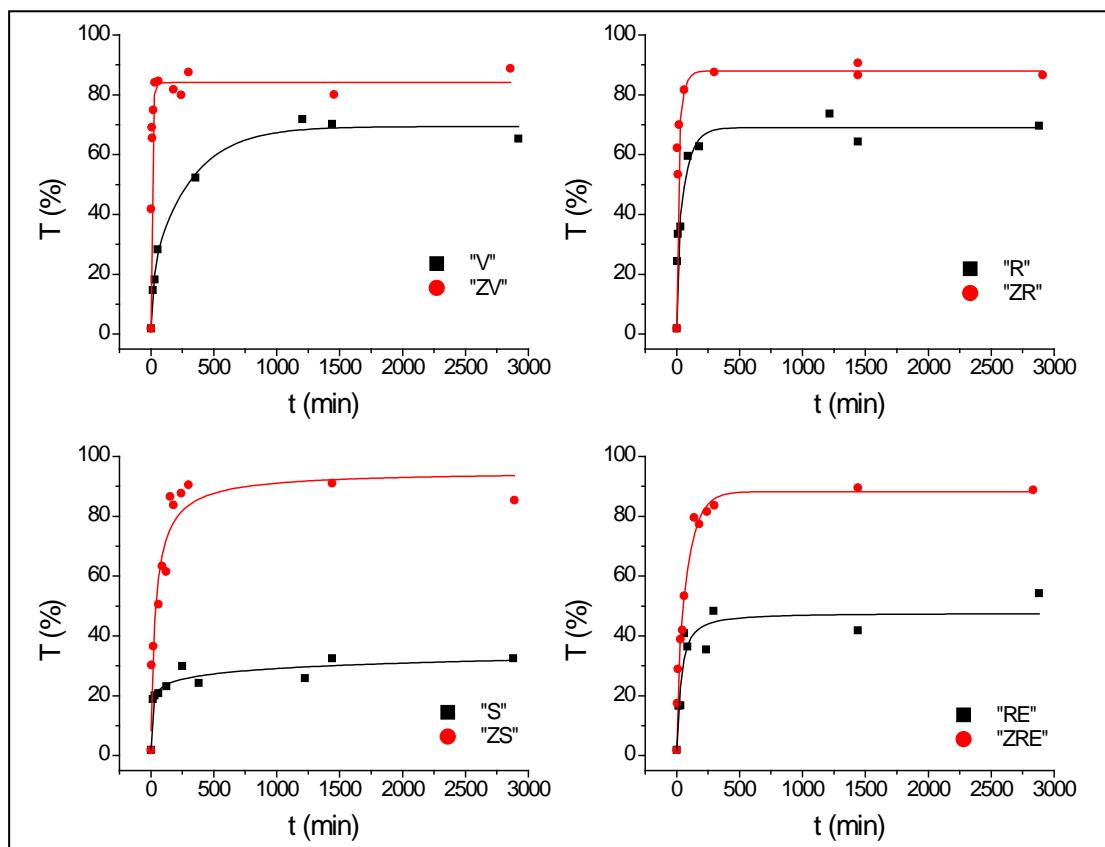


Fig. 6. Absorption kinetics of the initial wastes (black squares) and of the respective zeolitic composites (red circles) in water solutions of malachite green. Here, T (in %) and t (in minutes) are the transmittance of the solutions and time of the contact, respectively.

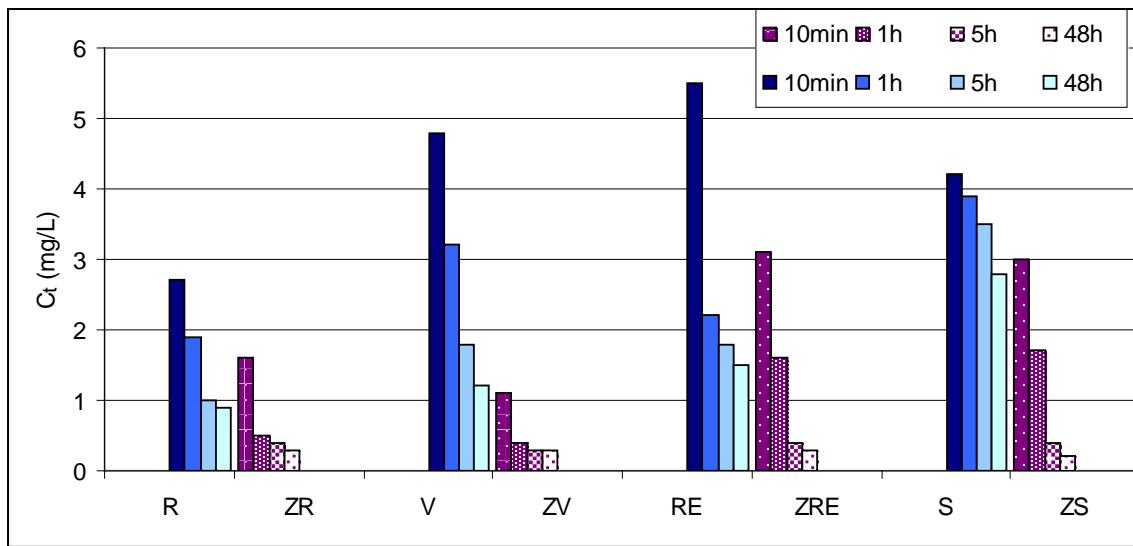


Fig. 7. The dye concentration C_t (mg L^{-1}) in water suspensions after time intervals t (from 10 min to 2 days) in contact with the raw materials ("R", "V", "RE", "S") - blue colored bars) or with the respective zeolitized products ("ZR", "ZV", "ZRE", "ZS") - purple colored bars)

The most probable reason for the similar absorption characteristics of all studied zeolitic composites is the presence of one and the same zeolite X (type FAU) grown on the surface of FA/SL particles, only. The dye concentration decreased with about 50% after the first 5-10 minutes of contact with the zeolitic composite, and 5 hours later it fell down to 95-98% for all samples studied. On the

bases of the results of the present study and of many other reviewed publications, it could be concluded that due to their unique properties, zeolites have a great potential as effective sorbent materials for a large number of water treatment applications, such as removal of different organic compounds and dyes.

Conclusion

A simple method was applied for the synthesis of zeolitized composites by using waste materials (fly ashes and/or slag) of several Bulgarian coal burning TPP, substantially different in their mineral, chemical and morphological characteristics. The method used is based on a low temperature alkaline treatment of the wastes. It turns out that independently from the wastes used the zeolitic composites synthesized contain one and the same zeolite, type FAU. The presence of this zeolite X is considered to be the main reason for the high and nearly equal absorption ability of the composite materials as demonstrated employing aqueous solutions of malachite green. These results convincingly evidences that the zeolitic composites synthesized by reprocessing of fly aches and slag from thermal power plants, are not only extremely suitable for almost fully purifying of waters from some dyes, but also have a huge potential as a cost-effective and environmental-friendly solution that can improve the efficiency of waste water treatment.

References:

1. Ahmaruzzaman, M., A review on the utilization of fly ash, *Progress in Energy and Combustion Science* 36 (2010) 327–363
2. Zgureva, D., S. Boycheva, Utilization of fly ash byproducts from the coal combustion in environmental protection systems, in *Resources of Danube region: the possibility of cooperation and utilization*, 391-402
3. Kikuchi, R., Application of coal ash to environmental improvement. Transformation into zeolite, potassium fertilizer, and FGD absorbent, *Resources, Conservation and Recycling* 27 (1999) 333-346
4. Nawaz, I., Disposal and utilization of fly ash to protect the environment, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*,
5. Shoumkova, A.S., High gradient magnetic separation of mineral raw materials and industrial wastes, Ph. D. Thesis, UCTM, Sofia, 2006
6. Wang, S., H. Wu, Environmental-benign utilisation of fly ash as low-cost adsorbents, *Journal of Hazardous Materials* B136 (2006) 482–501
7. Goswami, A. K., S. J. Kulkarni, S. K. Dharmadhikari, P. E. Patil, Fly ash as low cost adsorbent to remove dyes, *International Journal of scientific research and management*, 2 (2014) 842-845
8. Querol, X., N. Moreno, J.C. Umana, A. Alastuey, E. Hernandez, A. Lopez-Soler, F. Plana, Synthesis of zeolites from coal fly ash: an overview, *International Journal of Coal Geology* 50 (2002) 413– 423
9. Inada, M., Y. Eguchi, N. Enomoto, J. Hojo, Synthesis of zeolite from coal fly ashes with different silica–alumina composition, *Fuel* 84 (2005) 299–304
10. Shoumkova, A., V. Stoyanova, Ts. Tsacheva, Preliminary study on the zeolitization of coal fly ashes from six Bulgarian thermal power plants: SEM-EDX analyses, *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences* 64(7) (2011) 937-944
11. Shoumkova, A., V. Stoyanova, Alkali hydrothermal activation of coal fly ash from thermal power station "Maritsa 3", Bulgaria, *Fuel* 103 (2013) 533-541
12. Ojha, K., N. C. Pradhan, A. N. Samanta, Zeolite from fly ash: synthesis and characterization, *Bulletin of Materials Science* 27 (2004) 555–564
13. Derkowski, A., W Franus, E Beran, A Czímerova, Properties and potential applications of zeolitic materials produced from fly ash using simple method of synthesis, *Powder Technology* 166 (2006) 47-54
14. Derkowski, A., H. Waniak-Nowika, A. Czimerova, Textural properties vs. CEC and EGME retention of Na-X zeolite prepared from fly ash at room temperature, *International Journal of Mineral Processing* 82 (2007) 57-68
15. Moreno, N., X. Querol, C. Ayora, C. F. Pereira, M. Janssen-Jurkovicova, Utilization of zeolites synthesized from coal fly ash for the purification of acid mine waters, *Environ. Sci. Technol.* 35 (2001) 3526-3534
16. Wang, S., M. Soudi, L. Li, Z. H. Zhu, Coal ash conversion into effective adsorbents for removal of heavy metals and dyes from wastewater, *Journal of Hazardous Materials* 133 (2006) 243-251
17. de Carvalho, T. E. M., D. A. Fungaro, C. P. Magdalena, P. Cunico, Adsorption of indigo carmine from aqueous solution using coal fly ash and zeolite from fly ash, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 289 (2011) 617-626
18. Suna, D., X. Zhang, Y. Wu, X. Liu, Adsorption of anionic dyes from aqueous solution on fly ash, *Journal of Hazardous Materials* 181 (2010) 335–342
19. Atun, G., G. Hisarlı, A. E. Kurtoglu, N. Ayar, A comparison of basic dye adsorption onto zeolitic materials synthesized from fly ash, *Journal of Hazardous Materials* 187 (2011) 562–573
20. Shoumkova, A., Zeolites for water and wastewater treatment: An overview, *Research Bulletin of the Australian Institute of High Energetic Materials Special Issue on Global Fresh Water Shortage*, pp.10-70 (2011); http://www.ausihem.org/web_documents/ISBN%20978-0-9806811-1-6.pdf
21. Shoumkova, A., Magnetic separation of coal fly ash from Bulgarian power plants, *Waste Management and Research* 29 (2011) 1078-1089

THE INFLUENCE OF THE STOJAN'S COSMIC SWARM ON THE BEE COLONIES AS A REASON FOR INCURRENCE OF COLONY COLLAPSE DISORDER, AND POSSIBLE PROTECTION AGAINST IT

Stojan Velkoski¹, Jane Velkoski², Mihail Velkoski¹

¹GAPE Institute – Skopje

²Soncev Zrak – Skopje

e-mail: contact@igape.edu.mk; contact@igape.edu.mk

Key words: Colony collapse disorder, Bees, Bee diseases, Loss of orientation in bees, Stojan's cosmic swarm, geo-cosmo pathology, radiation, electrosmog .

Abstract: It is known that the exposure to cosmic source of radiation is beneficial to arthropods, and they therefore chose to build their hive exactly on locations where those radiation exists. Ants most often build their anthill where there are active cosmic knots or points of the Stojan's cosmic swarms. But lately those theses do not correspond with the bee colonies and the points of the Stojan's swarms. Pursuant to the results of the researches it was concluded that in the bee families located on cosmic radiations coming from the Stojan's swarm, the bees are disoriented and anxious, leaving the hive and look for other shelter. The study included approximately 500 bee colonies in Macedonia.

Introduction

Colony collapse disorder is increasingly emerging in bee colonies nowadays. The world seems helpless against this disease that in certain areas of our planet, kills as many as 50-60% on an annual basis.

This problem can result in a certain imbalance in the biological processes of the entire biosphere. Knowing this, scientists approach this problem with special seriousness while others are not aware of its consequences.

The experts of the IGAPE Institute from Skopje approach this problem with ultimate seriousness, analyzing in detail all known and less known elements which will lead to this diseases in beehives.

The majority of scientists treating this disease consider that it results from the large presence of frequencies in the atmosphere, caused by mobile telephony transmitters, long-distance power lines etc. Others think that the root to this phenomenon is the increasing use of pesticides, or climatic changes or environmental catastrophes and pollution. While science searches for the answer, 60% of the bees die in some countries. Fig. 1. Starting from this fact, mankind is faced with a serious challenge that sets on the alarm.

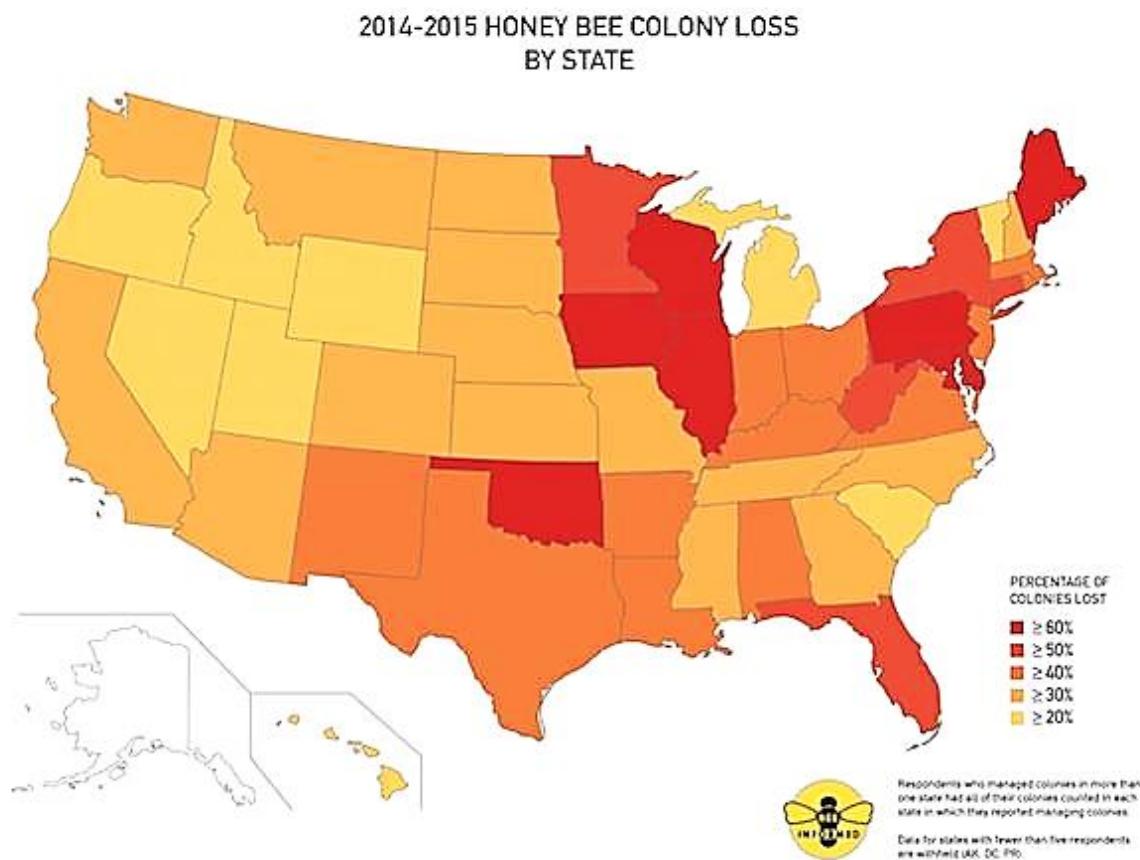
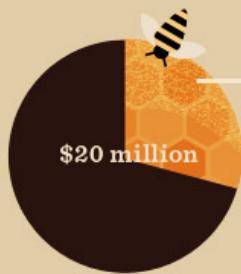


Fig. 1. Map of bee extinction of in USA

Materials and methods

The alarm is already worldwide, large finances are dedicated to finding a solution to this problem. The funds reserved to solving this problem in the USA are as follows:

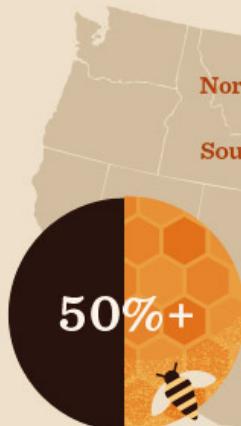
The USDA plans to spend
\$20 million over the next 5 years
investigating the cause of **Colony Collapse Disorder**.



\$8 million
incentives for farmers
to establish
new bee habitats



5 states
are home to more than half
the US commercial honeybee population.



North Dakota
South Dakota
Michigan
Wisconsin
Minnesota

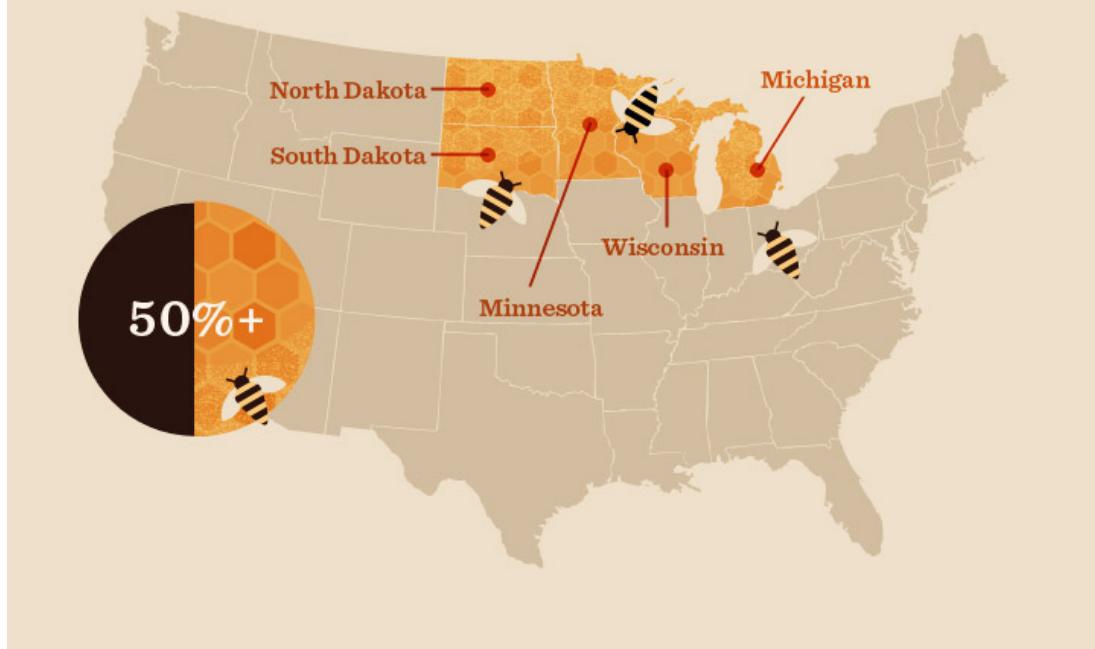


Fig. 2. Financial investment for the preparation of a strategy and finding a solution to this problem

It is still considered that mobile telephony is the reason of the Colony Collapse Disorder, Fig. 3, but the beehives are destroyed even where the number of mobile telephones is relatively low: Fig. 4



Fig. 3. Influence of mobile telephones on bees and Colony collapse disorder

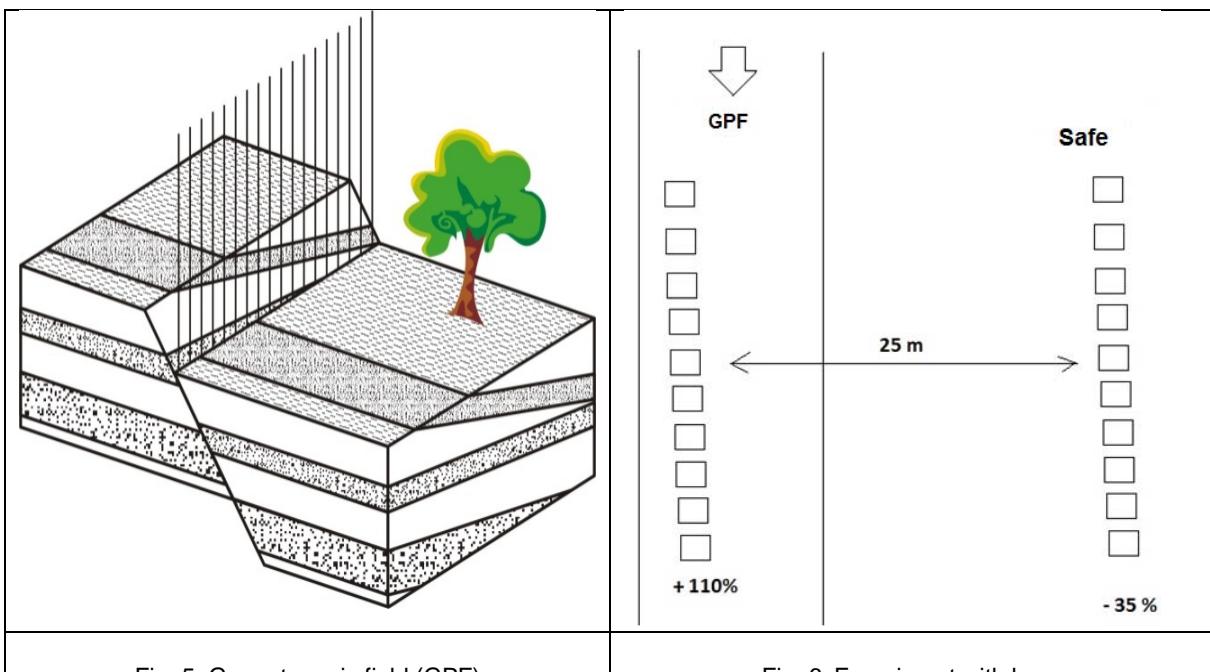
Fig. 4. Bees and the queen working on a honeycomb

The research included 500 bee families from several beehives, where 10% were already attained by Colony collapse disorder. The following influences were analyzed: a) geopathology, b) cosmic pathology and c) technological sources of radiation in the analysis of the symptoms and life of the bees.

Results:

a) Influences of geopathology on bees.

In the Kozle area of the city of Skopje, 20 bee crates were taken on wintering in 2006. Ten of them were placed on a location affected by geopathology, distributed in two 10-crate groups which were placed at 25m distance one from the other. Fig. 5 and 6. All bee families were equally treated and with similar queen age and number of bees. In the winter period, those who were on a geopathogenic field did not leave the crate as much as those placed on a safe location. In the spring of 2007 the bees located on a geopathogenic field outnumbered those on the safe location. This indicates that certain spam of frequencies is favourable for the bees.



b) Influence of cosmopathology on bees

In the process of researching of the reactions due to the impact of cosmopathology upon bees more significant results were observed on the bees exposed to the knots of the Stojan's cosmic grid and points of the Stojan's cosmic swarm.

The bee colonies affected by a Stojan's cosmic knot are more agitated and more aggressive for the environment. Fig. 7 and Fig. 8.

	
Fig. 7. Bee colonies on S knots and on a safe location	Fig. 8. Bee colonies on an S-knot and on a safe location, Prilep town vicinity

c) Influence on the Stojan's cosmic swarm on bees.

The Stojan's cosmic swarm are approximately 400 in number (Fig. 9) but not all of them are active on Earth. Also, their presence is more frequent on certain locations than on other.

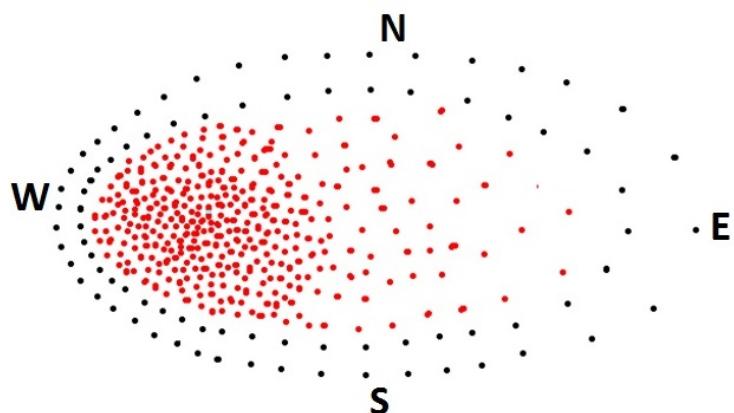


Fig. 9. Stojan's cosmic swarm

The shape of an active Stojan's cosmic swarm reminds of a swarm in which points are grouped towards west and north-west. The first research of the impact of the Stojan's cosmic swarm on the appearance of Colony collapse disorder was performed in 2008 on a beehive in the village of Breznica, Skopje region (see Fig. 10). The results of the research demonstrated that 9 out of 24 crates were affected by 1 – 3 active knots of the Stojan's cosmic knot, and 8 of the said 9 crates were already abandoned.



Fig. 10. Beehive affected by Colony collapse disorder in the village of Breznica, Skopje vicinity

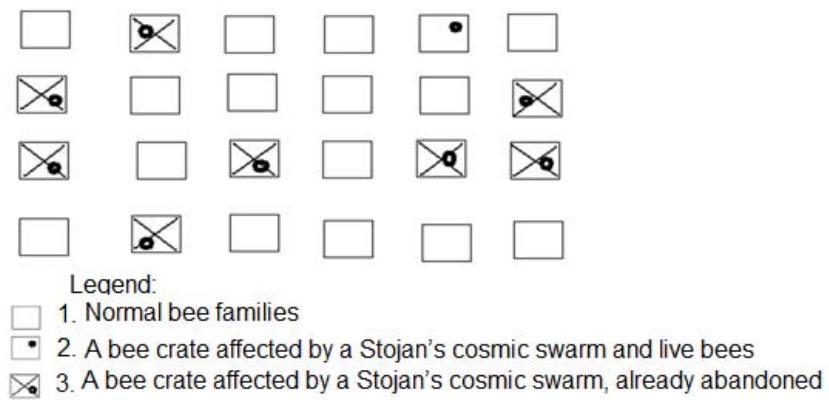


Fig. 11. Schematic representation of the first researched beehive affected by a Colony collapse disorder

Influence of technical radiations on bees

The bees flying through a curtain of electric smog originating from long-distance power lines and other transmitters get hurt and never return to such locations (see Fig. 12).

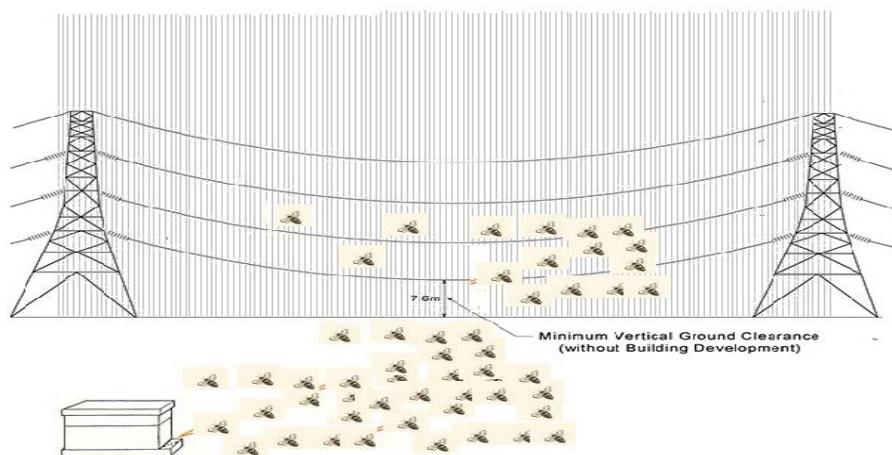


Fig. 12. An electric smog curtain hurting the bees

Conclusion

The building of urban settlements with a high concentration of steel, electric smog, chemical and other elements, weakens the protective function of the ozone layer and intensifies the negative impact of the Stojan's cosmic swarm. The impact of the swarm has been intensified in recent years, threatening the lives of the living beings, especially of bees. They are very sensitive to exactly that frequency, which erases their orientation capacity and get lost in nature. This means that the team of Mr. Stojan Velkoski indicates the Stojan's cosmic swarm as the immediate reason of Colony collapse disorder and has elaborated a special strategy for protection of the bees against this disease.

References:

1. Gayton, A. Медицинска Физиологија, Бакар-Бор, Београд, 1988.
2. Josip Belcic,Josip Katalinic, Dragutin Loc, Stevo Loncarevic, Lovro Peradin, Djuro Sulimanovic, Filip Simic, Ivo Tomasec, Pcelarstvo, Nakladni zavod znanje 1989, Zagreb.
3. Stefanov, B. Radiovolni i magnetni poleta. Medicina i fiskultura Sofija, 1990.
4. Мардиросян, Г. От Космоса срещу екологичните катастрофи, БАН, София, 1993.
5. Muller, C. F. Elektrosmog: Gesundheitsrisiken, Grenzwerte, Verbraucherschutz Katalyse, Heidelberg, Hamburg, 1997.
6. Wolfgang Maes u.a: Elektrosmog-Wohngifte-Pilze (Baubiologie-praktsche Hilfe für jedermann), Heidelberg: haung, 1999.
7. Stoyan Velkoski. DISCOVERING AND WORKING ON THE HARMFULNESS COSMIC KNOTS OF THE NEW DISCOVERED S2-NET, Scientific Conference SPACE, ECOLOGY, NANOTECHNOLOGY, SAFETY, 14–16 June 2006, Varna, Bulgaria.
8. Stojan Velkoski, Garo Mardirossian, Frank Otten, Gordana Zlateva-Velkoska, Jadranka Denkova, ANALYSIS OF TECHNICAL DEVICES FOR PROTECTION AGAINST ELECTROMAGNETIC RADIATION, Scientific Conference SENS, 27-29 June 2007 Varna, Bulgaria.
9. Getsov, P., D. Teodosiev, E. Roumenina, G. Mardirossian, G. Sotirov, B. Srebrov, M. Israel, S. Velkoski, P. Gajsek, D. Simunic, Methods for Monitoring of Electromagnetic Pollution in the Western Balkan Environment, Second International Scientific Conference ANOMALOUS NATURAL AND ANTHROPOGENIC INFLUENCES AND PHENOMENA IN THE ENVIRONMENTAL MEDIUM ANDTHE COMMON INHERITANCE, 13-15 December 2007, Skopje.
10. Stojan Velkoski, COSMIC STOJAN-NET AND ITS UTILIZATION,United Nations/Russian Federation Academy of Sciences /European Space Agency/ Workshop on the Use of Micro-Satellite Technologies for Environmental Monitoring and Impact to Human Health,Tarusa, Russia, 3-7 September 2007.
11. Stojan Velkoski, STOJAN'S COSMIC SWARM (SC-SWARM). Fifth Scientific Conference with International Participation SENS, 2–4 November 2009, Sofia, Bulgaria.
12. Velkoski, S. INFLUENCE OF ELECTRO-MAGNETIC RADIATIONS ON HUMAN BLOOD AND PROTECTION BY BIO-SPH TRANSFORMERS. Medical Data, march 2011.
13. Mobile Telephony and Health - Exposures from Base Stations. <http://www.healthleadsuk.com/air-and-water-treatment>
14. Stojan Velkoski. Der Einfluss von geopathogenen Störzonen auf, Mensch und Tier – kosmischer Stojanscher-Ring und Stojanscher-Schwarm, Sanum Post,Jahrgang 2013, Nr 102, 21-26.

CRIMINAL AND LEGAL PROTECTION OF THE CULTURAL HERITAGE AND THE NATURAL RARITIES IN REPUBLIC OF MACEDONIA

Marina Sazdovska¹, Stojan Velkoski²

¹*Faculty of Security in Skopje*

²*IGAPE Institute in Skopje*

e-mail: mmalis@fb.uklo.edu.mk; contact@igape.edu.mk;

Key words: protection, cultural heritage, natural rarities etc.

Abstract: The protection of the cultural heritage and of the natural rarities is a serious problem in Macedonia, directly related to damage and destruction of goods which are under temporary protection or belong to cultural heritage or to the natural rarities, by the removal and exportation thereof. There are also the illegal excavators within the country. They appropriate the cultural heritage: artifacts, icons and other.

The cultural heritage and the natural rarities in Macedonia are protected by establishing crimes in this field, as well as operational activities with the purpose of identification of those criminal acts. Besides the legal and criminological protection, it is necessary to undertake preventive actions on a larger scale with the purpose of efficient protection.

Introduction

The protection of the cultural heritage in Macedonia is a serious problem from the viewpoint of the existence of crime perpetrators whose activities aim at appropriation of artifacts from our archeological sites. Their purpose is also of material type: to gain material profit or enrich their private collections. Besides the material damage, there is another one reflected in the fact that many artifacts from Macedonia are presented as belonging to other countries, thus causing great loss of our national individuality, identity and treasure.

The illegal appropriation and destruction of parts of the cultural heritage is typical in environments where diverse cultural goods are concentrated, where samples of the cultural heritage are of exceptional artistic and material value, where there is not a completely developed attitude towards the values of people's own cultural heritage. This is primarily due to the numerous shortcomings in the systemic setting for practical care and protection of the heritage. These general features are mostly present in our country as well.

Criminal and Legal Protection of the Cultural Heritage and the Natural Rarities

The national legislature of the Republic of Macedonia, in its Criminal Code, determines the protection of the cultural heritage in its Chapter XXIV entitled Criminal Acts Against the Cultural Heritage and Natural Rarities. Thus, Article 264 reads as follows: "A person who damages or destroys any good placed under temporary protection or belongs to the cultural heritage or is considered a natural rarity, shall have to pay a fine or will be convicted to prison sentence of six months to three years." The Paragraph 2 envisages the following: "A person who, without a permission of a responsible body, performs conservation or restoration activities or carries out archeological excavations or researches on goods under temporary protection or on a natural rarity despite a prohibition thereto, and due to it they are severely damaged or lose their quality, shall be convicted to a prison sentence of one to five years." The following paragraph deals with commission of a crime by a legal entity, for which a fine is envisaged.

Further, the legislator sanctions the appropriation of goods placed under temporary protection or are part of the cultural heritage or a natural rarity and refers to perpetrators who, upon archeological excavations, archive research, geological, paleontological, mineralogical or petrography researches, excavations or otherwise appropriates some material or an object which is under temporary protection as cultural heritage or natural rarity. The prison sentence envisaged to such an act is of one to ten years.

The latest changes in the Criminal Code of the Republic of Macedonia relates to certain activities regarding the protection of the cultural heritage. Thus, the Criminal Code refers to the crime

of “removal of goods under temporary protection or cultural heritage or natural rarities” entailing certain sanction. A perpetrator can be any person who, without the permission of a responsible body, removes any good under temporary protection or cultural heritage or an object representing some natural rarity, for which a prison sentence of three to ten years is envisaged. If the goods placed under temporary protection or representing part of the cultural heritage are archeological, ethnological, artistic, historic objects or an icon which is of special importance for the Republic of Macedonia the prison sentence envisaged is of at least four years. This Article envisages responsibility of a legal entity which will be sanctioned with a fine. The Code also envisages responsibility of a person who will sell, give as present or alienate some cultural heritage in state ownership, even if there are no features of any other harder act of crime, for which the sanction is a prison sentence of three to ten years.

Article 266-б envisages “import of illegally purchased goods under temporary protection, cultural heritage and natural rarities”, referring to the materials imported into Macedonia – movable goods under temporary protection, cultural heritage and natural rarities of which the perpetrator knew, or was obligated to know or informed about its illegal import into the territory of another country, shall be sanctioned with a prison sentence of three to ten years. Besides defining the removal of some goods into and out of Macedonia, the national legislation refers to unauthorized trade with goods under temporary protection, cultural heritage or natural rarity. The Modus operandi system of this crime is: purchasing, hand-over, acceptance or exchange of objects under temporary protection, cultural heritage or natural rarity, of which the trade is prohibited or limited. This crime is sanctioned by a fine or a prison sentence of one to five years. It can be perpetrated by a group, a gang or an association or by an organized network of re-sellers or intermediaries in order to transport the objects abroad. The sanction envisaged for such crime is a fine or a prison sentence of one to ten years, and if the crime is committed by a legal entity, it will be sanctioned by a fine, and the illegally traded objects and goods will be confiscated.

The Code also refers to state-owned goods, sanctioning the alienation of the cultural heritage of special importance in state ownership. Namely “A person who sells, gives as present or otherwise permanently alienates state-owned cultural heritage of special importance, shall be sentenced to three to ten years of imprisonment.” The subject of protection referred to in this Chapter is the cultural heritage and the natural rarities but also the prohibition to import movable cultural heritage stolen from museums, sacral and other public buildings or institution on the territory of another country. The prison sentence envisaged for this crime is of three to ten years. The last crime referred to in this Chapter of the Criminal Code is the one referring to the destruction or concealing of unprocessed archive material, as well as of documentary material which cannot be regarded as archive material before the important issues were identified therein.

Statistical Indicators of the Criminal Acts of Chapter XXIV in Macedonia

The official statistical indicators of the National Bureau of Statistics for the year 2012, according to the data published in the Statistic review: Population and Social Statistics, lead to conclusions about the following situations represented on tables.

In the year 2012, the number of major perpetrators was only 8:

All eight criminal charges were submitted from the Ministry of Interior. What is impressive is the number of rejected criminal charges. Five out of eight criminal charges were rejected and the prosecution motion was effectuated only concerning three of them. Considering that only the Ministry of Interior submitted the criminal charges the question arises about the reason of the rejection of the other ones? Is the reason in the insufficient support of the charges by proofs, or maybe the measures taken were not in the framework of the legal authorizations or maybe there is some other reason. Anyway, the number of rejected charges is relatively high, and this fact is to be further analyzed in order to improve the preparation of the criminal charges and their further processing into judicial proceedings.

This is especially important taking into account the current situation in the country which indicates a large presence of illegal excavators and a low number of identified acts or of raised criminal charges. In order to reduce this disproportion between the real situation and the actual criminal charges, it is necessary to take further measures of widespread activities of all responsible bodies in charge of the protection of the cultural heritage and the natural rarities in view of their protection.

The number of perpetrators in 2013 is considerably higher and amounts 14 persons against whom criminal charges have been raised for crimes with the cultural heritage and the natural rarities. As for the acceptance of the reports, the number of the submitted criminal charges in comparison with the one in 2012 is 10 whereas two perpetrators are still unknown.

T 01: Reported major persons as per the act of crime, type of decision and sex in the year 2012

Criminal acts against the cultural heritage and natural rarities	Total	Total number of known perpetrators	Women	Rejected report	Interrupted investigation	Stopped investigation	Prosecution motion submitted	Total number of unknown perpetrators
total	8	8		5			3	
Damage or destruction of goods under temporary protection, cultural heritage or natural rarities	5	5		4			1	
Removal or export of goods under temporary protection, cultural heritage or natural rarities	1	1		1				
Other	2	2					2	

T 02: Reported major persons as per the act of crime, type of decision and sex in the year 2013

Criminal acts against the cultural heritage and natural rarities	Total	Total number of known perpetrators	Women	Rejected report	Interrupted investigation	Stopped investigation	Prosecution motion submitted	Total number of unknown perpetrators
total	14	12				2	10	2
Damage or destruction of goods under temporary protection, cultural heritage or natural rarities	5	3					3	2
Removal or export of goods under temporary protection, cultural heritage or natural rarities	3	3					3	
Other	6	6				2	4	

T-03: Reported adults persons – known perpetrators, as per crime groups and ethnicity in the year 2012

	Total	Macedonians	Albanians	Turks	Roma	Vlachos	Serbs	Bosnians	Other	Unknown
Total	8	5	1	-	2	-	-	-	-	-
Women	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

The ethnicity table reveals that from the total number of perpetrators (eight of them) in 2012, five were Macedonians, one was Albanian and two of them were of Roma ethnic affiliation.

T-04: Reported adults persons – known perpetrators, as per crime groups and ethnicity in the year 2013

	Total	Macedonians	Albanians	Turks	Roma	Vlachos	Serbs	Bosnians	Other	Unknown
Total	12	7	1	2	-	-	1	-	1	-
Women	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

As for their ethnic affiliations, the number of perpetrators coincides with the demographic situation of the country, namely, the highest number of them (seven) are Macedonians, one was Albanian, two are Turks, one was of Serbian and one of the other ethnic affiliations.

T-05: Convicted major individuals as per the type of crime and type of sanction in the year 2012

Criminal acts against the cultural heritage and natural rarities	Convicted	Women	Fines-total	Princip-al - prison	Princip-al - fines	Fine	Second-ary - fine	Second-ary – ban on practicing a profession	Secondary Relegation of a foreigner	Second-ary Alternative measures
total	3	1	1	-	-	-	-	-	1	2
Removal or export of goods under temporary protection, cultural heritage or natural rarities	1	1	1	-	-	-	-	-	1	
Other	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2

Of the two above-mentioned alternative measures, two are probations – 6-months to 1 year of prison sentence with the application of the measure of confiscation of objects. The evidence reveals that all three perpetrators committed their crimes by themselves. Men were from 30 to 39 years of age, and the lady was 40 to 49. As per ethnicity, two perpetrators were Macedonians and one of the other ethnic affiliations. Referring to education level, they had completed secondary education, two of them were unemployed and there are no data of one of them.

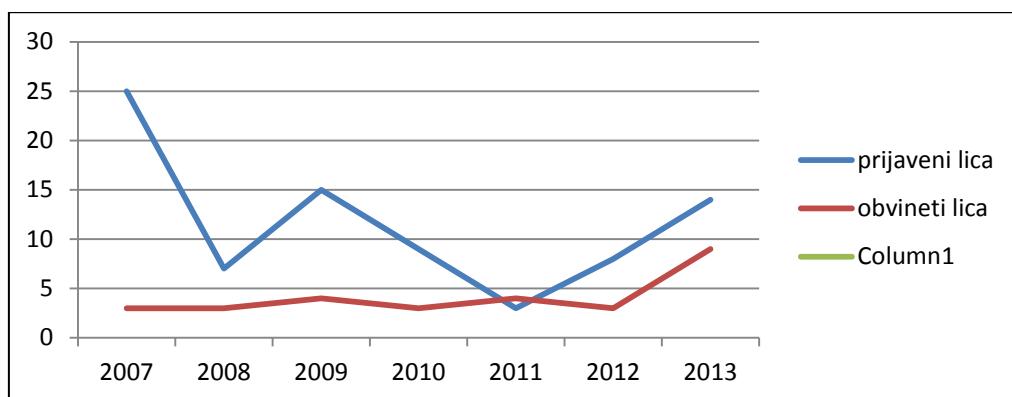


Fig. 1. Number of reported and charged persons in 2007-2013

The analysis of the data can lead to the conclusion that the difference between the two categories is big, which means that certain number of individuals reported for crime regarding cultural heritage have not been prosecuted. In future this should be a subject of interest of the security services and bodies, which should provide sufficiently reliable proofs of each criminal act, to enable the Court to reach a verdict sanctioning the perpetrators.

As for the development of the procedure, the authors of the work also made a comparative year-by-year analysis in the period from 2007 to 2013 (Fig. 2).

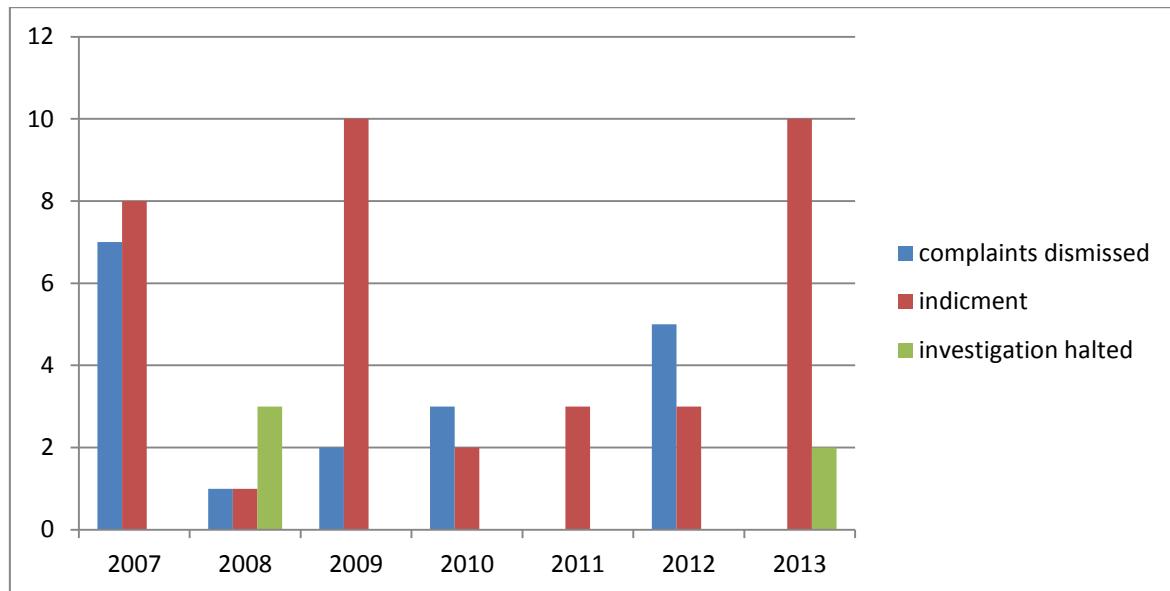


Fig. 2. Number of reports in the period of 2007-2013

The analysis of the data given in Fig. 2 can lead to the conclusion that the number of rejected investigations is higher than the number of the submitted acts of accusation (e.g. in 2012). This is a worrying situation which again reveals the unprofessional approach to the procedure of providing quality criminal charges which would result in acceptance. The situation is not satisfactory as the reports concerning some of the above mentioned cases were refused or rejected.

Analysing the sanctions it can be concluded that the punitive policy of the Courts is lenient, and the sentences are probative. This is not the method of preventive actions, neither on the special prevention, nor on general level, i.e. prevention of other persons from becoming perpetrators.

As for minor perpetrators, there is only one such person evidenced as perpetrator of a crime in damaging and destruction of goods under temporary protection, cultural heritage or natural rarities, on whom a sentence proposal was submitted.

Nine people were convicted in 2013, with prison sentences, fines and alternative measures. It can be concluded that there is organized criminal in the field of protection of the cultural heritage, and it is necessary both to prevent this type of crime in future, as well as to introduce more repressive measures towards the perpetrators.

T-06: Convicted major individuals as per the type of crime and type of sanction in the year 2013

Criminal acts against the cultural heritage and natural rarities	Convicted	Women	Fines, total	Principal - prison	Principal - fines	Fine	Secondary - fine	Secondary - ban on practicing a profession	Secondary - relegation of a foreigner	Secondary - Alternative measures
total	9	-	4	1	3	-	-	-	-	5
Export of goods under temporary protection or cultural heritage or natural rarities	3	-	3	-	3	-	-	-	-	-

Export of goods under temporary protection or cultural heritage or natural rarities	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Alienation of cultural heritage of special importance in state ownership	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Other	4	-	1	1	-	-	-	-	-	3

Conclusion

The Law on Protection of the Cultural Heritage was passed in Macedonia in April 2004, and certain amendments and changes were carried out in the Penal Code of the Republic of Macedonia in 2006. However, the weak and barely existing penal policy increased the audacity of some people who dared to excavate the archeological localities, not taking any care of whether they were excavating unprotected archeological localities or if those localities had already been protected by law. Such excavations lead to thefts of valuable objects of the cultural heritage, but also some of the immovable units are damaged or destroyed. Another problem is the absence of a Law on Collectibles. Some of the newly arisen business people invest in old objects and coins, making their own collections and in certain way, thus supporting and financing the illegal excavations.

As the majority of the archeological localities, churches and monasteries in Macedonia have been built outside the populated areas, they are more accessible by the illegal excavators and the security of the buildings and localities is one of the important components in the prevention and timely identification of such crimes. It is therefore necessary that the responsible institutions in the country pay special attention to this important component in order to improve the level security of the buildings and localities.

Education is one of the important elements contributing in the preservation of our cultural heritage and treasure. But it is also necessary to simultaneously educate the employees of the institutions and organizations responsible to preserve the cultural heritage as well as to timely identify and prevent the perpetrators of such criminal acts. Young people should, since their first days at school, be raised to cherish and respect their cultural heritage and treasure and strive to promote it worldwide.

References:

1. Зборник на трудови „Заштита на културното наследство во Република Македонија“, Универзитет „Св. Климент Охридски“, Битола, Скопје, 2010.
2. Кривичен законик („Службен весник на Република Македонија“, бр. 37/1996, 80/1999, 4/2002, 43/2003, 19/2004, 81/2005, 60/2006, 73/2006, 87/2007, 7/2008, 139/2008, 114/2009).
3. Закон за заштита на културното наследство („Службен весник на Република Македонија“, бр. 20/2004, 71/2004, 115/2007).
4. Државен завод за статистика „Сторителите на кривични дела за 2012 година“.
5. Државен завод за статистика „Сторителите на кривични дела за 2013 година“.
6. <http://www.uzkn.gov.mk/dokumenti/Marvinci.pdf>
7. file:///zastita/kulturno_nasledstvo.html
8. file:///zastita/sprecen_sverc.html
9. <file:///Macedonium.aspx.htm>
10. <http://www.novamakedonija.com.mk/NewsDetal.asp?vest=781010 2282&id=12&prilog=0&setIzdanie=22028>

ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ НА РЕКА ДРАГОВИЩИЦА

Антон Сотиров¹, Георги Табаков¹, Валерия Стоичкова¹, Михаела Йерусалимова²,
Светослав Йорданов³, Ралица Тасева³, Лусия Кулкина³, Сияна Савова⁴,
Росица Везенкова⁵, Денислав Кирилов⁵, Мелани Ефимрова⁵, Даниел Велинов⁵

¹Български икономически форум, София

²Институт по физика на твърдото тяло, Българска академия на науките, София

³Софийски университет "Св. Климент Охридски

⁴Технически университет, Варна

⁵Природоматематическа гимназия "Проф. Емануил Иванов, Кюстендил

e-mail: sotirov_anton@hotmail.com

Ключови думи: екологичен мониторинг, замърсяване на вода, рибни видове

Abstract: General aim of the study is collecting of data for the environment and the ecosystem of Dragovishtitsa River, Bulgaria and receiving of information for its influence on contamination of the Struma river. Samples are taken and measurements are done at intervals about 500 m along the river as well as the estuary at place of its entrance into the Struma river. By this way 50 points of measurements in Serbia and 50 points in Bulgaria were measured. The main conclusion of the study is that the water of Dragovishtitsa river responds to the type R3-Mountain river as almost all measured parameters are in normal range with few exemptions for cyanuric acid and nitrate content. There were measured 45 parameters of the environment and most of them are result of natural processes. Only cyanuric acid and nitrates are in relatively high range around the waste canals from human living in Serbia and agricultural farms in Bulgaria. Recommendation is to be taken attention on this kind of contaminator with relation of the governmental efforts for restoration of the population of the Brown trout fish into the river.

Общи данни

Река Драговищица се намира в Западна България, има дължина 40 km (от които около 25 km в България и около 15 km в Сърбия) и среден наклон 19,2% (7,3% в България). Началото и започва от мястото на съединяване-вливане на реките Божицка (ляв) и Лисина (десен приток) в Сърбия. Литературните източници обикновено включват цялата дължина на река Драговищица и река Божицка, идваща от Васинското езеро и така дължината става 70 km, от които около 45 km в Сърбия (Енциклопедия Кюстендил). Водосборната област е с площ 867 km², на българска територия 177,1 km², на съръбска територия, заедно с образуващите притоци 689,9 km² и със средна надморска височина 1188 m, като 46% от нея е залесена. Най-високата стойност на средногодишният отток е имало през 1937-19,9 m³/s, а най-ниска през 1983-3,22 m³/s. Често има ледови явления достигащи до 20 дни годишно. Средната мътност на водата е 261 g/m³ (по данни от 1975-84), средна минерализация 211,5 mg/l (1969-84). Пролетното пълноводие обикновено настъпва в края на февруари и завършва в началото на юни, а лятното маловодие започва в началото на август и продължава до октомври-ноември. По-важни притоци в България са: Дождевица (ляв, влива се при махала Олтоманци на с. Долно Уйно), Ломничка река и Уйнешница (влизат се при с. Долно Уйно). Драговищица има голямо стопанско значение за Кюстендилско и е важен селишкообразуващ фактор. По пролома и преминава международното шосе Кюстендил – Босилеград, където се намира ГКПП Олтоманци. Има изградена мрежа от съоръжения за напояване на селища по поречието на реката.

Река Драговищица е един от най-големите притоци на река Струма и в това отношение състоянието на екосистемата и влияе върху нея. Тя е десен приток на река Струма от първи порядък, водно тяло тип TR28-011111, код EU_CD BG4ST700R019 [1].

Според Рамковата Директива за Води (РДВ) (ДИРЕКТИВА 2000/60/ЕС НА ЕВРОПЕЙСКИЯ ПАРЛАМЕНТ И НА СЪВЕТА, 2000), изследваният район попада в Екорегион 7, обхващащ Източни Балкани, който включва Южна България, части от Северна Гърция, Европейската част на Турция, БЮР Македония и Сърбия, вкл. речните басейни на Марица, Мesta и Струма [2].



Фиг. 1. Местоположение на изследваният район

Геология на района

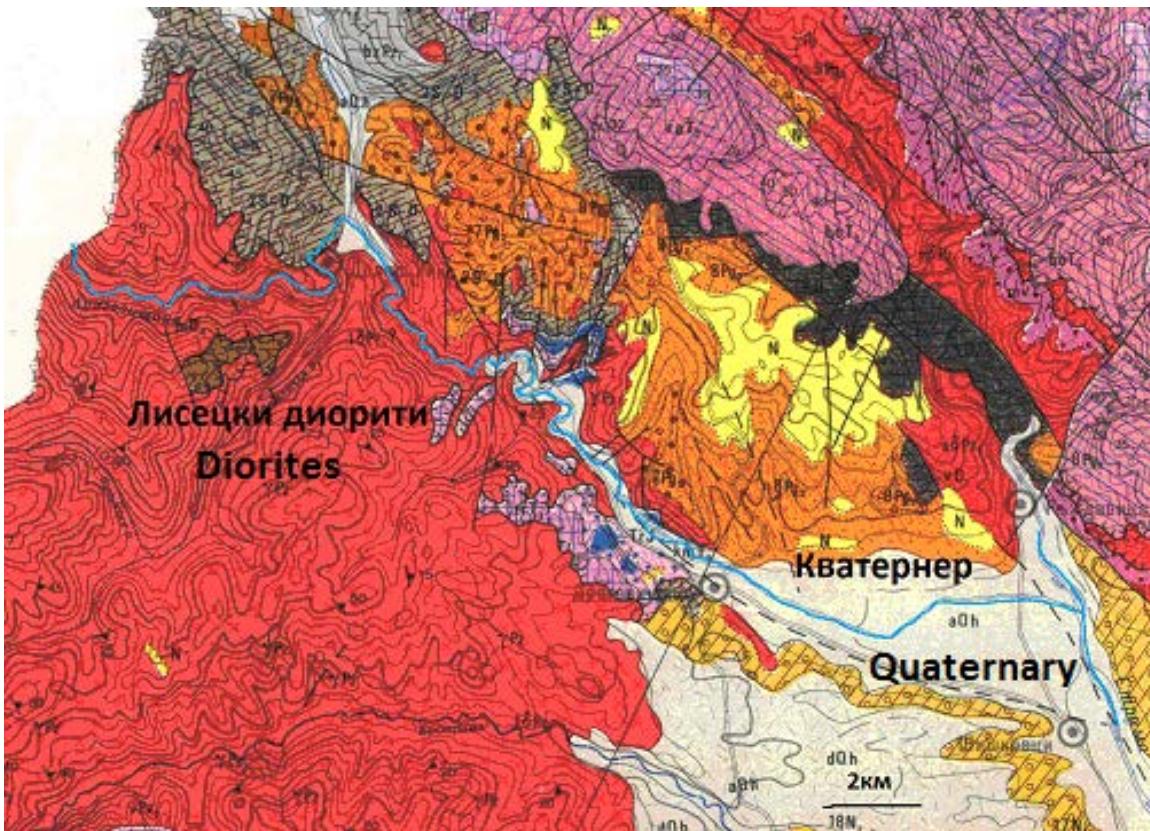
Районът се характеризира с разчленен релеф, резултат от интензивни неотектонски движения. Този факт трябва да се има предвид, въпреки ниската според статистическите данни степен на сейзмична активност. Стръмните скални откоси представляват потенциална опасност за развитие на срутищи процеси [3].

Нео-протерозойски скали. През цялата си дължина в Сърбия и през приблизително половината си дължина в България от ГКПП Олтоманци до село Драговищица, реката преминава през лисецките диорити. Възрастта им е нео-протерозойска и са част от Лисецкия ортометаморфен комплекс (Фиг. 2). Те са тъмнозелени на цвят, здрави и тежки, среднозърнести скали. Текстурата им е масивна и грубошистозна. В минералния им състав участват реликтов плагиоклаз, кварц, епидот, циозит, хлорит, биотит, мусковит, калцит и акцесорни минерали – апатит, шеелит(?), рудни минерали. Метаморфната промяна е по-слабо изразена.

Метагабрата (метагабродиорити) са тъмносиви-зелени, здрави и масивни скали, обикновено с железни хидрооксиди по пукнатини и изветрителни плоскости. Текстурата им е масивна до грубо-шистозна, а структурата бласт-габрова, бласофитова, микрогранобластна, лепидогранобластна. В минералния им състав участват реликтов плагиоклаз, и метаморфогенни циозит, епидот, клиноциозит, серицит, албит, кварц, амфиболови минерали, хлорит, рутил, титанит, карбонат.

Кватернерни наслаги. В района на село Драговищица до вливането и в река Струма, река Драговищица преминава предимно през кватернерни наслаги, тъй като там тя излиза от планинския релеф на Лисец планина и навлиза в равнинно понижение на река Струма в Кюстендилска котловина. Кватернерните наслаги имат значително разнообразие и са привързани към определени морфоложки форми. Локализирани са около долината на река Струма и нейните притоци, както и в подножията на планините. Лежат върху неогенски, палеогенски и допалеогенски скали. С най-широко развитие са алувиалните наслаги.

В тектонско отношение районът попада изцяло в Краищидната тектонска зона (Краищици). Най-значителното тектонско събитие, което формира гънково-навлачния процес на региона е свързано с австрийската фаза, ранно аплийският (автсрийски) структурен план. В района попадат и големи фрагменти от Струмската и Моравска единици на Краищидната зона.



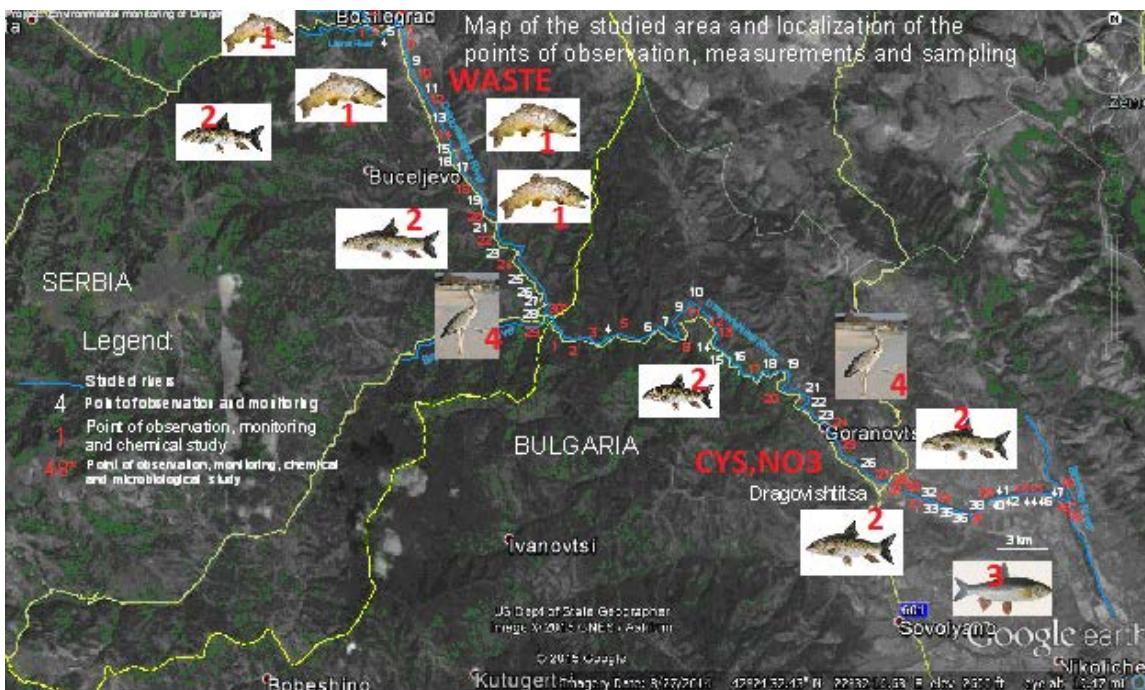
Фиг. 2. Геоложка карта на поречието на река Драговищица (Загорчев, И., 1993)

II. Методи на изследване

Цел на проекта е събиране на данни за околната среда и екосистемата на река Драговищица и получаване на информация за влиянието на основните и притоци и нейното влияние като приток върху река Струма. Измерванията са извършени по течението на реката от мястото на нейното образуване в Сърбия при вливането на двете реки Божицка и Лисина до вливането и в река Струма. Измерена е и опробвана и водата от река Струма преди вливането на река Драговищица и след нейното вливане. Наблюдението е извършено през първият летен мониторинг 20 юли – 10 август 2015 г. И е изследвана реката по време на нейния воден минимум – лятно маловодие.

Методите са избирани в съответствие с българската национална система за мониторинг на околната среда, която поддържа информационна база данни на национално и регионално равнище. Националната система за мониторинг на околната среда изпълнява постоянни наблюдения в много статични и мобилни станции. Настоящото изследване дава информация за някои параметри на компонентите на околната среда на река Драговищица, като приток на река Струма и на някои нейни по-важни притоци – река Божицка и Лисина, които я образуват в Сърбия и река Бранковачка, която тече по границата с България и се влива в района на ГКПП Олтоманци. Прилагани са полеви методи на изследване [4].

Пробите са взимани и измерванията са извършвани в интервали от около 500 м по протежение на река Драговищица, както и от устията на трите и притока и от река Струма преди и след вливането на река Драговищица. По този начин са измерени 50 пункта на реката в Сърбия и 50 пункта в България (фиг. 3).



Фиг. 3. Разпределение на основните видове риба по течението на река Драговищица:
1-Балканска пъстърва; 2-Черна мряна; 3-Речен кефал (клен); 4-Сива чапла
(с цифри-местата на опробване и измерване)

Използвани са цифрови (електронни) апарати за изпълнението на изследването, заради техните възможности за бързо, удобно и прецизно измерване на изследваните параметри на терен.

Приложен е методът за измерване "на място" ("in-situ"), на терен чрез пряко вземане на пробы ("grab samples"), защото предимствата на този метод са високата степен на достоверност, коректност и точност на изследванията.

Общият радиоационен фон и радиоактивността на водата са измерени с гайгеров брояч "Radex" RD1503 в микросиверта на час ($\mu\text{Sv}/\text{h}$).

Измерванията на водата са извършени с инструмент "Хана" HI9813-6, който измерва киселинността на водата (pH), температура на водата (t , $^{\circ}\text{C}$), електропроводимост (EC, μS), общо разтворени твърди вещества (TDS, ppm).

Друг използван апарат е "SensoDirect 150", който измерва киселинност на водата (pH), температура на въздуха и водата (t , $^{\circ}\text{C}$), електропроводимост (разтворени минерални соли) (EC, μS), общо количество на разтворените твърди вещества (TDS, ppm), разтворен кислород (O_2 , %).

За изследване на химичните параметри на речната вода е използван е спектрален фотометър (колориметър) "Lovibond". С помощта на този инструмент са установени: свободен, общ и комбиниран хлор Cl, киселинност (pH), цианурова киселина CYS, обща твърдост CaCO_3 , свободна, обща и комбинирана мед Cu и желязо Fe в mg/l.

Друг използван фотометър (колориметър) е "Lovibond MD 600", с който са измерени същите параметри: свободен, общ и комбиниран хлор Cl, киселинност (pH), цианурова киселина CYS, обща твърдост CaCO_3 , свободна, обща и комбинирана мед Cu и желязо Fe в mg/l.

Нитратно NO_3^- mg/l и нитритно NO_2^- mg/l съдържание във водата са установени чрез колориметричен метод с тестови ленти с обхват 0-10-25-50-100-250-500 mg/l.

Съдържанието на арсен As са измерени чрез колориметричен метод с комплект тестови ленти с обхват 0.005-0.0010-0.0025-0.05-0.1-0.25-0.5mg/l и реагент малонова киселина. За определяне съдържанието на цинк Zn е приложен колориметричен метод с комплект тестови ленти с обхват 0-4-10-20-50mg/l и реагент натриева основа. Манганът Mn също е определен чрез колориметричен метод с комплект тестови ленти с обхват 2-5-20-50-100mg/l и реагент натриева основа.

Съдържанието на олово Pb е установено чрез колориметричен метод с комплект тестови ленти с обхват 20-40-100-200-500mg/l и реагент Blei-Test.

Сулфатите SO_4^{2-} са измерени чрез колориметричен метод с тестови ленти с обхват 200-400-800-1200-1600mg/l.

Сулфитите SO_3 са измерени чрез колориметричен метод с тестови ленти с обхват 10-40-80-180-400 mg/l.

За биомониторинг и определяне на релефа на речното дъно е използван преносим радар (сонар) за рибни пасажи "Fish Finder" с монохроматен LCD екран, еднольчев, честота 200 kHz, максимална дълбочина 100 m, картина на дънния релеф.

Микробиологичното изследване за колиформи *coliforms* е извършено съгласно методиката писана в Д.В. БДС EN ISO/IEC 17025: 2006 за изследване на речни води. Изследването е извършено от Изпитвателна химична и микробиологична лаборатория при "Кюстендилска вода" ЕООД, гр. Кюстендил. Количество на пробите 250 ml, върху колонни единици КОЕ/100 ml и стандарти валидириани методи БДС EN ISO 9308-1, температура на изследването 37°C при стойност и допуск на показателя 5000. Протоколи 455 и 456/25.08.2015 г.

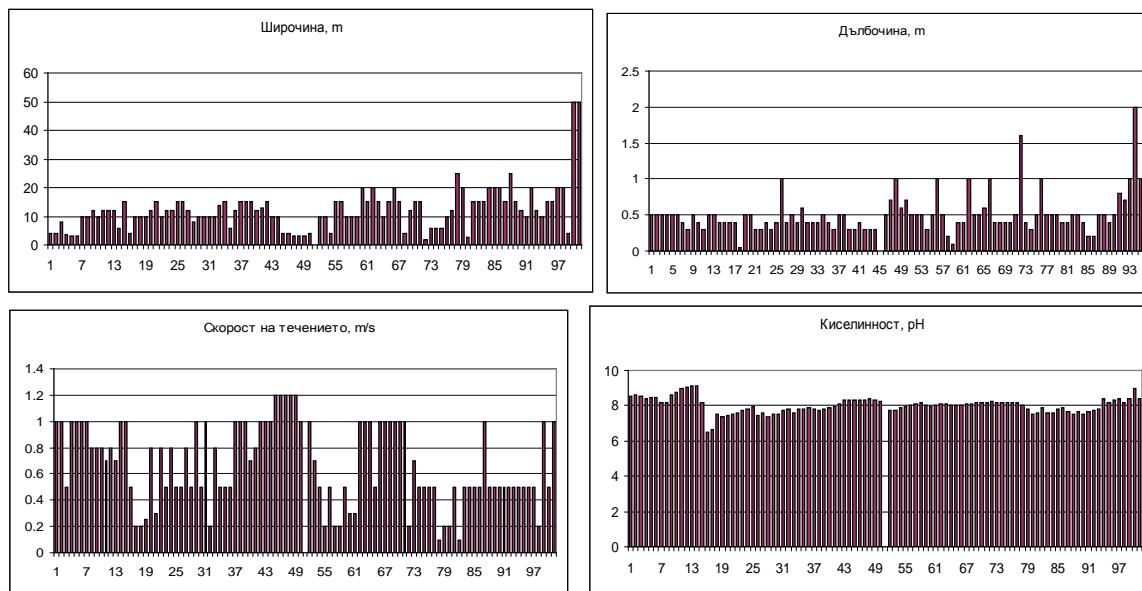
За седimentоложките изследвания пробите са взимани от площ 1 m² на дълбочина до 20 cm. Изследвана е фракция на минералните зърна с гравийни размери от 1 до 10 mm. Съответно изследваният антропогенен микродетрит с размери на фрагментите до около 20 mm. Използван е микроскопски метод на изследване, който се прилага в геологията за разсипни нециментирани седиментни скали – бинокулярен (стерео) микроскоп "CETI" (STAR-24ED) с отразена бяла светлина и с приложение за флуоресцентна светлина и вградена дигитална камера "Globecam-D" с USB връзка за компютър и компютърна програма "Image Driving Software" DCE-2. Използван е и дигитален монокулярен микроскоп USB 2.0 DigiScope, както и Digital Microscope с компютърна програма MicroViewer ver. 2.2.d. Всяка проба е разделена на микроскопски препарати в стъклени лабораторни блюда тип "Петри", в които са изследвани минимум 300 точки попаднали в центъра на жичният кръст - минерални зърна и детритни късове от всяка проба през равномерна стъпка на преместване на препарата.

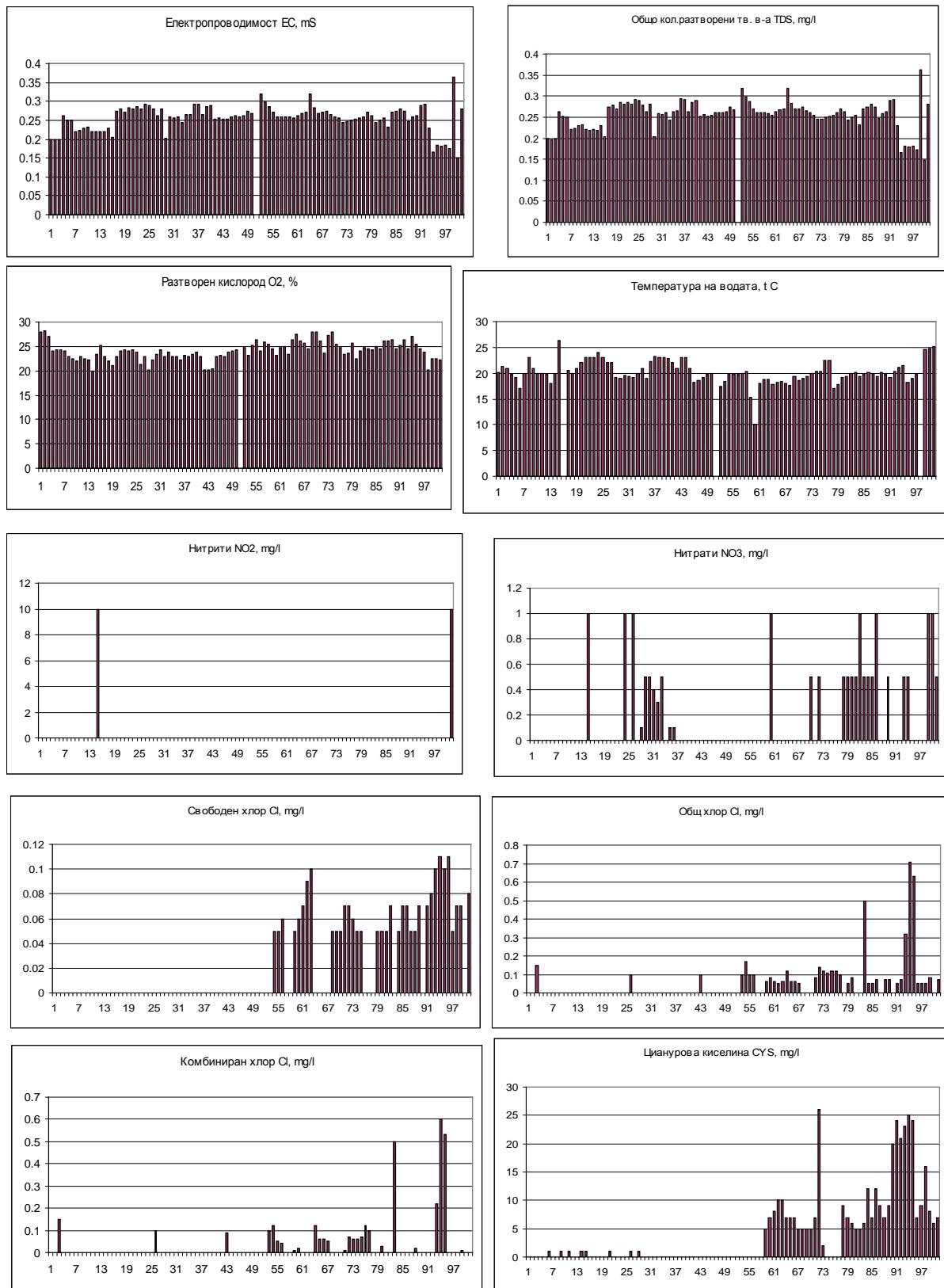
Минералните зърна и нефлуоресциращите микродетрити са определяни по методите описани от Pettijohn и Pettijohn et al. [5,6] а флуоресциращите микродетрити са описани, съгласно геологичкият метод, приложен за флуоресцентна микроскопия в дисциплината органична петрология описан от Talyor et al. [7] и Stach et al. [8].

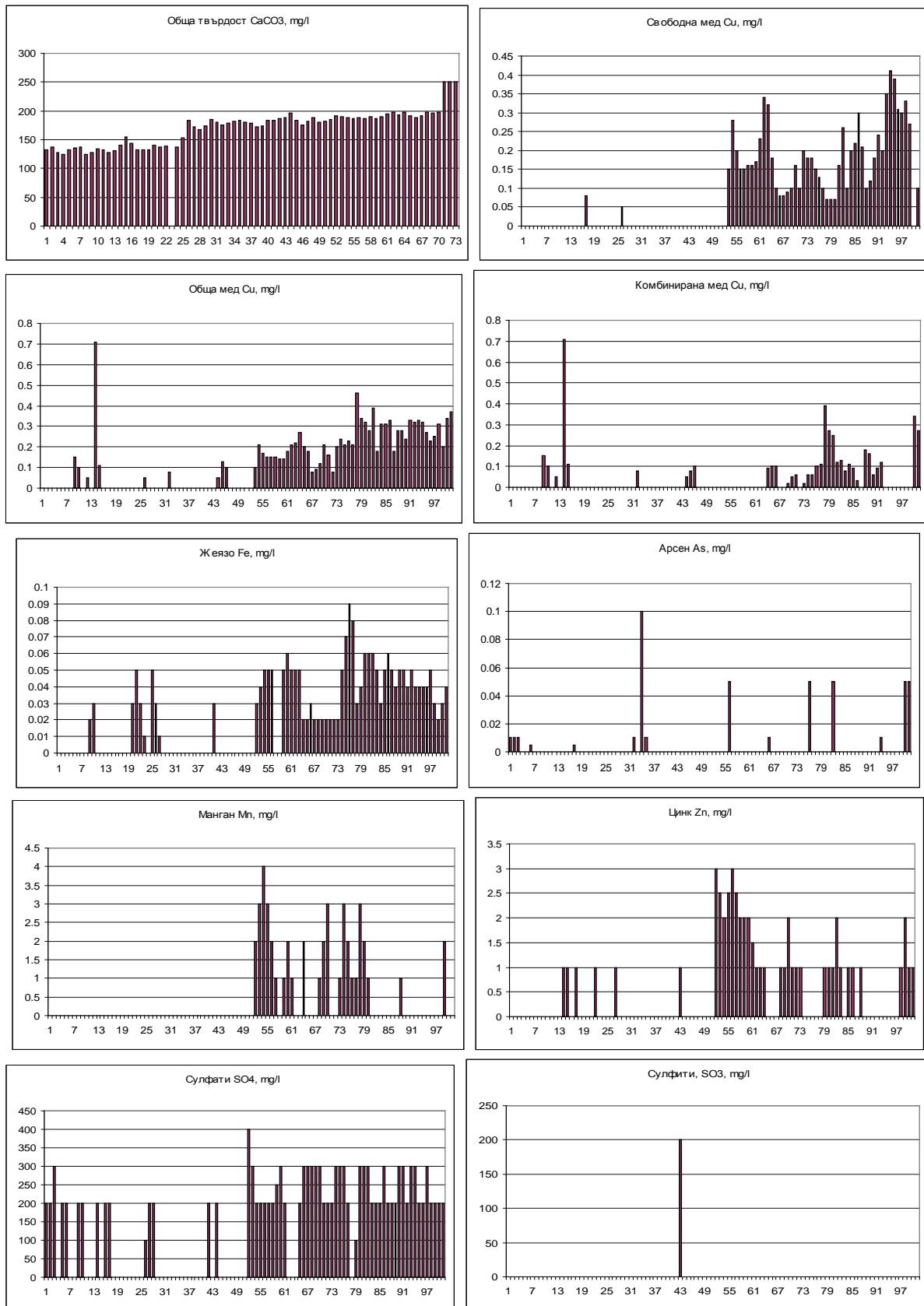
Флуоресцентният метод за определяне и описание на антропогенни микродетрити в почви и седименти е описан от Сотиров и др. [9]. Данни за извършен екологичен мониторинг на водата и седиментите на река Струма и десните притоци от Кюстендилска котловина има представени от Сотиров и др. [10,11,12,13,14,15,16,17,18] и Sotirov [19,20] Dimitrov et. al [21]

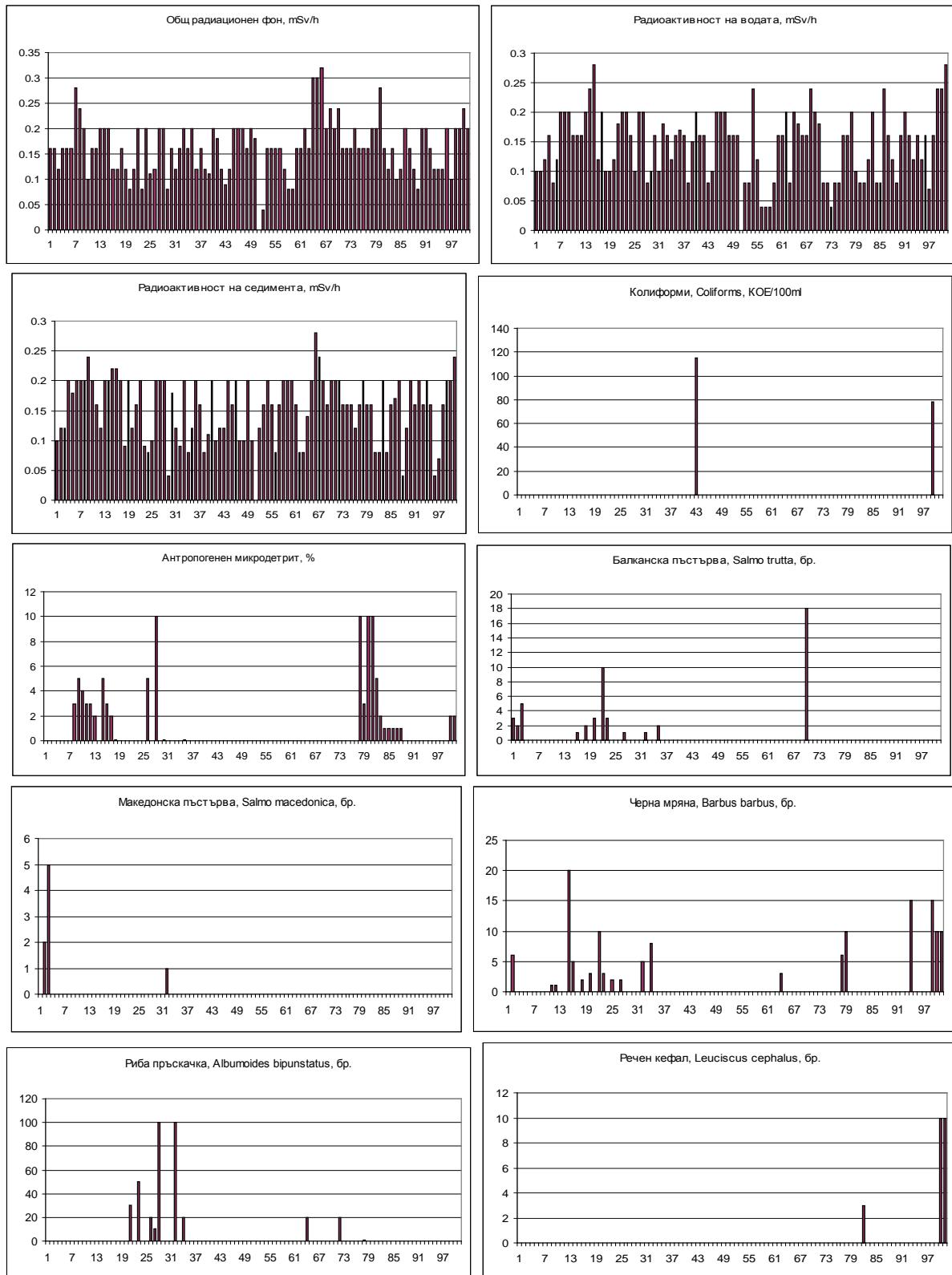
Статистическата обработка на данните и клъстер анализ за извършени с програмата Excel и нейното приложение XL-Stat.

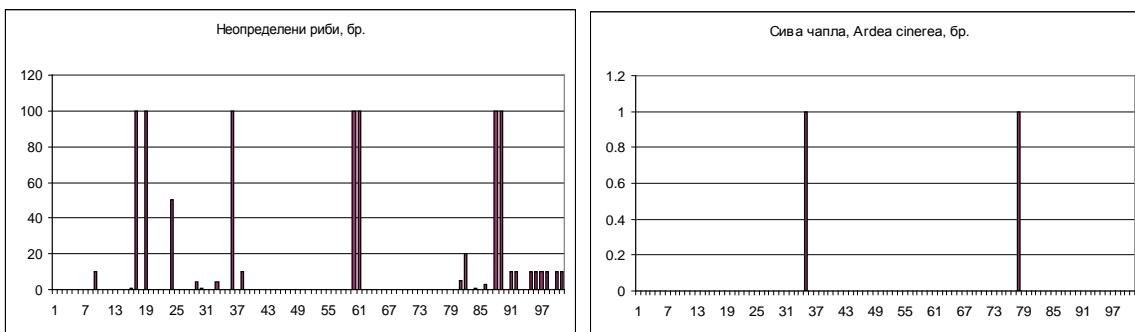
III. Резултати от проведен летен мониторинг на река Драговищица



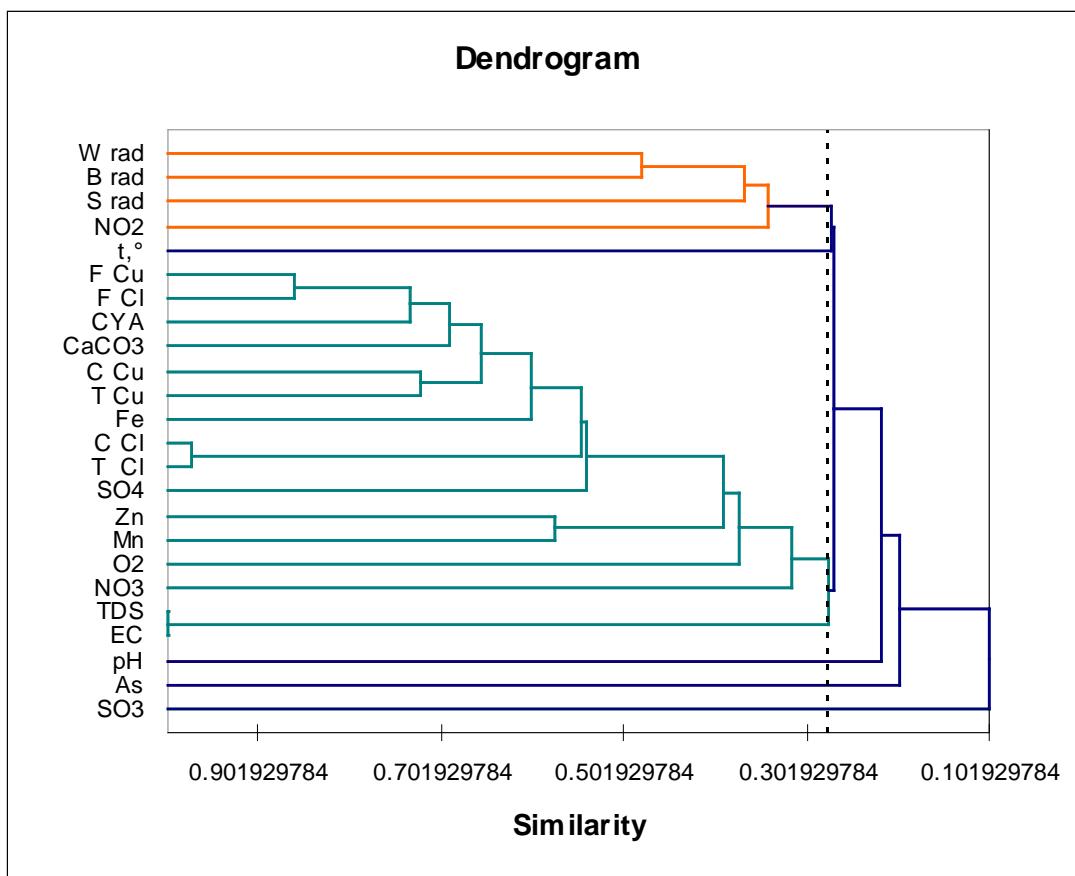








Фиг. 4. Диаграми на измерените параметри



Фиг. 5. Клъстър анализ на получените данни

Физични параметри

През проведения летен миниторинг река Драговищица беше изследвана по време на лятното маловодие от 27 юли до 7 август 2015 г. Целта беше да се изследват параметрите на речната вода при най-ниско водо ниво. При лятното маловодие най-добре се изучава флората и фауната на реката, както и най-точно се локализират постоянните замърсители. Ниското ниво позволява да се влеза в реката и да се изучава подробно седимента, флората и фауната на място (*in situ*). Като цяло резултатите са задоволителни и основно се налага изводът, че екологичното състояние на реката е добро с малки забележки, които ще бъдат описани по-долу.

Широчината на реката варираше от 3 до 20 м, а дълбочината варираше от 0,2 до 1,6 м, в зависимост от релефа и наклона на дъното, скоростта на оттока, наличието на притоци или водохващания за напояване. Скоростта на течението обикновено 0.20 m/s – бавно течение, 0.50 m/s умерено течение и 1 m/s бързо течение (бързей). Завирявания и застояла вода почти не се наблюдава, поради стръмния наклон на терена в планинската част и сравнително правата линия на течението в равнинната част (фиг. 4).

Измерванията са извършени през светлата част на деня приблизително от 9.00 до 21.00 часа и температурата на въздуха на сянка варираше между 22 и 34°C. На слънце често достигаха до 40°C. Лятото на 2015 г. беше изключително сухо и слънчево в продължение на 2 месеца с температури над 30°C. Експедициите бяха проведени с лек автомобил, като на места достъпа до реката е далече от пътя и продължаваше пешком до съответният пункт на измерване. Налагаха се многократни обходи пеша или с автомобил до намиране на съответният планиран пункт.

Дънното местообитание е предимно каменисто с по-едри блокове и валуни в горната част на течението на реката, преминаващи в гравий и чакъл в долното течение. Късовете са предимно диоритови – туфи, гнейси, кварцити в горното течение до село Драговища, които сравнително рязко преминават в кавтернерни чакъли и гравий в долното течение след селото и до вливането в река Струма.

Общият радиационен фон, радиоактивността на водата и на седимента са в рамките на нормите, т.е. под 0,36 $\mu\text{Sv}/\text{h}$. Флуктуира от 0,04 до 0,24 $\mu\text{Sv}/\text{h}$, т.е. средно около 0,20 $\mu\text{Sv}/\text{h}$, което е нормалната стойност за региона.

Физико-химични параметри

Измерената киселинност е нормална за реки планински тип R3, които са в пъстървовата зона $\text{pH}=7,52-8,43$, единствените отклонения на киселинността на водата от нормите са в района на изливане на битовият канал на Босилеград и нерегламентираните битови сметища около него, където киселинността варира от 6,6 до 9,1. Източник на вкисляване или алкализация вероятно се явяват фекалните и помийни отпадъци, както и миещите и перилни препарати в отходните води. В българският отрязък киселинността е стабилна в нормите около 8, само в река Струма преди вливането на река Драговища е установено $\text{pH}=9$, но след вливането на река Драговища киселинността на Струма се нормализира, т.е. притока има положителен пречистващ ефект върху главната водна артерия на района (фиг. 4).

Електропроводимостта на водата ЕС, т.е. разтворените електролити (напр. минерални соли) не е висока в сравнение с други съседни притоци на Струма от същия водосбор видимо не се влияе от киселинността и има стабилни норми от 0,149 до 0,363 mS (милисименса), но в повечето случаи варира около 0,250 mS.

Общото количество твърди вещества TDS съвпада с данните за измерената електропроводимост на водата, тъй като основните електролити са разтворените във водата твърди вещества, най-вече минерални соли.

Разтвореният във водата кислород O_2 е от 20,1 до 28,1%, т.е. 2,1-2,81 mg/l. Сравнително ниското съдържание на кислород се обяснява с високите температури на въздуха и на водата по време на измерванията. Според Русев, Николов (2013) дишането на дъговата пъстърва се затруднява при стойности 3,5 mg/l. Може би поради тази причина дъгова пъстърва не е установена в реката по време на мониторинга.

Измерената температура на водата е от 15 до 24,7°C, в зависимост от часа, но е установена една температурна анонalia при с. Долно уйно, където водата има температура 10,1°C. Причината вероятно е подземен карстов или дренажен извор, който увеличава многократно дебита на реката и широчината става от 4 m при предишният пункт на измерване на 15 m. Може да се предположи, че на това място реката извира отново и на практика реката има втори извор освен официалният - съединяването на двете реки Божицка и Лисина в Сърбия.

Химични параметри

Нитрити NO_2 и нитрати NO_3 са установени само в района на изливане на битовите канали в Босилеград, съответно $\text{NO}_2=10 \text{ mg/l}$ и нитрати $\text{NO}_3=1 \text{ mg/l}$ и около селата Райчиловци, Рибарци и Млекоминци в Сърбия, но с ниски стойности $\text{NO}_3=0,1-0,5 \text{ mg/l}$. В България се появяват около село Долно уйно, Горановци и Драговища и в река Струма $\text{NO}_3=0,1-0,5 \text{ mg/l}$ (фиг. 4). От тези съдържания само установените в Босилеград са на границата на допустимите норми според Директива на Съвета от 12 декември 1991 година за опазване на водите от замърсяване с нитрати от селскостопански източници (91/676/EIO).

Свободен, общ и комбиниран хлор Cl не са установени в сръбската част на реката. Има само слабо присъствие на общ и комбиниран хлор във водата на десния приток река лисина, даващ началото на река Драговища $0,15 \text{ mg/l}$ и на изхода на река Драговища от Сърбия при ГКПП Рибарци със стойности 0,1 и $0,09 \text{ mg/l}$. В българската част на река Драговища и във водата на река Струма преди и след вливането на Драговища, обаче хлорът присъства във всичките си форми почти във всички пробы, но отново в много малки количества в повечето случаи под $0,1 \text{ mg/l}$. Само в някои пунктове се увеличава до след село Стенско и преди устието на реката и достига до $0,1 \text{ mg/l}$. Присъствието на различните форми на хлор вероятно е

природен процес. Той е част от минералните соли, разтворени във водата при преминаването и през почви и коренни скали и тяхното излужване. Най-вероятен източник са натриев NaCl и калиев хлорид KCl , обикновена сол в почвите. От диаграмите се вижда, че набогатяването на водата с хлор започва от село Драговищица, където ландшафта се сменя от планински с равнинен, а геологията на речното легло се сменя от диорити на кватернер.

Особено важен параметър в рамките на това изследване на водния компонент на речната екосистема на река Драговищица е т. нар. цианурова киселина CYS. Параметърът е важен, тъй като не е включен в Националната система за екологичен мониторинг и въобще е малко изучен. Циануровата киселина представлява обобщено понятие на отпадни продукти на химическата промишленост, често използвани също и в бита като белина, лепила, дезинфектанти, бои, козметика, стабилизатори за хлор (предпазват хлорните съединения от бърз разпад на слънчева и UV светлина) и много други. Тя неизменно присъства като инфильтрат (*leachate*) на местата, където има битови сметища. За пръв път е открита в урината. Трудно се образува самостоятелно в природата и наличието и е добър индикатор за антропогенна дейност. Формулата и може да бъде различна, но обобщената може да се покаже като $(\text{CNOH})_3$ (1,3,5-triazine-2,4,6-triol). Един от анализите е меламин [22]. Това е краен продукт на разпад и е силен замърсител. В природата не може да се пречиства освен чрез утайване като органичен камък. По същия начин предизвиква образуване на най-неразтворимите органични камъни в бъбреците и пикочните пътища при животните [23]. По интернет данни пъстървата е много чувствителна на този химикал, като при стойности над 8 g/ml изчезва. Има данни и за чувствителност на сладководните скариди *Branchiopoda*. Съдържанието на CYS не трябва да надвишава 10-12 mg/l в басейни за плуване.

Изследването на циануровата киселина е необходимо заради факта, че в деретата на реките в България има много нерегламентирани битови сметища, а в прилежащите територии много ферми и отходни канали, съчетано с факта, че река Драговищица попада в пъстървовата зона. Основен биоиндикатор за изследване по проекта е Балканската пъстърва *Salmo trutta* и инвазивният вид Американска дъгова пъстърва *Oncorhynchus mykiss*, както и установената в последствие в сръбската част на реката Македонска пъстърва *Salmo macedonica*.

Интересното е, че реката е разделена буквално на две по отношение на съдържанията на цианурова киселина. В сръбската част тя не се установява с малки изключения на места с антропогенна дейност около и в самия Босилеград в минимални количества от 1 mg/l, докато в българският отрязък на реката се появява още в началото на наша територия при сградата на мини ВЕЦ 0,5 MW в количество от 5 mg/l и продължава устойчиво да присъства в повечето преби, като дори се увеличава на 26 mg/l около село Долно Уйно, изчезва около село Горановци и пак се увеличава около село Стенско между 20 и 25 mg/l. В половината измерени пунктове циануровата киселина CYS достига нивата, които не са подходящи за развитие на пъстърва. Може би поради тази причина пъстърва в сръбската част на реката се наблюдава често пъстърва, докато в българската част на реката нашият екип не успя да наблюдава такава, данните са само по метода на интервю от рибари за наличие на Балканска пъстърва. Интересен факт е, циануровата киселина се появява веднага след изградения мини ВЕЦ, но не е в опасни концентрации и се установява и много след него, отново в не-много високи количества. В повечето пунктове с измерени високи нива на CYS не е забелязана антропогенна дейност освен на места малки сметища, много по-малки от съседните реки на водосбора и напоителни системи (Сотиров и др. 2014). Концентрациите са сравнително високи за да бъдат природен феномен, а измерването беше извършено и втори път с друг апарат за контрол, но стойностите на една и съща проба останаха непроменени. Чорапената фабрика в Босилеград не работи, а и след нея не се установява цианурова киселина, а в района на керамичната фабрика в с. Драговищица също стойностите не са особено високи. Така се предполага, че източникът на замърсяване са отпадни води от фермите в долната част на реката, а в горната част вероятно се създават условия при бента на ВЕЦ за натрупване и разлагане на отпадните продукти от отходните канали в Сърбия.

Общата твърдост на водата CaCO_3 не е висока и варира между 106 и 198 mg/l, само в устието и преди и след вливането на река Струма е над 200 mg/l. От началото на реката до устието и съръджанието на калциев карбонат постепенно леко се увеличава. Източник на общата твърдост са коренните скали, през които преминава реката, част от които съдържат карбонати и калцит.

Съдържанията на свободна, обща и комбинирана мед Cu са ниски и варират от 0 до 0,41 mg/l, в повечето случаи много по-ниски. Присъствието на мед е природен процес, в района има установени медни находища, а скалите през, които минава реката съдържат различни медни минерали.

Желязото Fe_2^+ и Fe_3^+ е в малки количества от 0,01 до 0,05 и рядко малко повече. Също е елемент примес, резултат от природното излужване на железните минерали в околните скали.

Трябва да се следи обаче за количеството на мед и желязо в напоителните площи след село Драговищица до река Струма, за да не надвърлят стойностите за почви определени от Държавен вестник №54/1997.

Арсенът As във водата на река Драговищица се установява рядко в малки количества, резултат от природно излужване на минералите от околните скали и стойностите му са от 0 до 0,01 mg/l. Набива се на очи обаче, че стойностите отново са по-високи около село Горановци и в делтата на реката, преди вливането и в р. Струма As=0,05 mg/l, където има добив на инертни материали и вероятно на злато.

Олово Pb през времето на летния мониторинг не е установено във водата от измерените пунктове.

Мangan Mn се открива само в българската част на реката още от самото начало при ГКПП Олтоманци и съдържанието му варира от 0 до 4 mg/l. Заради невъзможността да се обвърже съдържанието на Mn с антропогенна дейност и ниските концентрации на метала, то предполагам източник на елемента са околните скали.

Цинк Zn - съдържанията му варира от 0 до 2 и рядко до 3 mg/l. Присъствието му в речната вода вероятно също се дължи на преминаването на реката през коренни скали, съдържащи цинк.

При изследването за сулфати SO_4 и сулфити SO_2 отново прави впечатление, че около местата с развита човешка дейност се наблюдава завишаване на някои изследвани параметри, както при нитратите и нитритите. Единственият пункт с установени сулфити е ГКПП Олтоманци. Сулфати се срещат по-често предимно около местата с развито земеделие и фермерство и отново около селата Горановци, Драговищица и Стенско сулфатите достигат до 300 mg/l. Фиг. 5 показва взаимна свързаност на изследваните параметри при клъстър анализ на получените данни.

Микробиологични параметри

Съдържанието на колиформи във водата е измерено в 2 пункта: единият на изхода на река Драговищица от Сърбия преди ГКПП Рибарци и вторият пункт е преди вливането на реката в р. Струма, преди заустването и в бетонно корито, в района на село Раждавица. Изследването показва, че съдържанието на колиформи на изхода от Сърбия е с около 50% повече отколкото съдържанието на изхода на самата река в България. Съдържанието на колиформи е 115 КОЕ за сръбската част и 78 КОЕ (фиг. 4) за българската част, но и двете стойности са в нормите и водата е чиста по този показател. Вероятно изливането на отходните канали на Босилеград и прилежащите села са причината за по-високата концентрация на бактериите.

Седimentоложки изследвания

Изследването на седимента е включено в изследването, поради факта, че предимно в седимента могат да се наблюдават физическите замърсители на реката директно макроскопски или чрез използване на микроскоп се наблюдават микрофрагменти от всички човешки отпадъци (Сотиров и др., 2015). Като цяло седимента на реката е чист откъм антропогенен микродетрит. Много рядко се установяват фрагменти от битови отпадъци като полиетилен, пластмаса, метали, гуми, керамика, стъкло, стиропор, строителни мазилки, вар, цимент, тухли и др., които се срещат в нерегламентираните битови сметища по нашите реки. В района на Босилеград, Сърбия може да се видят всякакви битови отпадъци в реката като автомобилни гуми, останки от бяла техника, полиетиленови торбички и шишета, тухли, вар, дървесина, слама, фекалии, помия, и всичко останало. Наблюдава се и мътност и пенливост на реката и въпреки това параметрите на речната вода са с аномални стойности само в самите канали, а на 50-100 м след канала водните параметри се стабилизират и може да се види много риба, има и влечуги и земноводни. Количеството на антропогенният микродетрит в седимента на реката в Сърбия е в количества 0-1%, само в населените места Босилеград, Райчиловци, Рибарци и Млекоминци и около сметищата се появяват ореоли с разсеяни микродетрити предимно стъкло и керамика, които достигат от 5-6 до 10% в отделни проби.. Полиетиленът се наблюдава макроскопски.

В българската част на река Драговищица антропогенният микродетрит в седimentоложките преби също е в много малки количества и даже отсъства в повечето преби. Седимента в това отношение е чист в сравнение със съседните реки в кюстендилска котловина, десни притоци на Струма като Бистрица, Банница и Новоселска (Сотиров и др., 2015). Съдържанието на антропогенен микродетрит обаче рязко се увеличава от водохващането на село Драговищица, където има бент и мястото се посещава от рибари, къпещи се, използва се за пране и за изхвъляне на отпадъци, особено строителни. Количеството на микродетрита в

планинската част на реката е 0%, но в района на село Драговищица достига до обемни процента. Той е представен от целия набор битови отпадъци, но в малки количества до 1% общо. Останалите до 9% са червена керамика, предимно изхърлена от керамичният завод – Тухларната фабрика в село Драговищица. Ореолът на разсейване на микро- и макро- наблюдаваната червена керамика след фабриката се простира чак до река Струма. Предполага се, че не вреди на речната екосистема, но трябва да се има предвид, че не е природен продукт. В пунктовете след тухларната фабрика е установен на места и асфалт (Фиг. 6).

Както беше споменато в планинската си част на реката седимента е представен от по-едри блокове и валуни в горната част на течението на реката, преминаващи в гравий и чакъл в долното течение. Късовете са предимно диоритови – туфи, гнейси, кварцити в горното течение до село Драговищица, които сравнително рязко преминават в кавтернерни чакъли и гравий от кварц, кварцит, гнейс, пясъчник, много глиниести минерали и донесени от течението диорити и туфи в равнината.



Полиетилен, ултравиолетова светлина, въздушна среда, x45



Текстил, стиропор и плексиглас, асфалт, x45

Фиг. 6. Антропогенен микродетрит в седимента на река Драговищица

Данни от биологичния мониторинг

Балканска пъстърва *Salmo trutta*. Балканската пъстърва беше наблюдавана само на сръбска територия. Рибата лесно се разпознава по специфичната форма и начин на плуване. За това помогна и ниското ниво и мътност на водата през време на лятното маловодие. Рибата се наблюдава на пасажи от по няколко екземпляра 2-3 до около 10. Размерите са около 16-20 см. Наблюдава се в река Лисина – левият приток, образуващ река Драговищица на сръбска територия във всички наблюдавани пунктове, както и в самият Босилеград, където водата е замърсена с отпадни битови води. Най-много от този вид беше наблюдаван след село Райчиловци извън населените места. На българска територия не е наблюдавана, данните в Таблица 1 са по метода на интервю на местните рибари, които твърдят, че Балканска пъстърва има и са хващали 18 броя между селата Долно уйно и Горановци, но твърдят, че бракониерите, ловящи с незаконни средства като електрически устройства и с вилици на петромаксови лампи изобщо не са малко. Причините за малкото количество пъстърва на българска територия може да са различни, вкл. и измереното наличие на цианурова киселина в реката. Температурата, киселинността и всички останали измерени параметри са подходящи за развитие на балканската пъстърва. Този вид риба е основният био-индикатор за чиста вода в настоящия проект.

Дъгова пъстърва (американска) *Oncorhynchus mykiss* не е наблюдавана по цялото протежение на реката, въпреки, че по мнението на рибарите и местните хора има и такава. Ако

има наличие на такава, то тя се явява инвазивен вид за речната еко-система и трябва да се внимава с нейното развъждане, тъй като се храни с малките на останалите видове риби.

Македонска пъстърва *Salmo macedonica* беше наблюдавана само в река Лисина по няколко екземпляра от 2 до 5 с дължина около 15-18 см.

Черна мряна *Barbus peloponnesius*. Това е преобладаващият наблюдаван вид риба по време на мониторинга. Среща се и в сръбската и в българската част на реката, от 1 до около 20 екземпляра, от 10 до над 20 см дължина. Рибата по никакъв начин не може да се причисли като био-индикатор за чиста вода, тъй като е забелязвана предимно около замърсените места, в населените места, около сметищата и отходните канали.

Риба пръскачка *Alburnoides bipinnatus*. Наблюдава се в Сърбия и България, но прави впечатление, че е откривана далече от населените места и най-вероятно има същото местообитание като Балканската пъстърва.. Народното име е пръскачка, защото изпръска струя вода и така атакува насекомите по надвисналите клони във водата, които след това изяжда. Водни струйки се забелязват с дължина до около 1 м в по-тихите зони на реката. Тя често се среща на пасажи от 20 до повече от 100 броя с почти еднаква дължина, която варира от 1 см до 10 см. Начина на преброяване е брой на квадратен дециметър.

Лещанка *Phoxinus phoxinus* (?) Определена с несигурност, беше уловена от нашия екип, измерена и върната във водата. Не се разпознава във водата. ГКПП Олтоманци.

Речен кефал (клен) *Leuciscus cephalus*. Забелязан е в долното течение след село Драговищица, единични бройки с дължина до 20 см. По данни на рибарите в миналото се е срещал по-често, преди поставянето на устието на реката в бетонно корито със шлюзове.

Кротушка *Gobio spp.* Наблюдавана е в Босилеград и по данни от рибарите. Според рибари понякога се среща вписаната в Червената книга на България балканска кротушка *Romanogobio kesslerii*, но това не е потвърдено от настоящите изследвания.

Неопределена риба. В повечето пунктове бяха наблюдавани рибни пасажи или засечени от използваният рибен радар тип сонар. Рибите най-вероятно в повечето случаи са риба пръскачка и черна мряна. Установяват се както в населените места, така и извън тях. Размерите от 1 до 20 см. Установените малки риби са в големи пасажи.

Сива чапла *Ardea cinerea*. Вписана е в Червената книга на България. Нуждае се от голямо количество риба, което е добър индикатор за състоянието на речната екосистема. Считала се е за изчезнала по течението на река Драговищица. Наблюдаван е един екземпляр в района на село Рибарци в Сърбия. Възможно е същият екземпляр или друг да е наблюдаван в района на водохващането на село Драговищица. Местното население не е осведомено и я счита за сив щъркел.

Зоо- и фито-бентос, био-индикатор за чиста вода

Събрани са различни видове бентосни организми, но като индикатор за чисто води са определени следните: мамарци *Amphipoda*, сладководни скариди *Branchiopoda*, ларва на насекоми *Erhemeroptera larvae*, ларва на насекоми *Perla sp.*, ларви на *Trichoptera larvae*, зелено водорасло *Cbolorophyta*, кафяво водорасло *Pbaeophyta*.

Заключение

Река Драговищица отговаря на тип R3 планинска река, като изследваните показатели отговарят на нормите и констатираните присъствия на различни химични елементи са резултат от природните особености на района, с малки изключения за циануровата киселина и нитрати. С оглед на опитите да се възстанови популацията на Балканска пъстърва е необходимо да се обърне внимание на съдържанието на цианурова киселина във водата, поради чувствителността на тази риба към този вид замърсител. В сръбският отрязък от реката замърсяванията са предимно от отходните битови канали и нерегламентираното изхвърляне на битови отпадъци в коритото на реката в Босилеград и селата след него Рибарци, Райчиловци и Млекоминци. Поради бързотечащата вода, която за няколко часа се отводнява от началото на реката до българската граница този вид замърсители трудно се задържат и разлагат, а циануровата киселина е крайният им продукт на разпад. Разположеният близо до границата бент на ВЕЦ задържа водата и скоростта и е равна почти на 0 m/s. Мястото е открито и изложено на припек. Вероятно тук се създават условия за разлагане на битовите замърсители идващи от Сърбия и започва отделянето на инфильтрати, различни продукти на разпад, които изграждат състава на циануровата киселина. От този бент нататък този замърсител присъства постоянно в измерваните пробы с малки изключения. За увеличаването на съдържанието на

цианурова киселина в равнинната част на реката вероятно спомагат разположените многообразни ферми (особено животновъдни) с натрупани големи количества оборска тор и аграрно-преработвателни цехове по течението на реката, за някои от тях констатирахме изливане на отходни води в реката. Предполага се, че поради тази причина количеството на цианурова киселина се увеличава повече от 3 пъти над границата на чувствителност на Балканската пъстърва и речната скарида Брахиопода, основна храна на рибите. В този участък са установени и съдържанията на супфати в единични проби и нитрати близо до пределно допустимите концентрации определени от Нитратната Директива на ЕС.

Седимента на река Драговищица е чист с ниско съдържание на антропогенни макро и микро-отпадъци. Съдържанието на антропогенни микродетрити е под 1%, само на места около населените места и нерегламентирани сметища се увеличава леко. Най-големият замърсител от този вид е Босилеград, където за наблюдавани битови макро оптадъци, но микроотпадъците не са във висок процент и след завода за червена керамика в село Драговищица. Там отпадъците достигат в отделни точки до 100% в заливната тераса и до 10% в речното корито, а ореола на разпространение достига чак до влиянето и в река Струма. Този вид замърсител се предполага, че не вреди на околната среда, защото е химически устойчив, но структурата, която придава на речното дъно и неговият релеф е различна от природно-създадената.

По отношение на микробиологията, концентрацията на колиформи е много ниска и водата е с добро качество. На изхода от Сърбия и навлизането в България измереното количество на колиформи във водата на река Драговищица е с 50% повече отколкото при влиянето и в Струма, въпреки, че дължината на реката в България е по-голяма. Като източник на колиформи е определен Босилеград и селата след него. Основните био-индикатори зоо- и фитобентос показват, че състоянието на речната еко-система е стабилна и в добро състояние. Но най-важният био-индикатор Балканска пъстърва беше наблюдаван само в сръбската част на реката. В българският отрязък тази риба не е наблюдавана (Фиг. 3).

Литература:

1. Божков, В., Печинова, М., Найденов, Н., Янкова, Л., Стоименова, Н., Недялкова, В. 2011. „Подпомагане на дейността на Басейнова дирекция Западнобеломорски район - Благоевград по изготвяне на предварителна оценка на риска от наводнения, по методиката по чл.187, ал. 2, т.6 от закона за водите“, Доклад 1 окончателен. ДХИ България ЕООД, 157 с.
2. Чешмежиев, С., Маринов, М. (2008). Типология на водните екосистеми в България. Прилагане на Рамковата Директива за води водите 2000/60/ЕС. Сб. Доклади от Юбилейна научна конференция по екология, Пловдив, 1 ноември 2008, 371-383.
3. Загорчев, И., (1993). Обяснителна записка към геологична карта на България М1:100 000, карти листове К-34-058 Босилеград и Радомир. Комитет по геология и минерални ресурси, „Геология и геофизика“ АД, 76 с.
4. Матев, И., Ганева, Д., Ганев, Д. (2004). Екология. Изд. ПенСофт, София, 236 с.
5. Pettijohn, F. (1975). Sedimentary rocks. – Harper and Row, Baltimore 746 pp.
6. Pettijohn, F., P. Potter, R. Siever. (1972). Sand and Sandstone. – Springer, New York 618 pp.
7. Taylor, G.H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, K., Robert, P. (1998). *Organic petrology*. Berlin-Stuttgart, Gebrüder-Borntraeger; 704 pp.
8. Stach, E., Mackowsky, M., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., Teichmüller, R. (1982). *Stach's textbook of coal petrology*. Berlin-Stuttgart, Gebrüder-Borntraeger; 538pp.
9. Сотиров, А., Пищалов, Н., Малууд, Д., Йерусалимова, М., Савова, С., Везенкова Р., Ефимова, М., Велинов, Д., Кирилов, Д. (2015). Антропогенните микродетрити като фактор за съвременното седименто- и почвообразуване. Списание Екологично инженерство и опазване на околната среда, 3, 15-21.
10. Сотиров, А., Малууд, Д., Пищалов, Н., Везенкова, Р., Йерусалимова, М., Станчев, Л., Расулски, Т., Савова, С. (2014). Влияние на някои притоци върху замърсяването на река Струма. Списание Екологично инженерство и опазване на околната среда, 3-4, 25-32.
11. Сотиров, А., Малууд, Д., Пищалов, Н., Везенкова, Р., Станчев, Л., Расулски, Т., Савова, С. (2014). Сравнение на данните за екологичен мониторинг на река Новоселска и река Банщица, кюстендилско. Сборник доклади на Годишна университетска научна конференция, Велико Търново, България, юли 2014
12. Сотиров, А. (2013). Радиологичен контрол на град Кюстендил. Сборник доклади на Годишна университетска научна конференция 27-28 юни, Велико Търново, 91-97.
13. Сотиров, А., Йерусалимова, М., Везенкова, Р., Савова, С., Станчев, Л., Расулски, Т. (2013). Екологичен мониторинг на река Банщица-2 част. Списание Екологично инженерство и опазване на околната среда, 3-4, 34-42.
14. Сотиров, А., Йерусалимова, М., Везенкова, Р., Савова, С., Станчев, Л., Расулски, Т. (2013). Качество на водата на река Новоселска, предназначена за бъдещият язовир Кюстендил. Втора научна конференция по екология (SACE), Пловдив, България, ноември 2013.
15. Сотиров, А. Везенкова, Р., Расулски, Т., Станчев, Л., Савова, С. (2013). Сравнение на

данныте за екологичен мониторинг на река Банщица и река Новоселска. Сборник материали на Природен резерват "Сребърна", 6-15.

16. Сотиров, А., Везенкова, Р., Пищалов, Н., Савова С., Станчев, Л., Расулски, Т. (2013). Екологичен мониторинг на околната среда в град Кюстендил. Списание Екологично инженерство и опазване на околната среда, кн. 1, 19-28.
17. Сотиров, А., Везенкова, Р., Савова, С., Станчев, Л., Расулски, Т. (2013). Екологичен мониторинг на река Новоселска, Кюстендилско. XII Национална конференция по химия за студенти и докторанти, СУ "Св. Климент Охридски", София, България, май, 2013.
18. Сотиров, А., Пищалов, Н., Везенкова. Р., Симеонов, В., Пасков, С., Йорданов, С. (2008). Екологичен мониторинг на река Банщица, град Кюстендил. Сборник доклади Годишна конференция на БГД "Геонауки 2008", 137-138.
19. Sotirov, A., Malwood, D., Pistalov, N., Vezhenkova, R., Rasulski, T., Stanchev, L. (2014). Environmental problems of town Kyustendil, Bulgaria. Proceedings University Annual Scientific Conference, Veliko Turnovo, Bulgaria, July 2014.
20. Sotirov, A. (2014). Environmental monitoring of town Kyustendil Bulgaria. E3 Journal of Environmental Research and Management, Vol. 5(2). pp. 019-041.
21. Dimitrov, K., Peychev, A., Radenkov, K., Sotirov, A., Gaberov, V., Deyanovski, K., Bozinovski, Z. and Yakimovska, D. (2004). Environmental monitoring of the lead-zinc mining fields in the Bulgarian and Macedonian part of Osogovo Mountain. Proceedings Annual Scientific Conference of the Bulgarian Geological Society "Geology 2004", 9-11.
22. Huthmacher, K., Most, D. (2005). "Cyanuric Acid and Cyanuric Chloride". Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry", Wiley-VCH, Weinheim. doi 10.1002/14356007.a08 191.
23. World Health Organization., Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. (2004). U.S. Food and Drug Administration, "Interim Melamine and Analogues Safety/Risk Assessment; Availability", Federal Register: May 30, 2007 (Volume 72,Number103).

INFLUENCE OF RIVER WATER CONTAMINATION ON DISTRIBUTION OF FISH SPECIES

Anton Sotirov¹, Siana Savova², Svetoslav Yordanov³, Ralitsa Taseva³, Lusia Kulkina³,
Mihaela Yerusalimova⁴, Rositsa Vezenkova⁵, Daniel Velinov⁵,
Denislav Kirilov⁵, Melani Eftimova⁵

¹*Bulgaria Economic Forum, Sofia*

²*Techical University, Varna*

³*Sofia University "St. Kliment Ohridski", Sofia*

⁴*Institute of Solid State Physics, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia*

⁵*Gymnasium of Natural and Mathematical Sciences "Prof. Emanuil Ivanov, Kyustendil"*

e-mail: sotirov_anton@hotmail.com

Key words: environmental monitoring, water contamination, fish species

Резюме: В резултат на това обширно изследване, главният извод, който е направен е, че най-разпространеният замърсител на реките в изучения транс-границен регион между 4 европейски страни България, Сърбия, Македония и Гърция са нерегламентираните сметища за битови отпадъци и битовите и отходни канали, резултат от жизненият процес на местното население без да се спазват законите на националното и европейско законодателство. Едновременно с това местните власти прилагат лошо управление на отпадъците. Вторият голям източник на замърсяване са фермите и строителните дейности. Изплзването на изкуствени и естествени торове над долупстимите норми и изхвърлянето на отходни води от животновъдството, както и строителните дейности, голяма част от които битови замърсяват водата и почвите в района, който не е добре развит в индустриално отношение. Установи се, че рибните видове се влияят от замърсяването на водата. Като био-индикатор е използван вида Балканска пъстърва (*Salmo trutta fario*), която се влияе от концентрациите на цианурова киселина във водата, а такива съдържания се установиха в реките Бистрица и Новоселска, а водата на река Банница е замърсена освен от битови отпадъци и отходни канали, също и от изливаща се в нея минерална вода. Проектът е финансиран от три програми: Проект "Екологичен мониторинг на река Драговищица" по Програми BG02 и BG03 по Финансовия механизъм на Европейското икономическо пространство с бенефициент Сдружение "Български икономически форум" и програмен оператор Министерство на околната среда и водите, Проект "Учи-БАН" на Българска академия на науките и Проект "Европейско състезание за млади учени EUCYS 2015" на Министерство на образованието и науката.

General Information

Studied area is situated in South-West Bulgaria, near mountain Osogovo (Fig.1). It is located in the Central part of the Balkan Peninsula (South Europe) near town of Kyustendil with average altitude of 512 m. The climate of the town is transitional Continental to Mediterranean. Rainfalls are not very intensive with an annual rate of about 589 mm. They are almost equal distributed over the seasons. Snow falls from November to March and the average thickness of snow is 30 cm with duration about 15 days. However, the area has many water sources: rivers, springs, lakes, mineral and ground water [1].

The biggest river in the area is the Struma River. The Struma River springs from 2246 m above sea level, closely to the peak Cherni Vruh (2290 m) of the Vitosha Mountain, Bulgaria. The length of the river is 415 km from which 290 km are situated in Bulgaria and the rest 125 km are situated in Greece, where the river flows into the Mediterranean Sea (Fig.1). By this way it might appear as a cross-border pollutant. On the territory of Kyustendil Municipality, the river has four big feeders: Dragovishtitsa River, Bistritsa River, Novoselska River, and Banshtitsa River. Dragovishtitsa River which length is 70 km is a right tributary to the Struma River and flows through Southeastern Serbia (45 km) and Western Bulgaria (25 km). Bistritsa River has 51 km length. Banshtitsa River is 22 km long, and Novoselska River is 25 km long. All four feeders spring at the cross-border area between Bulgaria and neighbor countries Serbia and FYR Macedonia. Information about the topic is published only by our research team [1,2,3,4,5,6,7,8].



Fig. 1. Location of the studied area, * place of sampling

The most widespread fish species in all 5 of the studied rivers are: *Leuciscus cephalus*, *Barbus barbus*, but most important as an environmental bio-indicator is *Salmo trutta fario* (Brown trout). This species is under special fishing regime by the Bulgarian Government. It is sensitive to some parameters of the environment such as dissolved oxygen, temperature and most important it is sensitive to presence of Cyanuric acid (CYS) in the water. Cyanuric acid is a product of decomposition of the domestic waste in the illegal landfills along the rivers, which are the main source of contamination observed in the studied area. It is considered that this fish species disappears when the concentration of the Cyanuric acid becomes more than 8 mg/l. Other bio-indicator for this parameter is the fresh water shrimp *Branchiopoda*, which we also studied.

All territory is a part of the European Green Belt. Total 37 248 hectares from the territory of municipality Kyustendil are included in the protected area NATURE 2000.

Fish *Salmo trutta fario* (Brown trout) is under protection and under special fishing and breeding regime.

Methods and Materials

General aim of the project is to underline the importance of the environmental monitoring for achieving preservation of the natural resources for future generations, including water, soil, air, forests, fish, agricultural lands, and etc.

Specific aim of the project is to obtain information about the quality and possible contamination of the water, sediments and soils along the cross-border Struma River and some of its feeders and influence of the water contamination on the distribution of the river fish species. Study is necessary, because the biggest river in the area and its 4 flows cross large cross-border area between 4 European countries. Area has about 100% agricultural and fishing mean for the livelihood. Water of the studied rivers is used mainly for irrigation, farming, drink water, fishing, and food industry.

Project is financed by three programs: Project "environmental Monitoring of Dragovishtitsa River" on Program BG02 и BG03 of the Financial Mechanism of European Economic Area with Program Operator Ministry of Environment and Water, Project "Student Institute of BAS" of Bulgarian Academy of Sciences, and Project "European Competition for young scientists-EUCYS 2015" of the Ministry of Education and Sciences of Republic of Bulgaria.

The study is performed along the length of the feeders and along Struma River at the places of the penetrating of her feeders: Dragovishtitsa River, Banshtitsa River, Bistritsa River, and Novoselska River. The research is done in order to gather perennial data about the condition of the Struma River and to prepare a database for comparison for future studies. The data will be used to obtain valuable information about the agricultural and fishing value of the river at the time of the study.

Methods are selected in accordance to the Bulgarian National System for monitoring the environment which supports database at national and regional level. National System for Environmental Monitoring performs constant reviews in many static and mobile stations. It is coordinated with the EU environmental regulations.

The present study includes measurements of basic physical and chemical parameters of the water of Dragovishtitsa River, Novoselska River, Banshtitsa River, Bistritsa River, and the Struma River. Samples were taken and measurements were made at intervals of about 300 meters along the rivers and at the point of their penetration into the Struma River. Points of measurement are situated

at the confluence places and before and after them also. Investigation of fish passages – bio-monitoring was done using radar (sonar) for fish passages. Fish species are determined by method of interview of the fishermen.

Radiation of the water and the common radiation background were measured with a Geiger counter "Radex" RD1503.

Measurements were performed also with an instrument "Hanna" HI9813-6, which measures the acidity of the water (pH), water temperature (t , $^{\circ}\text{C}$), electrical conductivity (EC, μS), total dissolved solids (TDS, ppm).

Another device used for testing the water in the river is spectrophotometer (colorimeter) "Lovibond". With the help of this tool are identified: free, total and combined chlorine Cl, acidity pH, cyanuric acid CYS, total alkalinity CaCO_3 , free, total and combined copper Cu and iron Fe.

It is also used binocular (stereo) microscope USB "CETI" (STAR-24ED) with a computer program "Globecam-D" and digital microscope USB 2.0 DigiScope with white and fluorescent (blue) light in order to study the micro-detritus in the sediment of the river.

Nitrate and nitrite content in the water are measured by using test strips with a range of 0-10-25-50-100-250-500 mg/l. The team will continue environmental measurements in the future to determine the seasonal variation of the parameters of the water, as well as taking steps and decisions in case of the event of established dangerous levels of pollution.

For bio-monitoring we used portable sonar (radar) for fish passages "Fish Finder" with monochromatic LCD screen, one-ray, frequency 200 kHz, maximum depth 100 m, picture of bottom relief.

The applied method of measurement is "on spot" ("in-situ"), on terrain, throughout direct sampling ("grab samples"), because the advantages of this method are high accuracy and correctness of the research. Digital (electronic) devices are used for the accomplishment of the study because of their ability to quickly, easily and accurately measure the parameters on terrain.

Results

The air temperature during the measurement varied from 14°C to 18°C . The Struma River before the confluence of its inflows is relatively clean. The acidity of the water is almost neutral with a pH=7.69. Water of Dragovishtitsa River has pH=7.40, with presence of Cu (0.16 mg/l) and Fe (0.05 mg/l). All other measured parameters are in normal rates. Because of the clean water in this river the fish species Brown trout (*Salmo trutta fario*) is widely spread. At the point of confluence in Struma River parameters do not change significantly. At the confluence of Banshtitsa River the acidity does not change significantly, but at the confluence of Bistritsa River the acidity becomes strong alkaline pH = 8.26, which means that Bistrtsa River is contaminated probably with washing chemicals from the households. Evidence for this contamination is the high foaming at the point of confluence of the two rivers. Canals for domestic waste water are observed. The electrical conductivity is relatively high EC = 3.25-4.20 μS , which means that the water is saturated with electrolytes. The mineral content is relatively high, probably because of the drying up of the rivers during summer period. This parameter is almost constant along the river and does not effect by the observed sources of contamination as canals and landfills. Water of Novoselska River has high content of Cyanuric Acid CYS (16 mg/l). (Fig. 2) (Table 1). There are no fish species observed. Fishermen also were not observed in the Banshtitsa, Bistrtsa and Novoselska Rivers.

The amount of total dissolved solids TDS is within the normal range, with low concentrations of dissolved solids ranging from 50 to 169 (ppm). This shows low level of sodium carbonate, sodium bicarbonate and sodium chloride contamination. Only traces from nitrates and nitrites are established (according EU Nitrate Directive), probably nitrogen fertilizers are not used this season (autumn). There is presence of total, free and combined chlorine (Cl), but in low concentrations from 0 to 0.08 mg/l.

Particular attention should be paid to cyanuric acid CYS, which is in quantities of 0 to 16 mg/l. There is increased content before the feeders and in the confluence of the Bistrtsa River and Banshtitsa River. This pollutant is established at place of the illegal landfills and after them along all studied rivers. Cyanuric acid CYS is a product of the chemical industry and is contained in detergents, disinfectants, adhesives and others. This water is not suitable for direct consummation and livestock watering, also the irrigation of agricultural areas may be a problem. The water has high total alkalinity (hardness CaCO_3). The content of calcium carbonate (Total Alkalinity) ranges from 111 to 250 mg/l and it is higher around the illegal landfills with building waste - lime, concrete, cement, ceramics.

The amount of free, combined and total copper Cu is not high, but systematic irrigation of agricultural areas may enrich the soil with copper and exceed the limit values for soils under Bulgarian State Gazette, No54/1997. According to this Gazette, for low acidic and neutral soils, Cu must be under 250-260 mg / kg, but for acidic soils – must be much lower. Free copper in the studied water

varies between 0 and 0.8 mg/l, total copper from 0.19 to 0.46 mg/l and combined copper is from 0 to 0.46 mg/l.

Free Iron (Fe) is in low concentrations from 0 to 0.05 mg/l, again it is higher before the inflows and in the places of confluence.

Radioactivity of the water, sediments and the common radiation background are normal and fluctuate around 0,16-0,20 $\mu\text{Sv/h}$.

River sediments and alluvial soils are contaminated with various anthropogenic micro-detritus (microscopic fragments by human waste) as polyethylene (10%), plastics (5%), textile (10%), ceramics (7%), metals (4%), building materials (15%), glass (7%), coal, ash, rubber, paper, styropor (1% each), and others.

Discussion

Dragovishtitsa River is not contaminated. Water is relatively clean and because of this reason the fish species *Salmo trutta fario* is widely spread. There are also *Leuciscus cephalus*, *Barbus barbus* and some other fish species. Fresh water shrimp *Branchiopoda* is widely spread also, which is the main food for the fishes. The overall anthropogenic pollution of the river is low which results in a wider biodiversity.

Novoselska River is contaminated with Cyanuric acid, copper and high alkalinity around the illegal dumpsites. No fish species in the river. *Branchiopoda* disappears around the illegal landfills.

Banshtitsa River was contaminated with almost all studied parameters, but after our publication and letters to the Government it had been cleaned and now it is relatively pure with high hardness (CaCO_3) and salinity, which could be explained with the drought of the river in the end of the summer season. Biological species *Branchiopoda* disappears at places of illegal landfills at about 300 m after them. No fish species present in the river. The temperature of the water of Banshtitsa River is abnormally high because of the high amount of hot mineral water which inflows artificially into the river. It was localized near the town's swimming pool.

Bistritsa River is contaminated with washing chemicals from the villages and farms where it passes through and as a result has high alkalinity. Because of this reason foaming was observed at her confluence into the Struma River. No fish species observed into this river.

Struma River and its feeding inflows have increased conductivity (high salt/mineral content) which probably is a natural process because of the low level of rivers their salinity is increased. Electro-conductivity parameter is almost constant for each river in different measurement points. It does not help to be localized any source of contamination. The disinfectants and the detergents in Struma River have high concentrations, above 8 mg/l. Probably, because of this reason the fish species *Salmo trutta fario* is rare in this river.

Total alkalinity is high, which might be explained with the low level of rivers and the fact that it passes through carbonate rocks and dumping of construction waste at the illegal landfills along the rivers. Carbonate content increases at places of dumping of domestic and building wastes.

The water of Banshtitsa, Dragovishtitsa and Novoselska rivers contains copper and should be taken into consideration for systematic irrigation of agricultural lands and cattle-breeding. Cu presence is established around the illegal landfills, where local population dumps illegally domestic waste. One part of the Cu in the water has probably natural origin.

Table 1. Measured parameters of the water of Struma River and its feeding streams

Description	Ponit of Measurement	pH	EC, μS	TDS, ppm	t, °C air	t, °C water	NO3, mg/l	NO2, mg/l	free Cl, mg/l
Struma River before the streams	1	7.69	3.50	150	18	11	2.5	5	0.08
Bistritsa River	2	8.26	3.60	75	18	11	0	0	0
River Struma before flowing of the Bistritsa River	3	7.15	4.20	79	14	11	2.5	5	0.08

Banshtitsa River	4	7.34	3.34	169	15	12.5	0	0	0
Struma River after flowing of Banshtitsa River	5	7.79	3.25	80	16	11	0	0	0.39
Novoselska River	6	7.55	3.20	120	16	11	2.5	5	0.12
Dragovishtitsa River	7	7.40	3.48	92	18	12	0	0	0

Description	Ponit of Measurement	total Cl, mg/l	Combi-ned Cl, mg/l	Cianuric acid CYС mg/l	Total alkalinity CaCO ₃ , mg/l	free Cu, mg/l	total Cu, mg/l	combined Cu, mg/l	Iron Fe, mg/l	radiation background μSv/h	radiaiton water, μSv/h
Struma River before the streams	1	0.07	0	7	250	0.10	0.37	0.27	0.04	0.20	0.28
Bistritsa River	2	0	0	12	198	0.80	0.27	0	0	0.16	0.20
River Struma before flowing of the Bistritsa River	3	0.15	0.07	0	250	0.27	0.28	0.01	0	0.20	0.22
Banshtitsa River	4	0	0	5	155	0.13	0.19	0.06	0.04	0.18	0.20
Struma River after flowing of Banshtitsa River	5	0	0	0	197	0.00	0.46	0.46	0	0.16	0.20
Novoselska River	6	0.10	0	16	160	0.18	0.32	0.14	0.12	0.20	0.20
Dragovishtitsa River	7	0	0	0	111	0	0.16	0.16	0.05	0.16	0.16

The river sediments contain copper minerals as virgin copper, chalcopyrite, malachite [9].

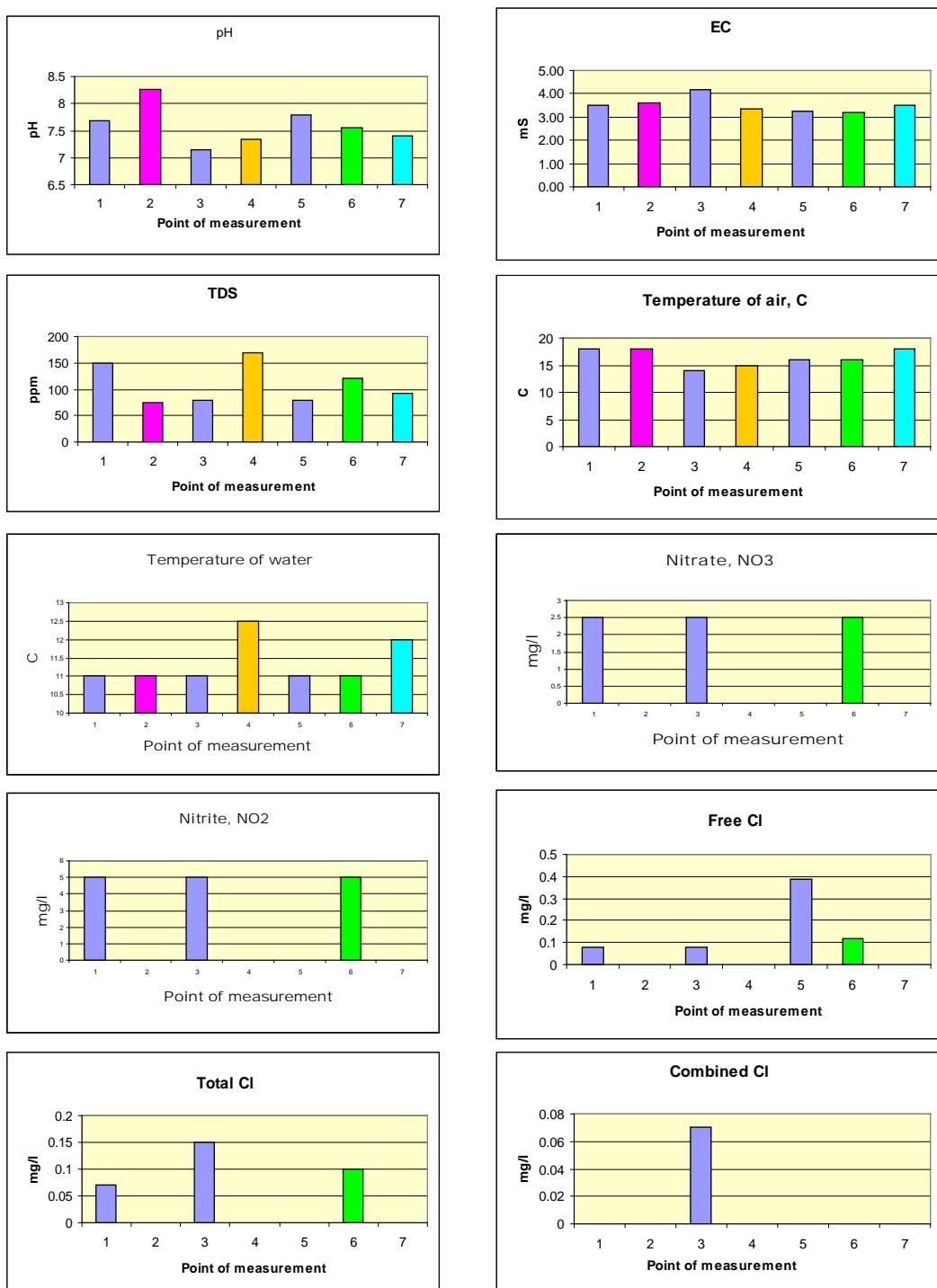
Anthropogenic micro-detritus is widely spread in the sediments and soils and measures for this contamination must be taken. Such as localization, more strict regulations of illegal dumpsites and cleaning of river beds and shores.

Quality of the water and soils along the studied rivers influence directly on the quality of the crops, livestock, produced food, and fish species. For example as a results of abuse of nitrogen fertilizers traces of nitrates and nitrites have been established in different vegetables tomatoes and

cucumbers of local producers. The bio-indicator fish species *Salmo trutta fario* disappears in places with high concentration of Cyanuric acid.

Through using of microscope with fluorescence (blue) light it was established polyethylene micro-detritus in soils, sediments, but also additional investigations established microplastics in nylon-packaged food as cheese, yellow-cheese, sausages, and in dog and birth excrements.

Polyethylene fragments may become a part of the food chain and might cause strangling of the animals, occlusion of the digestive tract, trauma of the internal organs, necrotic and inflammation of the intestines, intoxication of man and animals. Presence of the anthropogenic micro-detritus might become poor the soil and might change the soils structure. Pure plastics have low toxicity due to their insolubility in water and because they are biochemically inert, due to large molecular weight. Plastic products contain a variety of additives, some of which can be toxic. For example, plasticizers like adipates and phthalates are often added to brittle plastics like polyvinyl chloride in order to make them pliable enough for usage in food packaging [10].



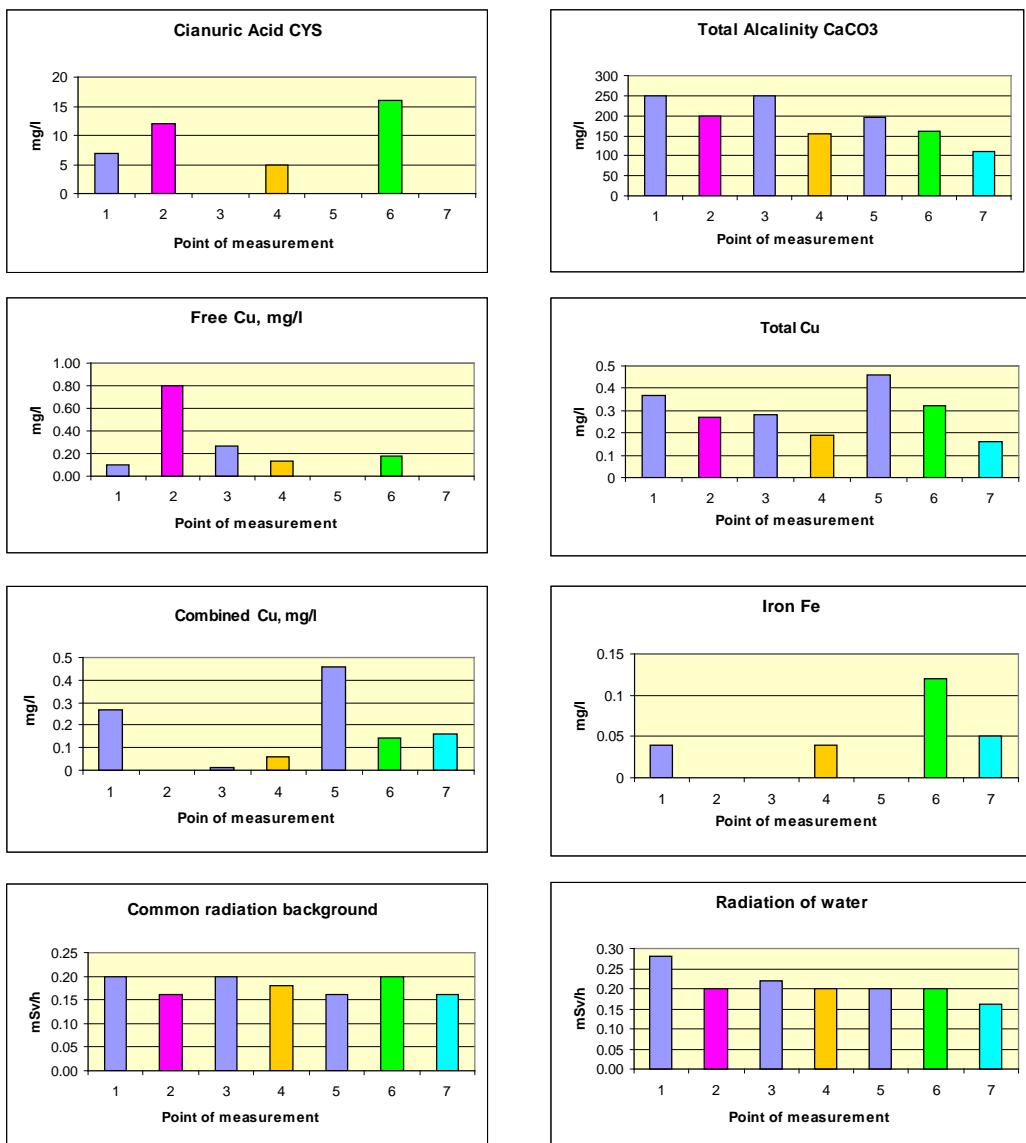


Fig. 2. Diagrams of the measured parameters of the water of Struma River and its feeders

Conclusions

As a result of this vast investigation, the main conclusion done is: the most widespread sources of contamination in the studied cross-border Euro-region between 4 European countries (Bulgaria, Serbia, FYR Macedonia, and Greece) are the illegal landfills, dumping waste and household waste water canals, result of the living process of the local population without respect to any National and EU legislation. Equal to this harm is the bad work of municipal and governmental authorities about waste management of the area. Second source of contamination is farming and construction activities. Using of fertilizers is widespread in the area during spring and summer period. Farming and construction waste dumped illegally in river beds also contaminates the water and soils in the area. Region is not industrial developed and industry is not the main pollutant of the area.

It is established that population of the fish species closely relates to contamination of the water. Contaminated rivers do not have any fish species. Feeding streams bring contamination into Struma River and decrease population of some fish species as Brown trout fish (*Salmo trutta fario*). This species disappears in water contaminated with Cyanuric acid CYS (Novoselska and Bistritsa Rivers) or in water contaminated with thermal mineral water (Banshtitsa River).

References:

1. Ivanchev, E. Kyustendil. "James Kraikov", 1996, 98 pp. (In Bulgarian)
2. Sotirov, A., Malwood, D., Pistalov, N., Vezenkova, R., Yerusalimova, M., Stanchev, L., Rasulski, T., Savova, S. Anthropogenic micro-detritus as a factor for co-temporary soil and sediment forming. Journal of Ecological Engineering and Environmental Protection, 2015, 3, 15-21.
3. Sotirov, A., Malwood, D., Pistalov, N., Vezenkova, R., Yerusalimova, M., Stanchev, L., Rasulski, T., Savova, S. Influence of some feeders on contamination of Struma River. Journal of Ecological Engineering and Environmental Protection, 2014, 3-4, 25-32.
4. Sotirov, A., Malwood, D., Pistalov, N., Vezenkova, R., Stanchev, L., Rasulski, T., Savova, S. Comparison of the data for environmental monitoring of River Novoselska and River Banshtitsa, region Kustendil, Bulgaria. Proceedings University Annual Scientific Conference, Veliko Turnovo, Bulgaria, July 2014.
5. Sotirov, A., Vezenkova, R., Yerusalimova, M., Savova, S., Stanchev, L., Rasulski, T. Quality of the water of Novoselska River, intended of the future reservoir Kyustendil. Second scientific conference of ecology (SACE), Plovdiv, Bulgaria, November 2013.
6. Sotirov, A., Yerusalimova, M., Vezenkova, R., Savova, S., Stanchev, L., Rasulski, T. Environmental monitoring of Banshtitsa River – part 2. Journal of Ecological Engineering and Environmental Protection, 2013, 3-4, 34-42. (in Bulgarian)
7. Sotirov, A., Vezenkova, R., Pistalov, N., Savova, S., Stanchev, L., Rasulski, T. Environmental monitoring of town Kyustendil. Journal of Ecological Engineering and Environmental Protection, 2013, 1, 19-28. (in Bulgarian)
8. Sotirov, A., Vezenkova, R., Savova, S., Stanchev, L., Rasulski, T. (2013). Environmental monitoring of Novoselska River, Kyustendil region. XII National conference of Chemistry for students, Sofia University "St. Kliment Ohridski", Sofia, Bulgaria, May, 2013.
9. Vitov, O., Sotirov, A. Mineral content of the sands from rivers in Kyustendil region with ecological risks for the quality of the soils, water and building materials. Journal of Ecological Engineering and Environmental Protection, 2014, 3-4, 86-93. (in Bulgarian)
10. Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S. The physical impacts of microplastics on marine organism: A review. Journal of Environmental Pollution, Elsevier, 2013, 178, 483-492.

SWOT-АНАЛИЗ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА МЕТОДИКА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗЕМНО-НАСИПНИ МИКРОЯЗОВИРНИ СТЕНИ ЧРЕЗ ГЕОРАДАР

Ралица Берберова¹, Биляна Костова², Ваня Хаджиева³, Георги Петров⁴

^{1,2}Нов български университет – департамент „Природни науки“

³Нов български университет – департамент „Бизнесадминистрация“

⁴Нов български университет – департамент „Телекомуникации“

e-mail: rberberova@nbu.bg; bkostova@nbu.bg

Ключови думи: SWOT-анализ, георадарен метод, язовирни стени от земно-насипен тип

Резюме: Цел на работата е да се представи SWOT-анализ на експериментална методика за изследване на земно-насипни микроязовирни стени чрез георадарен метод (Ground Penetration Radar System - GPRS). Разработената методология е базирана на наши по-ранни изследвания върху микроязовирни стени от земно-насипен тип в България – Маломирски (община Върбица), Блатница (община Стрелча), Смилец 2 (община Стрелча). В резултат от проведените изследвания са направени изводи относно предимствата в приложението на георадарния метод при изследване на земно-насипни съоръжения в сравнение с класическите методи на изследване на такива обекти. Въпреки констатираните недостатъци на георадарния метод, при неговото правилно и регулярно използване е възможно да се осъществява мониторинг на земно-насипни язовирни стени.

SWOT ANALYSIS OF RESEARCH EXPERIMENTAL METHODOLOGY OF EMBANKMENT DAMS USING GPRS METHOD

Ralitza Berberova¹, Bilyana Kostova², Vania Hadjieva³, Georgi Petrov⁴

^{1,2}New Bulgarian University – Natural Sciences Department

³New Bulgarian University – Business Administration Department

⁴New Bulgarian University – Telecommunications Department

e-mail: rberberova@nbu.bg; bkostova@nbu.bg

Keywords: SWOT analysis, GPRS method, embankment dams

Abstract: The aim of this paper is to present a SWOT-analysis of research experimental methodology of embankment dams using GPRS method (Ground Penetration Radar System - GPRS). The methodology was developed based on our previous investigations of embankment dams in Bulgaria, namely Malomirski dam (Varbitsa municipality), Blatnitsa dam (Streltcha municipality) as well as Smilets-2 (Streltcha municipality). As a result from our work we made conclusions concerning advantage of using GPRS method in comparison to classical methods for investigation of embankment dams. Regardless of some disadvantages of GPRS method, his proper and regular use is a very good possibility to monitoring the embankment dams.

Въведение

Станалите в последните години в страната ни наводнения и създалите се кризисни събития след тях следствие на нарушения в изправността на микроязовирни стени от земно-насипен тип доведоха до сериозни социални и икономически последици [1, 2].

Стандартните изследвания за състоянието на микроязовирните стени обхващат класически инженерно-геоложки и хидрогеоложки методи [3]. Чрез тях се получава информация за вида на скалите, използвани за изграждане на земно-насипните съоръжения (микроязовирни стени), дебелината на отделните слоеве скали, тяхната водопропускливост, наличието на пукнатини и структурни нарушения в тях. Изследванията се извършват чрез вземане на пробы от повърхността и дълбочина (чрез сондажи) и последващото им лабораторно изследване и изпитване. Те са трудоемки, изискват голям брой висококвалифицирани специалисти, време и финансови средства.

В сравнение с класическите методи приложението на георадарния метод има своите предимства в изследването на земно-насипни съоръжения като микроязовирни стени [4-11].

Целта на настоящата работа е да се представи SWOT-анализ на по-рано разработена от нас експериментална методика за изследване на земно-насипни микроязовирни стени чрез георадарен метод (Ground Penetration Radar System - GPRS) [11].

Обект

Обектът на изследване е експериментална методика за изследване на земно-насипни микроязовирни стени чрез георадарен метод (Ground Penetration Radar System - GPRS). Разработената методология е базирана на наши по-ранни изследвания върху микроязовирни стени от земно-насипен тип в България – Маломирски (община Върбица), Блатница (община Стрелча), Смилец 2 (община Стрелча) [6-11].

Метод

SWOT-анализът се използва за оценката на силните и слабите страни на експерименталната методика. Анализът на силните и слабите страни разглежда приложението на методиката, докато анализът на възможностите и заплахите разглежда външните фактори, оказващи влияние върху нейното приложение. Този метод ни дава възможност да оценим приложението на георадарния метод за мониторинг на земно-насипни микроязовирни стени.

Прилагайки техниката на SWOT-анализа се цели:

- ✓ оптимално използване на предимствата;
- ✓ минимиране на ефекта от недостатъците;
- ✓ максимиране на потенциалните възможности;
- ✓ неутрализиране на заплахите на средата.

Резултати и дискусия

Резултатите от проведения SWOT-анализ са представени в Таблица 1.

Таблица 1. SWOT-анализ на експерименталната методика за изследване на земно-насипни микроязовирни стени чрез георадар

Силни страни	Слаби страни
<ul style="list-style-type: none">✓ съвременен недеструктивен и екологосъобразен метод за изследване;✓ данните от радарното изследване се визуализират на момента;✓ радарграммите дават информация за земно-насипното съоръжение в целия му обем, а не отделни негови точки или участъци;✓ радарграммите предоставят достатъчно качествена първоначална информация относно наличието в дълбочина на материали с различни физични свойства;✓ съхраняване на получените резултати в цифров вид и тяхното подлагане на допълнителна последваща обработка;✓ натрупване на бази данни за състоянието на земно-насипни съоръжения с възможност за актуализация.	<ul style="list-style-type: none">✓ зависимост от метеорологични условия и условията на средата за провеждане на изследвания;✓ в отделни случаи е налице необходимост от провеждане на допълнителни изследвания с класически методи за определяне на видовете скали и техните конкретни физико-механични свойства, данни необходими за решаване на проблема.
Възможности	Заплахи
<ul style="list-style-type: none">✓ георадарното изследване дава достатъчно надеждна първоначална информация за установяване на фактическото състояние на земно-насипните съоръжения;✓ осъществява мониторинг на земно-насипни язовирни стени в тяхната цялост;✓ минимизации на разходите, в сравнение с класическите подходи за подобен вид изследвания.	<ul style="list-style-type: none">✓ липса на финансов ресурс за провеждането на регулярен мониторинг;✓ наложена практика за прилагане на класическите методи на изследване;✓ неблагоприятни метеорологични условия и условия на средата;✓ липса на компетентни и квалифицирани кадри;✓ непопулярност на метода.

Въз основа на очертаните четири елемента на анализа може да се обобщи, че експерименталната методика е приложима в реална среда и дава достатъчно качествена информация относно целостта на съоръженията. При налична апаратура, добра организация и

кадрови и финансов ресурс е възможно регулярно провеждане на мониторинг на земно-насипни микроязовирни стени в страната ни.

Към момента няма данни за проследяване на състоянието на микроязовирни стени от земно-насипен тип чрез георадар, което се дължи основно на липса на достатъчен брой апарати (GPRS) и подгответи кадри за работа с тази апаратура и последваща обработка и интерпретация на данните.

По отношение на практиката в България са налице няколко заплахи:

- ✓ липса на финансов ресурс за регулярен мониторинг. В национален мащаб да се утвърди практиката на превенция, а не последващо отстраняване на последствията от природните бедствия;
- ✓ наложена практика за прилагане на класическите методи на изследване. Да се организират разяснителни кампании с представители на централната и местна власт (както и всички други потенциални ползватели), които да се запознаят с предимствата и резултатите от прилагането на георадарното проучване;
- ✓ неблагоприятни метеорологични условия и условия на средата. При регулярен мониторинг, могат да се планират полевите действия, така че климатичните условия да оказват минимално въздействие;
- ✓ липса на кадри. Стартиране на обучителни програми за сформиране на експертни групи, които по места да проследяват процесите в динамика.

Заключение

Въз основа на направения SWOT-анализ може да се направи извода, че експерименталната методика дава положителни резултати и може да бъде приложена за осъществяване на мониторинг на земно-насипни язовирни стени в страната ни.

Благодарности

Авторите благодарят на УПИЗ „Лаборатория по природни бедствия и рискове“ към Бакалавърски факултет и департамент „Природни науки“ на Нов български университет и на ФНИ към МОН по първи етап (договор ДФНИ-М01/9/22.11.2012 г.).

Литература:

1. Берберова, Р., Анализ на статистически данни за наводнения в Р. България, Сборник с доклади от IX научна конференция с международно участие SES'2013, София, България, 20-22 Ноември, 2013, 424-428
2. Берберова, Р., Г. Петров, Л. Ласков, Мониторинг и превенция от екологични бедствия чрез изследване на земно-насипни съоръжения на речни крайбрежия и микроязовирни чрез георадар, Сборник с доклади Научна конференция с международно участие "Космос, екология, нанотехнологии, сигурност" SENS'2012, София, България, 4-6 Декември, 2012, 413-419
3. Тошев, Д., Т. Чолаков, О. Тодоров, Н. Лисев, Състояние на малките язовирни в Р. България, Сп. Водно дело, 5-6, 2012, 2-8
4. Петров, Г., Р. Берберова, В. Карлова-Сергиеva, Приложение на георадарен метод при обследване на земно-насипни язовирни стени, Сборник доклади XXIII Национален научен симпозиум с международно участие „Метрология и метрологично осигуряване 2013“ - ТУ-София, Созопол, България, 9-13 Септември, 2013, 75-80
5. Petrov, G., V. Karlova-Sergieva, R. Berberova, Software tools for georadar data. Processing and visualization, Proceedings of Technical University Of Sofia. Vol. 63, 4, 2013, 51-60
6. Берберова, Р., Б. Костова, Състояние на микроязовирна стена на язовир Смилец, община Стрелча, Сборник с доклади от 14-та Международна конференция ВСУ'2014, София, България, 5-6 Юни, 2014, IV, 349-354
7. Костова, Б., Р. Берберова, Състояние на микроязовирна стена на язовир Блатница, община Стрелча, Сборник с доклади от IX научна конференция с международно участие SES'2013, София, България, 20-22 Ноември, 2013, 429-433
8. Петров, Г., Р. Берберова, Методи за цифрова сигнална обработка в компютърно подпомагания анализ на радарграми от земно-насипни съоръжения, Сборник с доклади от IX научна конференция с международно участие SES'2013, София, България, 20-22 Ноември, 2013, 369-376
9. Берберова, Р., Б. Костова, Възможности за използване на георадар и пенетрометър за оценка на състоянието на микроязовирни стени от земно-насипен тип, Сборник с доклади от X научна конференция с международно участие SES'2014, София, България, 12-14 Ноември, 2014, Под печат
10. Хаджиева, В., Р. Берберова, Б. Костова, Остойностяване на георадарно изследване, Сборник с доклади от 15-та Международна конференция ВСУ'2015, София, България, 4-5 Юни, 2015, 267-270
11. Берберова, Р., Б. Костова, Г. Петров, Методология за изследване на микроязовирни стени от земно-насипен тип с GPRS, Сборник с доклади от 15-та Международна конференция ВСУ'2015, София, България, 4-5 Юни, 2015, 262-266

THE MEASUREMENT OF BENZEN, ETHYLBENZEN, TOLUENE AND XYLENE IN INDOOR AIR IN SCHOOLS IN KARDZHALI

Ekaterina Serafimova¹, Vilma Petkova^{2,3}, Bilyana Kostova²

¹Chemical Technology and Metallurgy - Sofia

²New Bulgarian University – Sofia

³Institute of Mineralogy and Crystallography "Acad. Iv. Kostov", BAS - Sofia
e-mail: ekaterina_sr@abv.bg

Keywords: BTEX, indoor air pollution, seasonality

Abstract: Concentrations of BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes) were monitored at schools in Kardzhali town in Bulgaria, during the July and October 2015. The concentrations of all species during the investigation period were below guideline value. Studies have shown that pollutants concentrations in indoor environments are always greater than in outdoor environments. Significant seasonal cycles with high values in winter and lower values in summer months could be modelled for indoor concentrations of BTEX. This is in accordance with findings with completely different climate and building characteristics

ИЗМЕРВАНЕ НА БЕНЗЕН, ЕТИЛБЕНЗЕН, ТОЛУЕН И КСИЛЕН ВЪВ ВЪТРЕШЕН ВЪЗДУХ В УЧИЛИЩА НА ТЕРИТОРИЯТА НА ГРАД КЪРДЖАЛИ

Екатерина Серафимова¹, Вилма Петкова^{2,3}, Биляна Костова²

¹Химикотехнологичен и металургичен университет-София

²Нов български университет-София

³Институт по минералогия и кристалография „Акад. Ив. Костов“, БАН-София
e-mail: ekaterina_sr@abv.bg

Ключови думи: BTEX, замърсяване на вътреен въздух, сезонност

Резюме: Концентрациите на BTEX (бензен, толуен, етилбензен и ксилен) бяха наблюдавани в училища в град Кърджали в България, през юли и октомври 2015 г. Концентрациите през периода на изследването са били в ниски стойности. Изследванията са показвали, че концентрациите на замърсители в закрита среда винаги са по-големи, отколкото в открити среди. Значителни са разликите при сезонността са измерени по-високи стойности през зимата и по-ниски стойности в летните месеци. Това е в съответствие с констатациите за различен климат и характеристики на строителните материали.

Introduction

People generally spend more than 80% of their time in indoor environment [1]. The anthropogenic activities have caused degradation of air quality, both in open and in confined environments. With the current urban centres lifestyle, the man has spent more time indoors than in open spaces [2]. In closed environments, the emission sources can be diverse, such as construction material (in particular finishing materials), air conditioning systems, cleaning procedures, the low exchange between the indoor air with the outside air, among others [2].

Among numerous compounds which belong to VOCs, benzene, toluene, ethylbenzene and o-xylene (BTEX) are chosen for this study. The reason is that BTEX is the major VOCs found in indoor environments in different countries [3].

Volatile organic compounds (VOCs) are important outdoor air toxins suspected to increase chronic health problems in exposed populations [1, 2]. BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene, (m+p) xylene and o-xylene) are some of the common VOCs found in urban and industrial areas and are

classified as "hazardous air pollutants" (HAPs) because of their potential health impacts [3]. low levels of VOCs might have no significant health impacts, the interaction between VOC species and other criteria pollutants might cause adverse health outcomes. Some researchers studied the linkages between domestic exposure to VOCs and asthma in young children in Perth, Western Australia, and found that exposure to VOCs increased the risk of childhood asthma [4].

Among indoor volatile organic compounds (VOCs), the chemical families of carbonyls and BTEX are of interest [5,6]. The Environmental Protection Agency of USA has listed carbonyls and BTEX as hazardous air pollutants to humans [7]. BTEX have been found to affect the immune and central nervous system (brain), liver and kidneys [8,9]. Some studies have suggested associations between ambient carbonyls and adverse health outcomes [10]. Numerous indoor sources of BTEX and carbonyls have been well documented, including off-gassing from furniture made of wood-pressed products, paints, floor varnishes, glues, smoking, cooking and consumer products for cleaning, pest management, deodorizing, and personal care, etc. [11,12].

In industrialised countries at moderate climate (e.g. Germany) pollutants in indoor air are accumulated due to central heating and low air exchange rates, especially in winter months. As a consequence, in regions of moderate climate indoor concentrations of VOCs can exceed the outdoor burden [13-15]. A typical seasonal cycle of the indoor total VOCs was found in German apartments [16,17]. These findings are presumably not necessarily valid for the Northern Egypt which is characterised by subtropical climate and a different lifestyle [18 - 21]. On this base of information about the indoor VOC exposure we made our investigation in Kardzhali town in Bulgaria and the influence of the high outdoor BTEX concentrations.

This investigation was designed to determine annual average concentrations of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) at a wide range of sites throughout in Kardzhali, understand seasonal variations and identify temporal trends of BTEX concentrations.

Methods

Field studies

Kardzhali municipality is situated in the northern part of the Eastern Rhodopes occupies an area of 624 km². Administrative municipality is part of the South-Central region and the town of Kardzhali is the administrative center of the district of Kardzhali. Northeast and east Kardzhali municipality borders the municipalities of Haskovo and Stambolovo. South borders Momchilgrad and Djebel, and in a very small area of Krumovgrad Municipality (near dam "Studen Well"). West the municipality borders with the municipality of Ardino and to the north and northwest with the municipality Municipality.

The geological structure of the municipality is characterized by a wide variety of rock formations and geological structures. The largest share of the territory is covered by volcano-sedimentary rocks of the Paleogene complex composed of rhyolites, andesites, tuffs and tuff mixed with various marine sediments. In the southwestern part of the municipality of large areas revealed metamorphic rocks represented by gneisses, amphibolites, mica schists and others. The municipality has considerable size deposits of non-metallic minerals: bentonite, zeolite, perlite, feldspar, mica, limestone, sand, gravel and more. In the town had built the only side plant for the production of bentonite, perlite and zeolite. Still untapped deposits of quality marble and stone materials, such as gneiss, tuffs and limestone. This is very important for investigation, because these building materials are used in present and now for construction.

Climate characteristics

The climate of the municipality is continental Mediterranean, conditioned in the nature of atmospheric transport and transformation of air masses on the surface of the relief. The average annual temperature is 12.5 °C. On average, about 216 days a year, from early April to early November saw sustained retention temperature above 10 °C. Winters are relatively mild, the days of stay of snow about 39 days. The summer is long and hot, maximum temperatures reach 39-40 °C. The average winter temperature is about 0 °C and in the summer - about 24 °C. The relative humidity is lowest in the summer months from 57 to 67%, and highest in winter 78-83%. In the analysis and study of volatile organic compounds temperature differences have a particular important role of periodical concentration of emissions, as well as temperature and humidity during the periods.

Quality of atmospheric air

The condition of the air in the municipality of Kardzhali traces of AIS "Cold well" - situated in built-up part of town. Kardzhali reflecting the impact of emissions from production activities and emissions from the residential sector. The sampling results (automatically) are displayed every hour. The municipality has developed a program for air quality (AAQ) .Potential air pollutants are large industrial enterprises located in the town of Kardzhali and in some other places, but under strict control and effective management of many of the harmful emissions can be reduced to values tailored to the requirements of current legislation.

Of importance for the distribution and dispersion of air pollutants are the characteristics of the terrain and altitude, slope and orientation of rays that determine the distribution of heat, light, precipitation and humidity, wind picture. The persence of local ground transport of air masses along the Arda River in east-west direction also contributes to the accumulation of pollutants into the pool at certain times of the year.

An additional factor to air quality in urban areas are emissions from transport, local fuel sources, domestic heating and secondary air pollution with dust due to improper cleaning and washing of the street network.

The monitoring of indoor air pollution in classrooms

Air quality in the room or acquired universal significance term "Indoor air quality" (IAG) for the quality of the indoor air around the building and in particular the case of the building which is workplace.

Air quality in the room is part of the internal environment which includes physical factors and psychological aspects such as lighting, acoustics, thermal comfort.

The quality of indoor air can be exacerbated by the content of the gases generated inside the room (as a result of combustion, migrating from building materials and furnishings chemicals from cigarette smoke), microbial contamination. These pollutants come from activity in the premises of daily used items and products. Air in homes, schools, kindergartens, offices and other institutes can be 2 to 5 times more polluted than the air in the environment, in some cases up to 100 times

Report of the World Health Organization [22] points out that 30 percent axis new or renovated buildings in the world can be the subject of complaints related to poor air quality.

Measurements of volatile organic compounds (VOCs) were carried out in a field study in Kardzhali town in the period of January –August 2015. Four reconstructed and repaired schools were chosen as sites for passive sampling of VOCs in different parts of the Municipality, taking into consideration the traffic volume profile across the city and the suburbs.

The levels of indoor air pollutants measured in the investigated classrooms in the selected schools in area of Kardzhali (Fig 1). The same environmental monitoring methodology was used in all the classrooms. According to the project Cherrie, the same equipment was used during the january-march 2015 and july-august 2015 environmental monitoring to discover some seasonal dependency

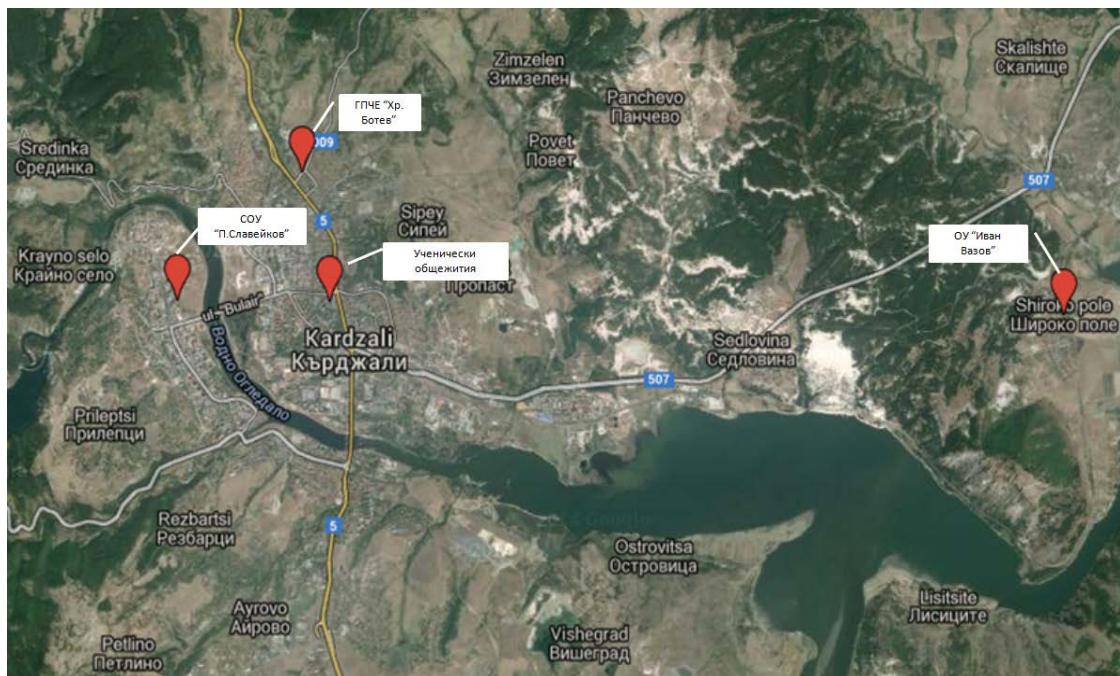


Fig. 1. Selected schools in Kardzhali area

Sampling and analysis

The selected pollutants were measured inside schools in the area during the heating and cooling season. The concentrations of BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes), were examined using a passive sampling method (Radiello-type samplers-Fig.2.).

The sampling for BTEX was conducted using passive samplers incorporated with activated charcoal absorption element. Passive samplers offer a cost-effective method for screening concentrations over a large spatial distribution. Sampling using Radiello monitors begins with a quick assembly of the support plate. The adsorbent cartridges used to collect samples are housed in a sealed glass tube that is used to store the cartridge before and after sampling. Prior to sampling, the adsorbent cartridge needs to be transferred to the appropriate diffusive body, which is then screwed onto the triangular support plate horizontally for stationary sampling, or vertically (with adapter) for personal sampling. The overall design of the Radiello sampler allows users to easily transfer the adsorbent cartridges from the diffusive body without touching the adsorbent itself. Protective outdoor shelters are recommended for environmental/ ambient air sampling. Uptake rates are dependent on temperature; therefore, concentration values obtained during sampling will be more accurate if precise temperature values are recorded during sampling. For all 7 day period of sampling was recorded a temperature in every 15 min. One sampling point per classroom was designated for indoor measurements. Samples were collected in classrooms where the children spent most of their time. The passive samplers were placed at a height of 1.5 to 2 m in the classrooms. Exposed BTEX samples were analysed using the "PerkinElmer" model of GC-FIDmethod (Fig 3) and standards ISO 16200-2:2002 and ENISO 16017.



Fig. 2. Radiello samplers

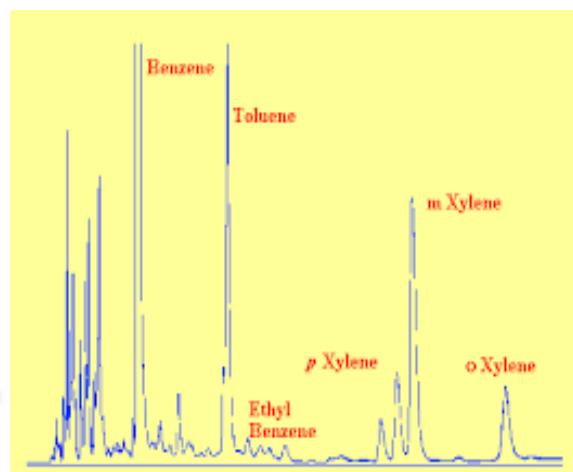


Fig. 3. Result of GC-FID method

Sample preparation and gas chromatographic analysis

After exposure, the VOCs Caught from the cartridge with activated charcoal volatile organic compounds are extracted with carbon disulfide. Aliquots of this extract is injected into a gas chromatograph equipped with a capillary column and flame ionization detector. Quantification is done by absolute calibration.

Conditions for gas chromatography determination of benzene, toluene, xylene, ethylbenzene are as follows:

- Gas chromatograph: "PerkinElmer" model 8310 with FID detector
- Injection port: 250 °C
- Column: DB-5MS, 30m, I.D.-0,25mm, film-0.25µm
- Detector FID: 300 °C
- Column temperature: 32 °C / 3 min, 8 °C / min up to 100 °C.

Results of air quality measurements

In practice, indoor exposure levels are assessed on the basis of existing guidelines and recommendations. Each EU member state sets limit values for workplace environments, but only some member states have guideline values for public places, and limit values for private spaces are very rare.

On the following figures (4-7) are represent the investigation in all 4 schools in Kardzhali town.

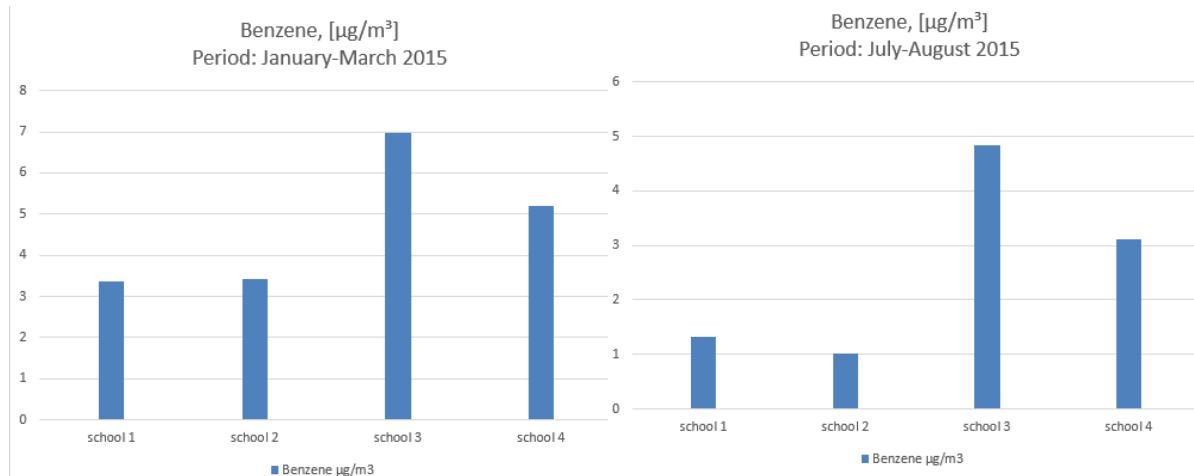


Fig. 4a. Result of benzene concentration in winter period

Fig. 4b. Result of benzene concentration in summer period

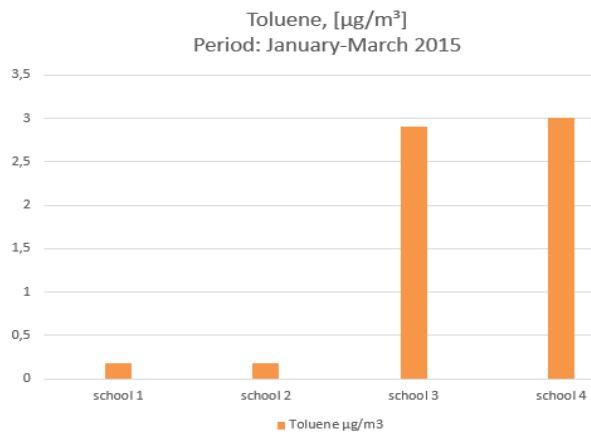


Fig. 5a. Result of toluene concentration in winter period

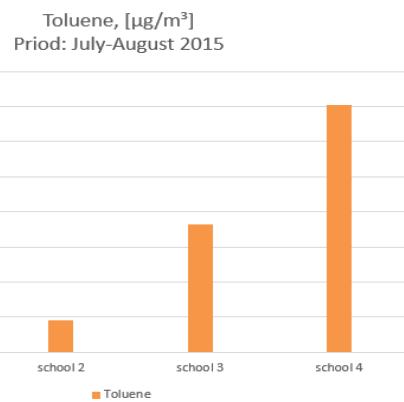


Fig. 5b. Result of toluene concentration summer period

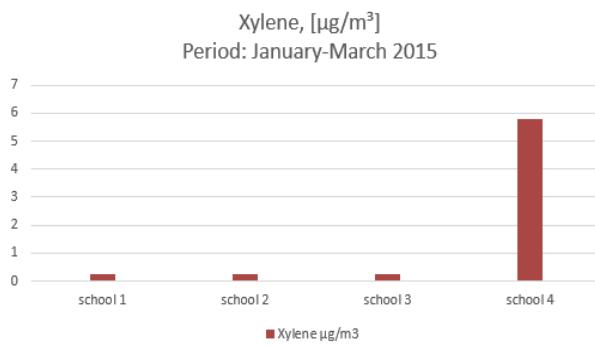


Fig. 6a. Result of toluene concentration in winter period

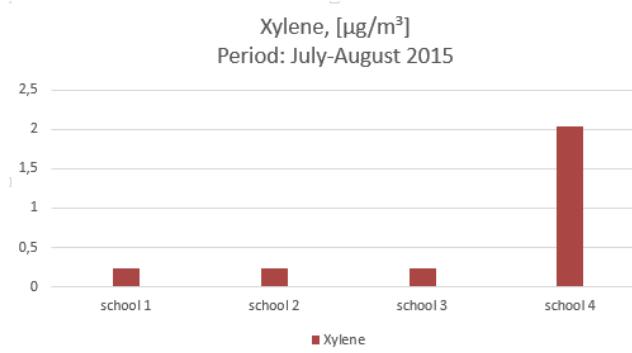


Fig. 6b. Result of toluene concentration in summer period

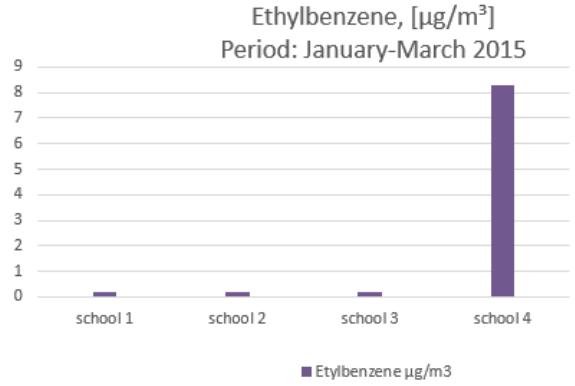


Fig. 8a. Result of toluene concentration in summer period

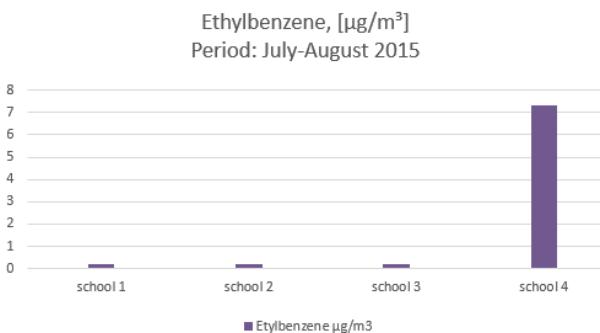


Fig. 8b. Result of toluene concentration in summer period

Assessment of the possibilities for the conduct of secondary degradation, which could lead to the generation of secondary emissions of pollutants into the environment has different physicochemical basis for volatile organic pollutants in the premises. The very nature of building materials is also different and that even determines the opportunities to generate one or another type of contaminants in the environment. All this imposes specific consideration. The emergence of organic pollutants in the premises is primarily related to the presence of organic components in the materials used. These may include:

- The majority of primary and secondary waterproofing and insulating materials are currently widely used in the renovation of old buildings and new construction but in which the main objective is to increase energy efficiency;

- Different connecting composites produced are often based on widely used traditional binders, such as lime, gypsum and cement, but with significant active organic additives;
- Various mixes with a high content of organic components frequently used in finishing to achieve certain objectives;
- Polymer plastic and rubber mixtures directly used for gaskets or manufacture of windows and seal in their homes;
- Coatings of various dyes, pigments and varnishes final coatings on the premises.

In furnishing and operation of housing require repair and bring many other products and techniques necessary for living, which further complicates the distribution of emitted organic pollutants in a dwelling. It is therefore possible in the same house in different rooms to establish different levels of emissions of volatile organic contaminants. This is determined by the availability of substantial difference mixtures with different content of organic chemical components. Another feature of composite materials is their gradual reduction over time due to their passage in the gas phase and spreading into the air. The manner of their distribution is carried out with a variety of software products that allow simulation and with different contents of organic substances in construction materials.

Potential negative impact of construction materials on people during their life cycle from extraction to use in different sites can be substantially different depending on the type and capacity of the emissions generated by them during the entire period of use of homes and buildings. Logically and usually does in practice the emissions generated are the highest in the initial period after production and application and gradually decreased over time. Significant difference is that the generation of organic pollutants in some cases it may be meaningful only a few hours after manufacture and packaging. This is determined by the nature of the processes in time and technological characteristics of individual processes in production. It follows that the potential negative impacts and health risk is higher when the time of delivery of produced construction materials is shorter with limited storage in the warehouses after production. At the same time it must be considered that the negative impact is determined not only by specific levels of emissions of an organic pollutant, but also their number. With the increase in the number of chemical contaminants usually gets certain cumulative effect in which the negative effects increase. Based on the measured concentrations of volatile organic contaminants analyzed in the test subjects can be argued that the potential impacts on humans will be limited. It is limited and the potential for negative impacts as a result of a cumulative effect, because in most cases the majority content of volatile organic pollutants is too low or below the detection limit of the analytical techniques.

In accordance with the foregoing now expect higher potential negative impacts in the sites where it is carried out renovation postigane higher energy efficiency. In such cases are attached modern new building materials produced with a higher content of organic components in them.

Used traditional building materials such as cement, lime mortars for plasters and bricks that are placed in the test subjects more than 30 years is unlikely. Above all still in the process of their production is used high firing temperatures and remaining organic components in them is unlikely. It still in the early years is reached equilibrium with the surrounding environment and the generation of emissions of organic contaminants can not be expected.

Conclusion:

- Indoor air is very important issue – affects everyone almost all the time
- Better ventilation should be provided for the public buildings and air cleaners should be used, specifically for the department store, to reduce the indoor BETX levels.
- Chemicals in indoor environments change seasonally
- The long term effects of many chemicals are still unknown – more research is needed

Acknowledgements: Authors gratefully acknowledge the financial support of the Department of Natural Sciences by the Gemology Laboratory - BF and the Chemical Laboratory - FBO, of New Bulgarian University; Contract № 11392/UCTM-Sofia; the project "Chemical and Radiological Risk in the Indoor Environment (CheRRIE)", which is implemented with the financial support of the European Territorial Cooperation Programme "Greece-Bulgaria 2007-2013", Subsidy Contract № B3.13.03/28.02.2014

References:

1. Roberts, J. ,W.C. Nelson. National Human Activity Pattern Survey Data Base. United States, Environmental Protection Agency (USEPA), Research Triangle Park, NC, 1995
2. Martins, E. M., S. L. Quiterio, S. M. Corrêa, J. Domingos, N. Fortes, M. Monteiro, B. Prestes, BTEX inside a spinning classroom,Cad. Saúde Colet., Rio de Janeiro, 22 (2): 218-20, 2014
3. Hang., Ch., Sh. Ch. Lee, Removal of Indoor Air ppb Level Volatile Organic Compounds (VOCs) and NOx by Heterogeneous Photocatalysis Better Air Quality in Asian and Pacific Rim Cities (BAQ 2002) Hong Kong SAR, 16 Dec 2002 – 18 Dec 2002,
4. Atari, D.* and Is., Luginaah, Assessing the distribution of volatile organic compounds using land use regression in Sarnia, "Chemical Valley", Ontario, Canada Environmental Health, 8:16, 2009
5. Dassonville, C., C. Demattei, A.M. Laurent, L. Moullec, Y. Seta., and I. Momas Assessment and Predictor Determination of Indoor Aldehyde Levels in Paris Newborn Babies' Homes. Indoor Air,19: 314–323, 2009.
6. Zhang, Y., Y.J. Mu, P. Liang, Z. Xu, J.F. Liu, H.X. Zhang, X.K. Wu, J. Gao, S.L. Wang, F.H. Chai, and A. Mellouki, Atmospheric BTEX and Carbonyls during Summer Seasons of 2008–2010 in Beijing. Atmos. Environ., 59: 186–191, 2012
7. George, B.J., B.D. Schultz, T. Palma, A.F. Vette, D.A. Whitaker and R.W. Williams, An Evaluation of EPA's National-Scale Air Toxics Assessment (NATA): Comparison with Benzene Measurements in Detroit, Michigan. Atmos. Environ., 45: 3301–3308, 2011.
8. Karakitsios, S.P., C.L. Papaloukas, P.A. Kassomenos, and G.A. Pilidis, Assessment and Prediction of Exposure to Benzene of Filling Station Employees. Atmos. Environ.,41: 9555–9569, 2007.
9. Sarigiannis, D.A., S.P. Karakitsios, A. Gotti, I.L. Liakos and A. Katsoyiannis, Bayesian Algorithm Implementation in a Real Time Exposure Assessment Model on Benzene with Calculation of Associated Cancer Risks. Sensors. 9: 731–755, 2009.
10. Sarigiannis, D.A., S.P. Karakitsios, A. Gotti, I.L. Liakos and A. Katsoyiannis, Exposure to Major Volatile Organic Compounds and Carbonyls in European Indoor Environments and Associated Health Risk. Environ. Int.,37: 743–765, 2011.
11. Logue, J.M., T.E. McKone, M.H. Sherman, and B.C. Singer, Hazard Assessment of Chemical Air Contaminants Measured in Residences. Indoor Air,21: 92–109, 2011.
12. Qingyang Liu, Yanju Liu, Meigen Zhang, Source Apportionment of Personal Exposure to Carbonyl Compounds and BTEX at Homes in Beijing, China Aerosol and Air Quality Research, 14: 330–337, 2014
13. Begerow, J., E. Jermann, T. Keles, U. Ranft, L. Dunemann, Passive sampling for volatile organic compounds (VOCs) in air at environmentally relevant concentration levels. Fresenius Journal of Analytical Chemistry 351, 549-554, 1995.
14. Rehwagen, M., U. Schlink, O. Herbarth, G.J. Fritz, Pollution profiles at different kindergarten sites in Leipzig, Germany. Environmental Toxicology 14, 321-327, 1999.
15. Mitchell, C.S., J.J. Zhang, T. Sigsgaard, M. Jantunen, P.J. Lioy, R. Samson, M.H. Karol,. Current state of the science: Health effects and indoor environmental quality. Environmental Health Perspectives 115, 958–964, 2007.
16. Rehwagen, M., U. Schlink, O. Herbarth, Seasonal cycle of VOCs in apartments. Indoor Air 13, 283-291, 2003.
17. Schlink, U., M. Rehwagen, M. Damm, M. Richter, M. Borte, O. Herbarth, Seasonal cycle of indoor-VOCs: comparison of apartments and cities. Atmospheric Environment 38, 1181-1190, 2004.
18. Khoder, M.I., Ambient levels of volatile organic compounds in the atmosphere of Greater Cairo. Atmospheric Environment 41, 554-566,2007.
19. Khoder, M.I., Formaldehyde and aromatic volatile hydrocarbons in the indoor air of Egyptian office buildings. Indoor and Built Environment 15, 379-387, 2006.
20. Matysik, S., A. B. Ramadan, U. Schlink, Spatial and temporal variation of outdoor and indoor exposure of volatile organic compounds in Greater Cairo Atmospheric Pollution, Research 1: 94-101, 2010.
21. Gunatilaka., M., Hazardous air pollutants: Concentrations of Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene (BTEX) in Christchurch,ISBN 1-86937-483-5, 2003.
22. WHO, 1993. Benzene (International Programme of Chemical Safety, Environmental Health Criteria No. 150). World Health Organization, Geneva.

ФИБРООПТИЧНА СИСТЕМА ЗА БРОЕНЕ НА СОМАТИЧНИ КЛЕТКИ

Ангел Манев¹, Веселин Ташев¹, Диньо Динев²

¹Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

²МИЛКОТРОНИК ООД – гр.Стара Загора

e-mail: amanev@abv.bg

Ключови думи: фиброоптика, млеко, соматични, клетки

Резюме: Предлага се нова иновативна система за броене на соматични клетки в млечни пробы с вграждане на фиброоптичен блок като така се избягва използването на лещови оптични системи. Изложени са принципите при моделирането на системата чрез използване на програмната система ZEMAX. Разгледани са особености на конструктивното моделиране и са дадени практически указания за реализацията .

FIBRE OPTICS COUNTING OF SOMATIC CELLS

Angel Manev¹, Veselin Taschev¹, Dino Dinev¹

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²MILKOTRONIK – Stara Zagora

e-mail: amanev@abv.bg

Keywords: fiber optics, milk, somatic cells

Abstract: A new innovative system for counting of somatic cells in milk samples with installation of fiber-optic block avoids the use of optical lens systems. The principles set forth in the modeling of the system by using the software ZEMAX. Examines the characteristics of constructive modeling and gives practical guidelines for implementation.

Въведение

Принципите на които се изграждат системите за броене на соматични клетки в млечни среди са приложими и в други области, където се налага да се контролира наличието на попътни, обособени обекти, с микронни размери в течни среди. Създадените системи за броене на соматични клетки могат да се използват в медицината, екологията, хранително вкусовата промишленост. Голяма част от съществуващите системи са изградени на принципите на физичната оптика с използването на лещови оптични трактове хи понякога сложни механични системи за сканиране на пробите. Предлагатната система решава редица от конструктивните затруднения при реализацията на системи за контрол на микро обекти за които не се изисква изследване на морфологията им.

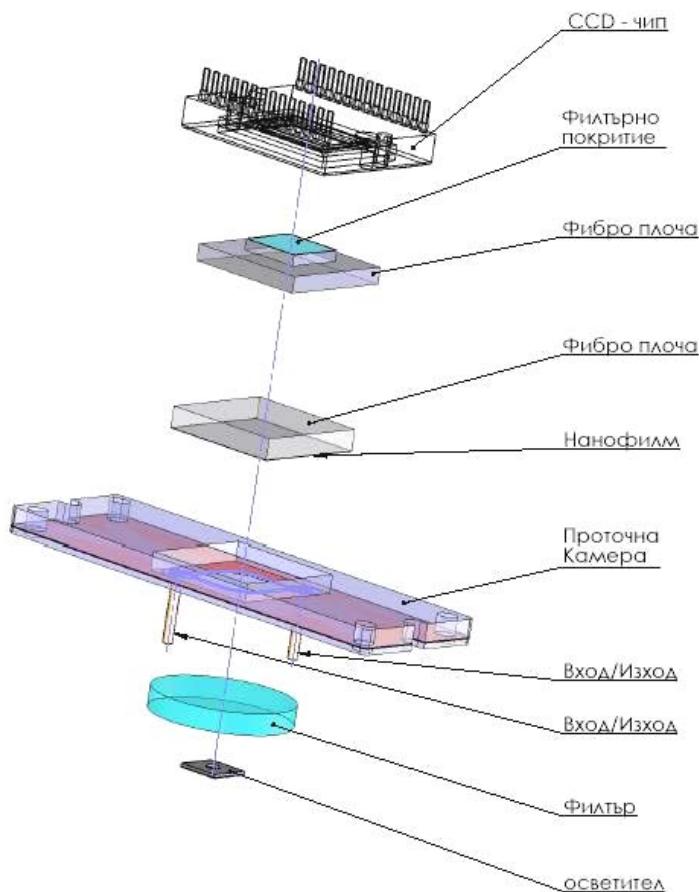
В литературата има описани два типа оптични системи за броене на соматични клетки. Системите от Първи тип са конструирани на базата на оптични елементи, които формират мащабирано изображение посредством комбинация от оптични лещи[1], [2]. Вторият тип са системите, които проектират изображението на обема в микро флуидната камера чрез използването на влакнесто оптични пластини. И при двата типа системи съществуват общи конструктивни характеристики. Детектиращият елемент е CCD матрица, оцветителя в пробата се „напомпва“ с лъчение с дължина на вълната 365 мкм, използват се едни и същи алгоритми и програми за „броенето“ на клетките. Различията са в начините по които се проектира пробата върху плоскостта на детектора. В процеса на моделиране и на двата типа системи се използваха методите на 3D симулации за пресмятане на оптичните и конструктивни параметри на анализираната система.

Изследваните обекти – соматичните клетки, имат определени оптични и геометрични характеристики. По литературни данни и според наши изследвания размерът на такава клетка е от порядъка на 9-10 мкм. Пътността на клетките в пробата от мляко и такава, че минималното разстояние между две клетки на едно и също разстояние от измервателната система много рядко е по-малко от 20 мкм. При тези характеристики е ясно, че изискванията към оптиката ще бъдат не да се анализира морфология на пробата а да се регистрират светещи обекти с определени размери. Това поставя специфични изисквания съм особеностите на оптичния тракт – в някой отношения опростяване на изображението а в други засилване на изискванията. По-силни са изискванията за качество на изображението при системите от I тип. С оглед отношението сигнал/шум системите от II тип са по-чувствителни и от тук и с по-високи изисквания към геометрията на трансформирането на изображението.

В процесите на моделиране на оптичните системи се изследва само оптичната система за формиране на изображение без да са включени осветителната и детектиращата система. Характеристиките на осветителната и регистриращи системи играят ролята на гранични условия за оптичния тракт. Оптичният тракт, след като е оптимизиран, задава само коефициент на трансформиране на енергията за доуточняване на характеристиките на осветителя и CCD матрицата.

Проектиране и реализация на системат

След проучване на съществуващият световен опит в аналогични апаратури и след изследвани на редица технологични проблеми се стигна до конструирането на следната система, показана на фигура 1. При тази схема единственият начин на осветяване на пробата е отдолу чрез фото диод монтиран непосредствено под пробата.



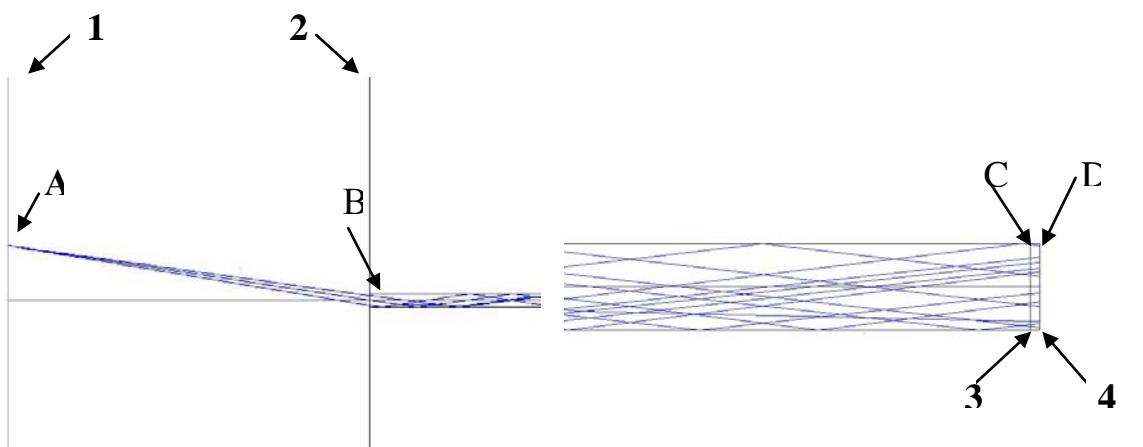
Фиг. 1. Обща схема на системата

От оптична гледна точка системата не е сложна и няма проблемни оптични елементи. Особеностите на конструкцията се състоят в началните условия, поставено пред конструктора. Изискванията са няколко:

1. На повърхността на детектора CCD матрицата да се изгради изображение на пробата в Поточната камера с достатъчна разделителна способност . Условието е да се наблюдават разделено обекти с размери 9 – 10 мкм като разстоянието между тях не е по-малко от 20 мкм.
2. Да се постигне максимална енергийна пропускливоост на системата за да се гарантира стабилно отношение сигнал/шум на входа на детектора.
3. Да се гарантира възможността да се регистрират обекти на дълбочина в Проточната камера до 200 мкм.

Проектно избраната фиброоптична плоча е ИКЮШ 755757.041 с размери на оптичната част 20X20 mm, диаметър на оптичното влакно 6 мкм и дебелина 5 mm (съответно дължина на оптичното влакно). Сърцевината на влакното е изготвена от стъкло ТВФ10 с коефициент на пречупване $n_e = 1.82057$ и коефициент на дисперсия $v_e = 33.17$. Материалът на безцветната пластика обвивка на влакното е от оптическо стъкло ВО50 с коефициент на пречупване $n_e=1.4838$. Тъмната, погъщаща обвивка е от стъкло ВТО73 с $n_e = 1.90$. Регистриращият елемент е отново CCD матрицата KAF 402.

Оптичното изследването на конструираната фиброоптична система се проведе с помощта на програмната система за оптично моделиране ZEMAX 9.0 12.10.2009 [3]. Съпоставки се правеха и с аналогичните пакети ОПАЛ и ОСЛО. На този етап от изследването моделирахме хода на светлинните лъчи попадащи на само едно от влакната на фиброоптичната плоча. Анализираната система е показана частично на фигури 23 и фигура 24. На фигура 2 е увеличена „входната част на системата. Показана е симулативна точка A от соматичната клетка, чието фосфоресциращо лъчение попада в началото на фибо оптичното влакно – точка B. След многократно отражение вътре във влакното лъчите излизат от края му и формират изображението на точка A върху равнината на детектора – точка D.



Фиг. 2

Фиг. 3

На челната страна на фиброоптичната пластина, равнина 2, е нанесен защитен слой от SiO_2 , диаманто подобен въглерод с дебелина от порядъка на 110 nm и коефициент на пречупване $n_e = 1.54$. Целта а това покритие е съхраняването на целостта на фибо оптичните брака при миене и почистване. Този слой се заложи при по-нататъшното моделиране. Влиянието на този слой върху оптичните параметри е незначително поради малката дебелина на слоя, но въпреки това този слой участва в процесите на моделиране с програмния пакет ZEMAX. На задната стена на фиброоптичната плоча, равнина 3, е нанесен тънкослоен режещ филтър който които „режи“ късовълновата компонента ($\lambda < 420 \text{ nm}$) и пропуска лъчение при $\lambda > 420 \text{ nm}$. За получаване на барьерен филтър с горните свойства е използван метода за нанасяне в сандвичова структура на тънки слоеве от SiO_2 ($n_{546\text{nm}} = 1,54$) и TiO_2 ($n_{546\text{nm}} = 2,65$).

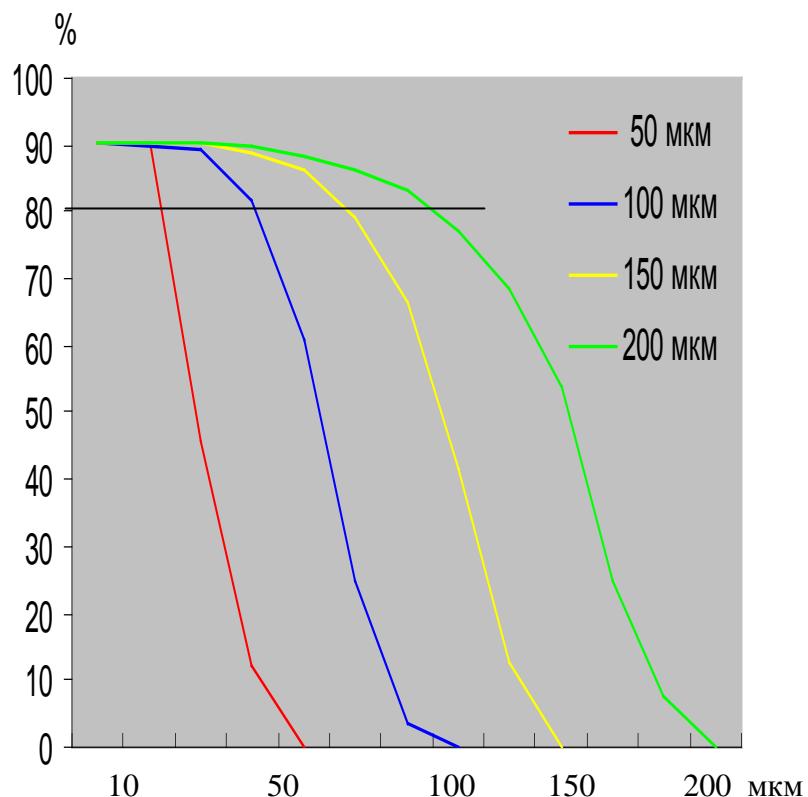
Технологично е прието детекторът – CCD матрицата да се залепи с лепило от типа на Епоксида Opti-Tec5001 за задната страна на фиброоптичната пластина. Показателят на пречупване на лепилото е $n_e = 1.56$. Дебелината на лепилния слой по принцип влияе на качеството на получаваното изображение. Колкото той е по-дебел толкова по „мътно“ е изображението. Проведоха се множество симулативни изследвания на зависимостта на

изображението на излъчващата точка А от дебелината на лепилния слой. Изводът да който се достигна бе, че в границата на от 4 до 50 мкм не се наблюдава значимо изменение на параметрите на излизящият от фибропластината светлинен сноп. Следователно няма оптически ограничения за дебелината на лепилото в тези граници. Единствените съображения остават технологичните и икономически показатели за начина на нанасянето на лепилото, неговата хомогенност и минималния разход на материалите.

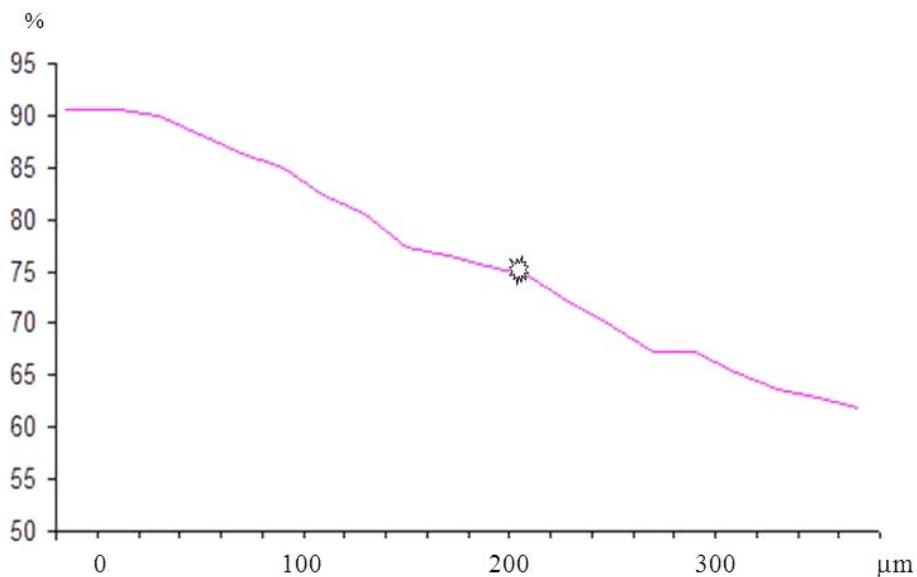
Способността фибропластината да трансформира излъчването на луминисцираща соматична клетка бе изследвано като се проведе моделиране на предаването на лъчението през едно от влакната на фиброполаката. В програмния пакет ZEMAX бяха заложени следните изходни условия : фиксирани параметри на оптичната система :

- дебелина и коефициент на пречупвани на диамантеното покритие;
- дължина, диаметър и показател на пречупване на фибровлакното;
- дебелина и показател на пречупване на режещия филтър;
- дебелина и показател на пречупване на лепилния слой.

Оптичната ос на системата се фиксира през центъра на члената стена на фибровлакното. Разглеждахме как енергията от един светлинен източник ще влияе върху детектора, намиращ се в равнината след лепилния слой. За целта Регистрирахме пропускливостта на системата като разполагахме последователно източника в четири, перпендикулярни на оптичната ос, равнини отстоящи от стената на фибровлакното на разстояния 50, 100, 150 и 200 мкм. Във всяка от тези равнини източника бе поставян на различни разстояния от оптичната ос. На фигура 25 са показани резултатите от проведеното моделиране. Последвалите стъпки показваха, че при отдалечаване на източника на повече от 200мкм тенденцията на съответните криви се запазва както тази за кривите до 200мкм. Приемаме, че значимо е пропускане от повече от 80 %. Вижда се от графиката за равнина 50 мкм, че такова пропускане се гарантира само за точки, които се намират на не повече от 3 мкм. За източник в равнина 100 мкм – не повече от 7.5 мкм, а за равнина 150 мкм – 12.5 мкм. Границен е случаят с равнина 200 мкм. Ако излъчващата точка е в тази равнина и е в границите на до 15 мкм нейното излъчване ще влияе значимо върху изображението, формирано от точки по-близо до оптичната ос. При равнини на по-голямо от 200 мкм разстояние не си струва да се разсъждава защото при тях влиянието на източниците е значимо и при по-големи отстояния от оптичната ос.



Фиг. 4



Фиг. 5

От направеното изследване следва изводът, че дебелината на слоя мляко в проточната камера не трябва да надвишава 200 мкм защото при по-голми дебелини ще се получава освен размазване на изображението на светещите източници, и при покриване на две светещи клетки, които се намират на разстояния по-малки от 30 мкм. А такива обикновено са най-малките разстояния между соматичните клетки, които трябва да се изброяват.

Интересни са резултатите при изменение на оптичната схема и замяната на проточната камера с микрофлуидна, сменяема камера. Приема се, че излъчващият обект е на постоянно разстояние от долната повърхност на стената на камерата -100мкм. Всички параметри остават постоянни а се променя само дебелината на стената на камерата. Резултатите са показани на фигура 4. Изводът, който може да се направи е че при дебелина на стената по-малка от 200 мкм коефициентът на трансформация е по-голям от 75% и това е приемливата граница за дебелината на стената на камерата. По този начин са определени и конструктивните параметри на евентуално използваната сменяема камера за изследваната течност.

Заключение

В процеса на изследването се демонстрират възможностите на програмната система ZEMAX за моделиране на реални оптични системи с използване на фиброоптични елементи. Предлаганата система за броене на соматични клетки е реализуема и създаването и не крие непреодолими технологични условия. В ИКИТ БАН съществуват условия за конструктивното моделиране на иновативни оптични системи.

Литература:

1. <http://www.chemometec.com/en-GB/global/p87.aspx>
2. <http://www.delaval.com/>
3. <http://www.radiantzemax.com/en/design/>

AVALANCHE RESCUE OPERATION DEVICE IN AVALANCHE MOVING CONDITIONS

**Venelin Jivkov¹, Philip Philipoff², Petar Getcov³, Garo Mardirossian³,
Georgi Sotirov³, Stoian Velkoski⁴, Petar Mandiev²**

¹*Technical University – Sofia*

²*Institute of Mechanics – Bulgarian Academy of Sciences*

³*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*

⁴*Institute GAPE – Skopje*

e-mail: jivkov@tu-sofia.bg, philip_philipoff@imbm.bas.bg, philip.philipoff.auto@gmail.com,
director@space.bas.bg, garo.mardirossian@gmail.com, mardirossian@space.bas.bg,
GSotirov@space.bas.bg, contact@igape.edu.mk, pmandiev@imbm.bas.bg, bas.pmandiev@gmail.com

Keywords: Avalanche rescue operation device, Avalanche moving conditions.

Abstract: Encountering avalanche unprotected resulting in a high mortality rate - 60%. It was due to suffocation after being buried by snow mass. This mass shows complex mechanical properties. They make it too possible exits. If successful rescue operation took place about 10 minutes after encountering in the avalanche, the probability of survival was 97%. Using air bags provides rapid ascent to the surface of the avalanche and preserves the life and health of victims in 97% of cases of falling into an avalanche. This avalanche rescue device integrates four types of protection systems get stuck in the avalanche. If necessary, set enables long-term stay in the snow mass theoretically ensures survival at all probable situations.

ЛАВИННО СПАСИТЕЛЕН КОМПЛЕКТ ПРИ ПОПАДАНЕ В ДВИЖЕЩА СЕ ЛАВИНА

**Венелин Живков¹, Филип Филипов², Петър Гецов³, Гаро Мардиросян³,
Георги Сотиров³, Стоян Велкоски⁴, Петър Мандиев²**

¹*Технически университет – София*

²*Институт по механика – Българска академия на науките*

³*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*

⁴*Институт ГАПЕ – Скопие*

e-mail: jivkov@tu-sofia.bg, philip_philipoff@imbm.bas.bg, philip.philipoff.auto@gmail.com,
director@space.bas.bg, garo.mardirossian@gmail.com, mardirossian@space.bas.bg,
GSotirov@space.bas.bg, contact@igape.edu.mk, pmandiev@imbm.bas.bg, bas.pmandiev@gmail.com

Ключови думи: Лавинно спасителен комплект, Попадане в движеща се лавина.

Резюме: Попадането в лавина без предпазни средства води до висока смъртност – 60%. Тя се дължи на задушаване след затрупване от снежна маса. Тази маса проявява сложни механични свойства. Те затрудняват изключително много евентуалното излизане на повърхността. Ако бъде проведена успешна спасителна операция до 10 минути след попадане в лавината, вероятността за оцеляване е 97%. Използването на въздушни раници осигурява бързо изплуване на повърхността на лавината и запазва живота и здравето на пострадалите в 97% от случаите на попадане в лавина. Настоящият лавинно спасителен комплект интегрира четири вида системи за защита при попадане в лавина. При необходимост комплектът позволява дълготрайно пребиваване в снежната маса, като теоретично осигурява оцеляване при всякави възможни ситуации.

Risk Management in Case of Natural Disasters, Transport Accidents and Industrial Crashes

The modern practice develops risk management in case of natural disasters, transport accidents and industrial crashes [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Avalanche Rescue Operation Device in Avalanche Moving Conditions. In the high mountains often fall avalanches [1]. They pose a serious danger to skiers, snowboarders and sikers [1]. Fig. 1 shows the probability to be saved skier buried in an avalanche in function of time. On the Fig. 2 is shown the effect of Brazilian walnut - body with large volume and low weight when moving snow mass is pushed to the surface. Body small volume and the same size of the weight is buried snow mass. Fig. 3 shows stationary inflatable suit. In the Fig. 4 is shown skier equipped with avalanche rescue device to emerge surface movement of the avalanche and the skier without avalanche rescue kit remains buried under the snow (on figures from the Internet). Fig. 5 shows the principle scheme of avalanche rescue device. Avalanche rescue device presented in Fig. 5 and consists of:

- 1) A fixed aerodynamic part (Part 1) which is filled with air, oxygen-enriched. This part plays the role of stabilizer in skiing or snowboarding and provides additional confidence in the downhill at high speeds.
- 2) Detachable inflatable part that automatically fills with air from the bottle under pressure to reach avalanche.
- 3) Bag pack, in which folded type is mobile inflatable (Part 2) bottle with compressed air and has a camera storage of skier or snowboarder. The bottle is equipped with a fan, a battery and if necessary, can be used repeatedly.
- 4) System of straps through which the bag pack is attached firmly on the shoulders of the skier.
- 5) Helmet on which are mounted radio transmitting device and a breathing mask.
- 6) Transmitter device, equipped with an accelerometer antenna and GPS/GSM transceiver. The device carries out continuous radio contact with a mobile network operator in real time and at any given point in time GPS location on an electronic screen, hanging on the strap of the bag pack. In a predefined risk threshold acceleration of the movement of the skier or snowboarder, automatically launches mobile inflatable part of the system is filled with pressurized air from the bottle. Thus air bag pack acquire a total volume of over 250 liters (fixed and inflatable parts) and falling in avalanche provides retention on the surface of driving at a high speed snow mass. Even skier is not conscious, the transceiver includes a distress signal and immediately to the command center of rescue operations receive GPS location of the accident.
- 7) A flexible conduit connecting the mask 8) with a tank of oxygen-enriched air 1).
- 8) Mouthpiece breathing mask or air, stationary placed on the face of the skier. When you turn on the system through the pipeline automatically fed oxygen-enriched air, and if caught up in the avalanche skier has breathing for 30 minutes or more is made available oxygen, even in complete immobility of the body of the victim.
- 9) Trapezoidal spring handle for manual operation of the system.

Avalanche rescue device (air pack), consisting of stationary aerodynamic Part 1 (50 liters) filled with oxygen-enriched air; 3) bag packs containing a bottle of compressed air with automatic valve and balloons in skate type 2 (in exploded view with a volume of 200 liters) actuated automatically by the acceleration sensor (or manually by trapezoidal handle 9); regulator mouthpiece 8) (oxygen mask attached to the helmet 5) with line 7 connected with the stationary part 1 to provide breathing of the victim; harness 4 to carry a device; 5 helmets with built-in acceleration sensor, operable under certain conditions, the automatic valve and pumping balloons 2 and radio - transmitting device 6 - GSM/GPS (receiver-transmitter with antenna). In above paragraph the numbers with ") bracket" represent the different positions of the avalanche rescue device according to Fig. 5.

The proposed system provides the highest level of protection from getting an avalanche. Avalanche rescue device is able to preserve the life of the victim in the realization of high avalanche risk and long-term stay in the avalanche to the rescue.

Rescue chance p in %

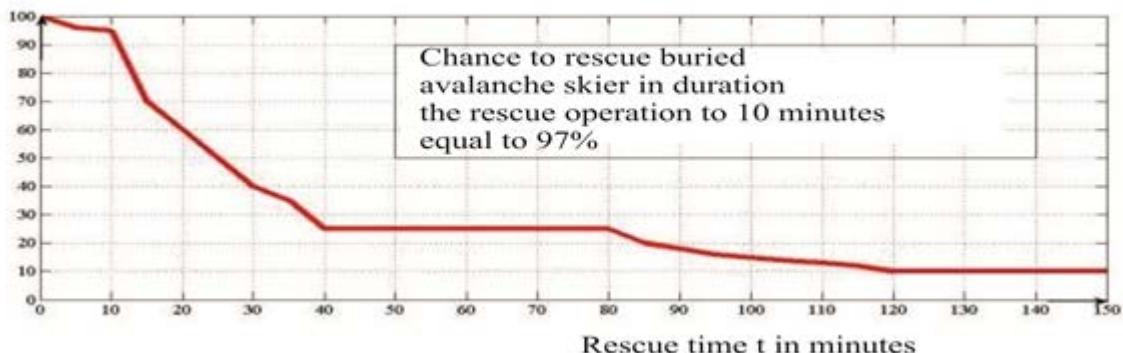


Fig. 1. Chance to rescue skier buried in an avalanche in function of time for rescue



Fig. 2. Effect of Brazilian walnut - body with large volume and low weight when moving snow mass is pushed to the surface - body with small volume and the same size of the weight is buried snow mass (in figures from the Internet).

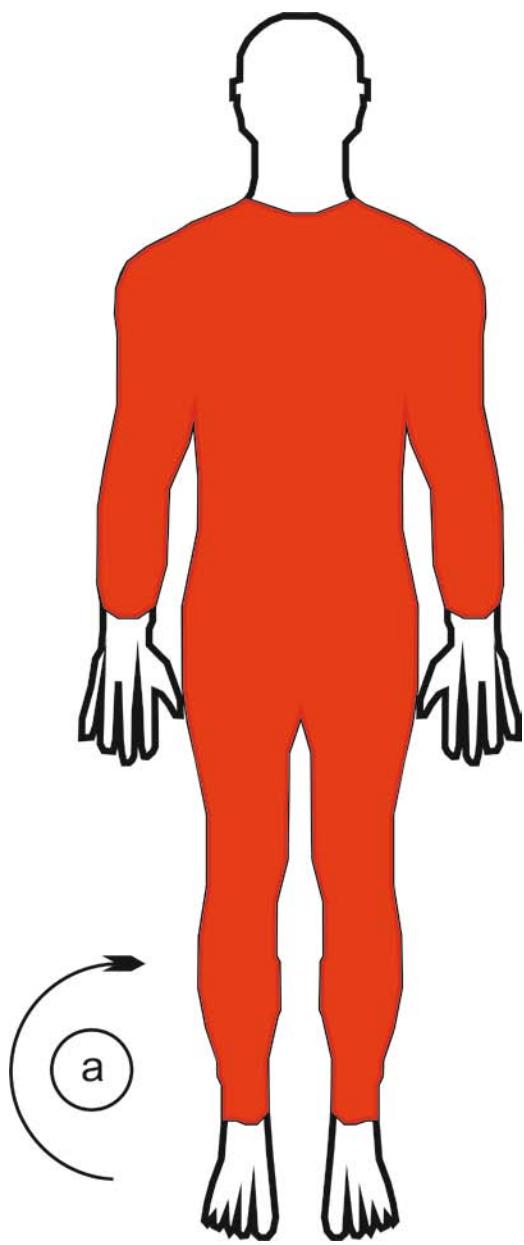


Fig. 3. Stationary inflatable suit – a).
Benefits: 1. Always in working condition
Disadvantages:
1. Material with a high density and elaborate workmanship,
2. Greater resistance,
3. Difficult movements,
4. Insufficient useful volume

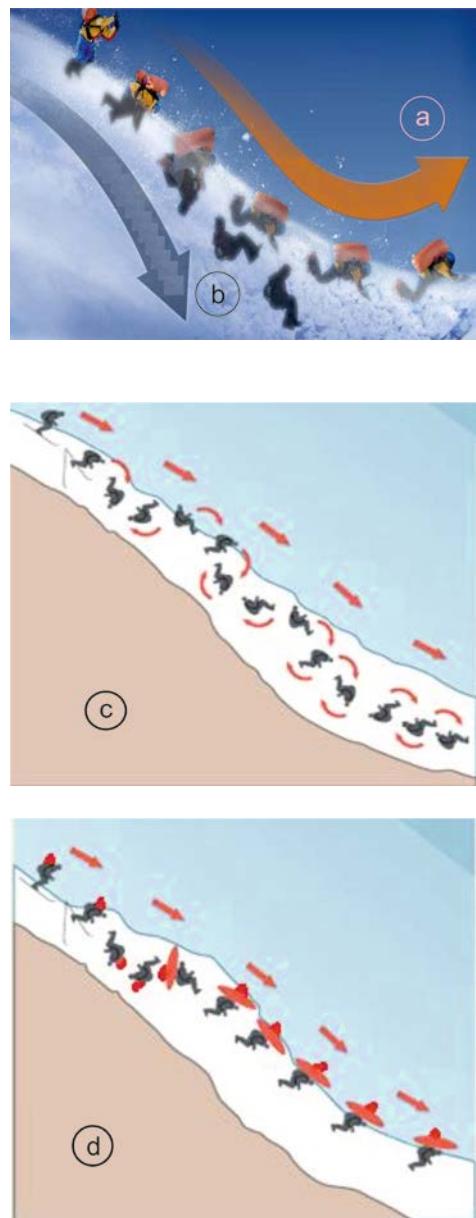


Fig. 4. Skier equipped with avalanche rescue device to emerge surface movement of the avalanche and the skier without avalanche rescue device remains buried under the snow:
a) swimming with avalanche rescue kit;
b) sinking without avalanche rescue kit;
c) sinking without avalanche rescue kit;
d) swimming with avalanche rescue kit.

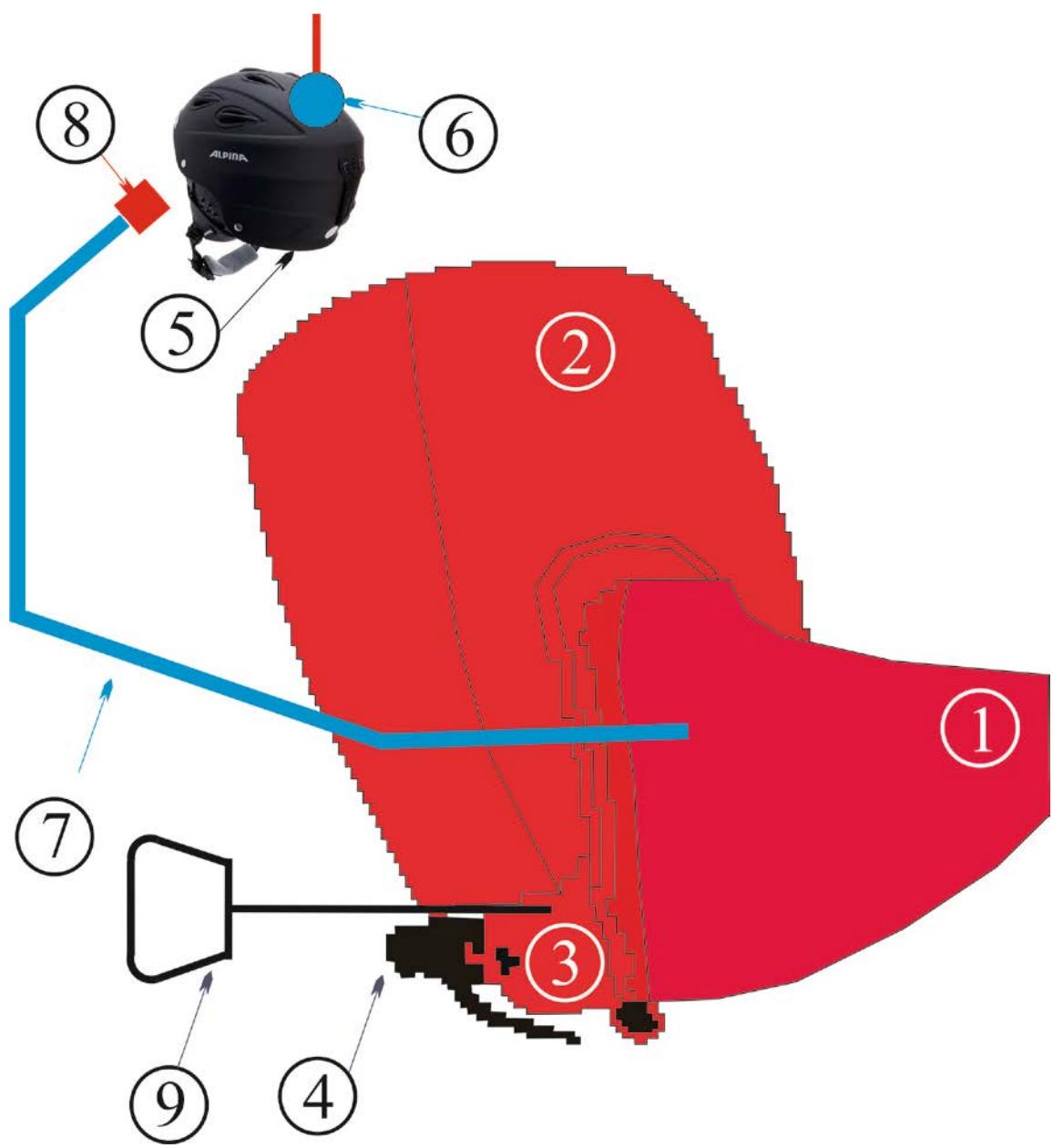


Fig. 5. Principle scheme of avalanche rescue device

Conclusions. The avalanche rescue device integrates four types of protection systems get stuck in the avalanche. If necessary, set enables long-term stay in the snow mass theoretically ensures survival at all probable situations.

Acknowledgments. The authors express their gratitude to GPS Control SA for financial support of the study.

References:

1. Венелин Живков, Филип Филипов, Петър Гецов, Гаро Мардиросиян, Георги Сотиров, Стоян Велкоски, Петър Мандиев, Лавинно спасителен комплект при попадане в движеща се лавина, Патентно ведомство на Република България, заявка № 112046 от 1 юли 2015.
2. Elenkov L., Dalgacheva V., Donova T., (2014), Dynamics of the forest fires and their impact on the engineering equipment of the electrical network, Days of Mechanics Varna 2014, ISSN 0861-9727.
3. Jivkov V., Philipoff Ph., Elenkov L., Dalgacheva V., Donova T., (2014), Spectral Properties of Multi Mass Systems, Days of Mechanics - Varna 2014, ISSN 0861-9727.
4. Liuben Elenkov, Vesselina Dalgacheva, Vladimir Pasovet, Ruslan Gorbatscevich, Borislav Ganev, Stoyan Velkoski, Philip Michaylov, Modeling and simulation of engineering structures and equipment under dynamic and temperature loadings, 15th International Scientific Conference VSU'2015, ISSN: 1314-071X, 4-6 Juny 2015, Sofia, Bulgaria, Vol. I, pp. 172-177.
5. Liuben Elenkov, Vesselina Dalgacheva, Vladimir Pasovet, Ruslan Gorbatscevich, Borislav Ganev, Stoyan Velkoski, Philip Michaylov, Spectral properties of structures and equipment under dynamic and temperature loadings, 15th International Scientific Conference VSU'2015, ISSN: 1314-071X, 4-6 Juny 2015, Sofia, Bulgaria, Vol. I, pp. 178-183.
- 6 Vesselina Dalgacheva, Maria Atanasova-Elenkova, Liuben Elenkov, Tania Denova, Protection of electric power lines of risk processes, Days of Mechanics Varna 2015, ISSN 0861-9727, Varna 2015. (in print).
7. Liuben Elenkov, Vesselina Dalgacheva, Tanya Denova, Protection of electric power lines in case of forest fires. Scientific Confer. "Space, Ecology, Safety", 4–6 November 2015, Sofia, Bulgaria.

HIGH POWER WIND TURBINES OPERATING IN THE URBAN ENVIRONMENT AND GREEN HOUSE MEMBRANE OVER THE GEOTHERMAL INSTALLATION

**Venelin Jivkov¹, Philip Philipoff², Petar Getcov³, Garo Mardirossian³,
Georgi Sotirov³, Atanas Kovachev⁴, Stoian Velkoski⁵,
Petar Mandiev², Maria Atanasova-Elenkova⁶**

¹*Technical University – Sofia*

²*Institute of Mechanics – Bulgarian Academy of Sciences*

³*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*

⁴*Forestry University-Sofia*

⁵*Institute GAPE – Skopje*

⁶*University Obstetrics and Gynecology Hospital “Maichin Dom”*

e-mail: jivkov@tu-sofia.bg, philip_philipoff@imbm.bas.bg, philip.philipoff.auto@gmail.com,
director@space.bas.bg, mardirossian@space.bas.bg,

GSotirov@space.bas.bg, atanas_kovachev@mail.bg, contact@igape.edu.mk,
pmandiev@imbm.bas.bg, bas.pmandiev@gmail.com, elenkov@swu.bg

Keywords: Wind turbines, Urban environment, Greenhouses, Geothermal installations.

Abstract: High power wind turbines have a common axis with the main building structure. Vibration of wind turbines can be extinguished using light nanomaterials for the wind turbine rotor. It rests on bearings insulated with rubber pads of the primary concrete structure of the building. Membrane of greenhouse warming geothermal installation ends with a wind turbine, powered by an warm air rising over greenhouse.

ВЯТЪРНИ ТУРБИНИ С ГОЛЯМА МОЩНОСТ, РАБОТЕЩИ В ГРАДСКА СРЕДА И ОРАНЖЕРИИ, РАБОТЕЩИ С ГЕОТЕРМАЛНИ ИНСТАЛАЦИИ

**Венелин Живков¹, Филип Филипов², Петър Гецов³, Гаро Мардиросян³,
Георги Сотиров³, Атанас Ковачев⁴, Стоян Велкоски⁵,
Петър Мандиев², Мария Атанасова-Еленкова⁶**

¹*Технически университет – София*

²*Институт по механика – Българска академия на науките*

³*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*

⁴*Лесо Технически Университет – София*

⁵*Институт ГАПЕ – Скопие*

⁶*Университетска болница по акушерство и геникология „Майчийн дом”*

e-mail: jivkov@tu-sofia.bg, philip_philipoff@imbm.bas.bg, philip.philipoff.auto@gmail.com,
director@space.bas.bg, garo.mardirossian@gmail.com,

GSotirov@space.bas.bg, atanas_kovachev@mail.bg, contact@igape.edu.mk,
pmandiev@imbm.bas.bg, bas.pmandiev@gmail.com, elenkov@swu.bg

Ключови думи: Вятърни турбини, Урбанизирана среда, Оранжерии, Геотермални инсталации.

Резюме: В доклада се разглеждат вятърни турбини с голяма мощност и ос съвпадаща с оста на основната конструкция на сградата. Вибрациите на вятърните турбини може да се погасят с помощта на наноматериали от които е изработен ротора на вятърна турбина. Турбината е върху лагери, изолирани с гумени тампони върху основната на стоманобетонната конструкция на сградата. Мембрана на оранжерия (затопляна от геотермална инсталация) завършва с вятърна турбина. Тя се задвижва от топълия въздух, издигащ се към върха на съоръжението.

Introduction. The dynamic behavior of the common mechanical structures can model by the theory, presented in the several publications [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. The dynamics of the wind turbine structures have similar behavior.

Exposition. In the fig.1 is presented the scheme of high power wind turbine. It is applicable to operating in urban environments. High power of the wind turbine is determined by balancing the generator axis and the axis of the building structure. Generator stator is mounted on a main building structure. It is made of heavy materials. Rotor package is placed in the parapet of the main building structure. It is made of light materials. This combination of materials isolated the high frequency component of the spectrum of the vibrations. Low-frequency part of the spectrum of the vibration is isolated by rubber isolators used in railway transport. The effectiveness of the presented high power wind generator depends on coupling of the building and the turbines axes.

The other wind turbine structure is presented on the figure 2. The structure of green house consists of membrane part and geo thermal installation under it, shown on the figure. This is the structure with continuous operating wind generator. The hot air under the green house structure rises and drives the turbine. The membrane is supported by a ring with helium or light metal central column.

Position A represents a geothermal heat exchanger. Position B represents a triple serpentine drilling. The use of system A or B provides geothermal water with a temperature 13 degrees. The heat pump 2 increases the water temperature to working values. In case of areas with water with hot geothermal temperature the heat pump may be missing from the scheme 2. Such areas are in southwestern Bulgaria.

The presented scheme further provides heat for the greenhouse and electricity from the wind turbine. This is a scheme and ongoing turbine.

Another scheme of the continuous operating turbine is represented in the fig. 4. Through small nozzles of the car is supplied airflow. These small nozzles do not create a large air resistance. Jet spinning rotor turbine made of lightweight material.

Presented three designs show three examples of effective use of wind to produce electricity.

There are many other schemes of efficient airflow. In buildings heating creates low heat flows, which also can be used to produce electricity. Figure 3 shows detail of rotor package. Figure 4 shows air turbine mounted on the automobile. The electrical part of the generators is not presented in the details. They can be mounted over the working plane of the rotors.

Conclusions. These structures will be the subject of future researches.

Acknowledgement. The authors express their acknowledgment to GPS Control SA for the financial support of the study.

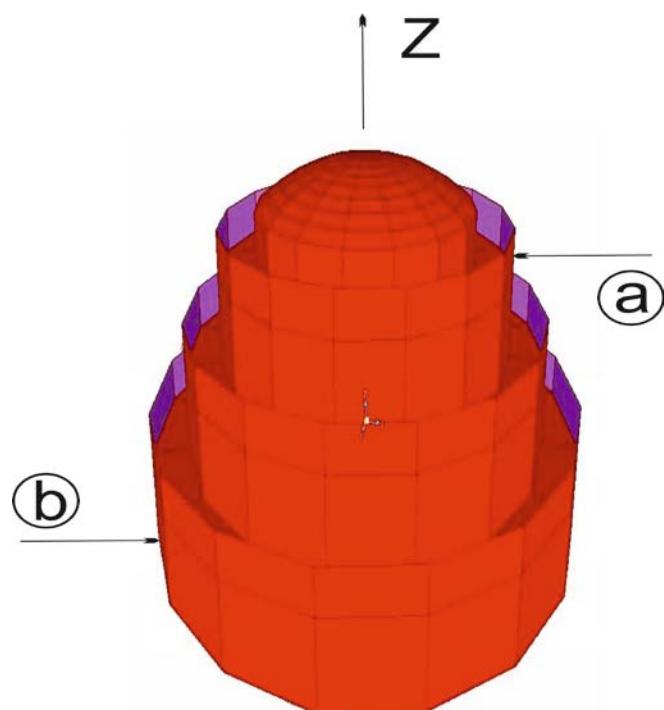


Fig. 1. Coupling of the building Z and the turbines axes
a - Rotor package of the wind turbine; b - Main structure (stator of the wind turbine)

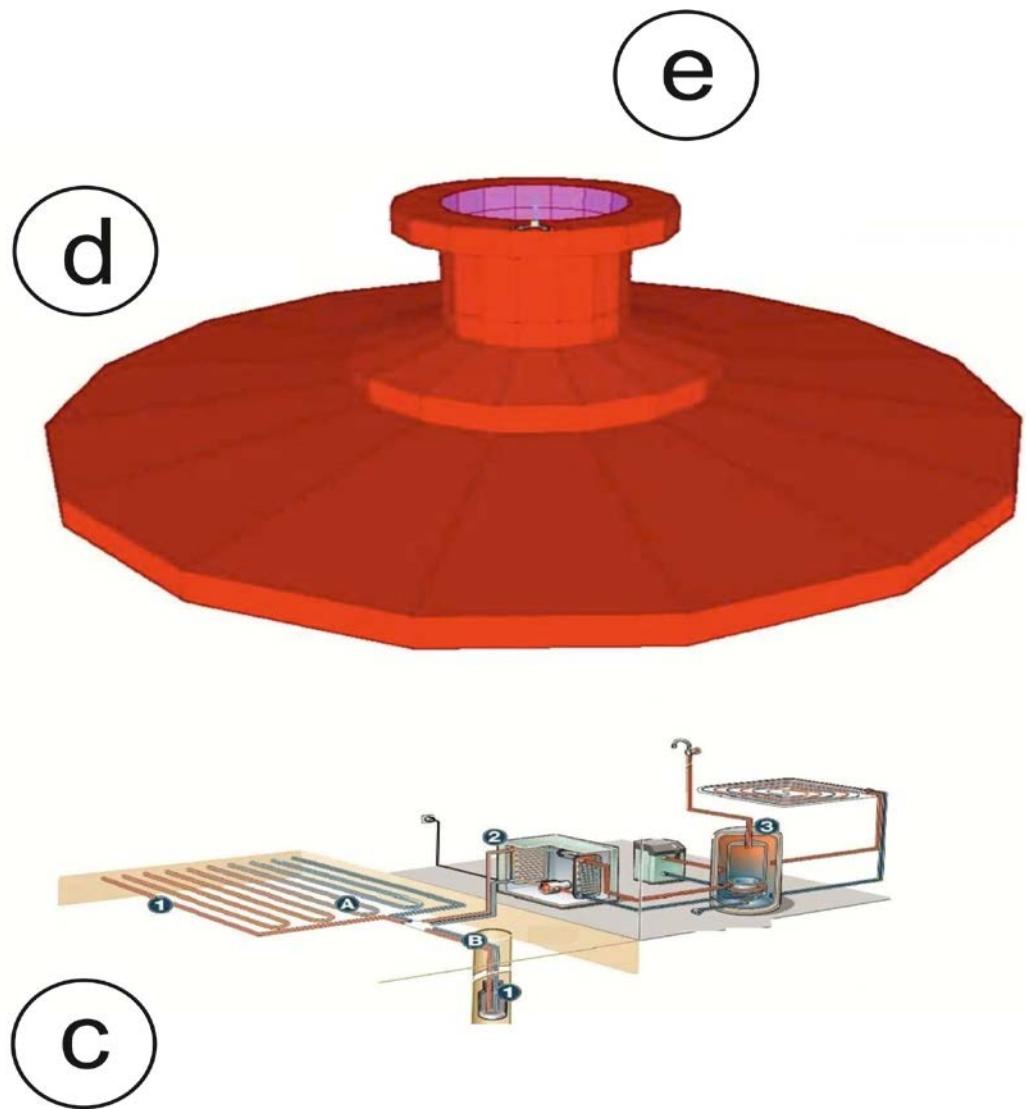


Fig. 2. Green house membrane over the geothermal installation:
c – geothermal installation, d – membrane, e – wind turbine and helium ring or central column

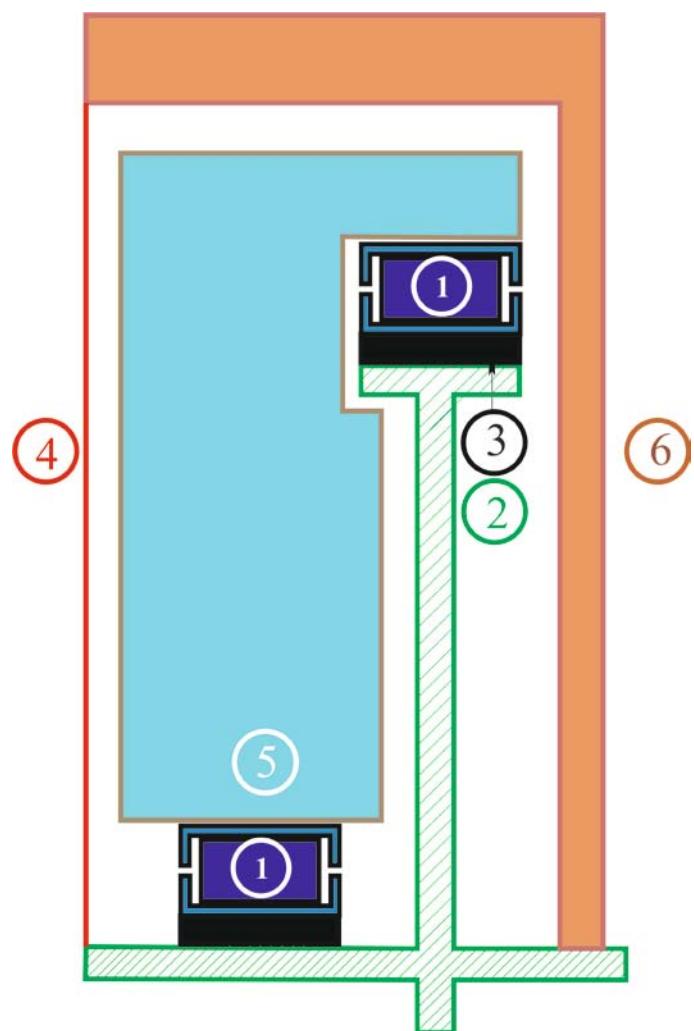


Fig. 3. Detail of rotor package: 1 - Roller bearing diameter of the building;
2 - Roof reinforce concrete plate; 3 - Rubber insulator applied in railway;
4 - Thick steel mesh; 5 - Working plane of the rotor; 6 - Internal housing railing.

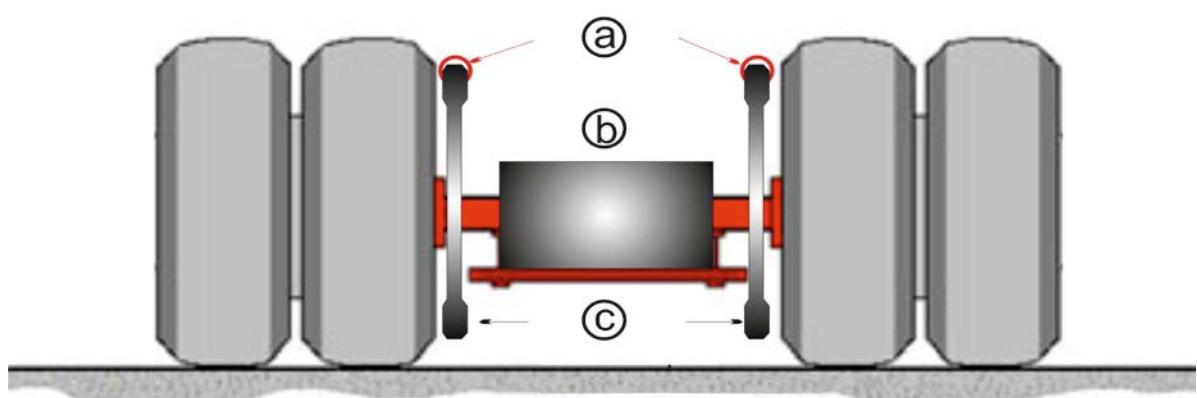


Fig. 4. Air turbine mounted on the automobile:
a – air nozzle; b – electro generator; c – rotor

References:

1. Philipoff, Ph., N. Shopolov, K .Ishtev, P. Dineva, (1997), "Wave Propagation in Multilayered Media", Pergamon, Nonlinear Analysis, Theory, Methods & Applications, Vol. 30, No.4, pp. 2031-2040.
2. Philipoff, Ph., (2003), SH Wave Propagation trough Multilayer Media, Journal of Theoretical and Applied Mechanics N3, pp. 79-98.
3. Philipoff, Ph., Ph.Michaylov, (2007), "BELENE Nuclear Power Plant Numerical and Experimental Bedrock, Layers and Surface Signals", J. Applied Mathematical Modeling, 31 (2007), pp. 1889-1898, Elsevier.
4. Philipoff, Ph., Ph.Michaylov, (2007), "BELENE" Nuclear Power Plant Numerical and Experimental Free Field Signals, Siberian Journal Applied Mathematics, RAN – Siberian Branch Novosibirsk, (Сибирский журнал вычислительной математики, РАН, Сиб.отд-ние Новосибирск, т. 10, N1, с. 105-122), v.10, N1, pp. 105-122.
5. Jivkov, V., Philip Philipoff, Anastas Ivanov, Mario Munoz, Galerida Raikova, Mikhail Tatur, Philip Michaylov, (2013), Spectral properties of quadruple symmetric real functions. Applied Mathematics and Computation 221 (2013) pp. 344–350
6. Vasilev, G., M. Ivanova, Z. Bonev, (2014), Long in plan buried structures subjected to seismic wave propagation, Mistral Service sas Via U. Bonino, 3, 98100 Messina (Italy), ISBN: 978-88-98161-05-8
7. Elenkov, L., Dalgacheva V., Donova T., (2014), Dynamics of the forest fires and their impact on the engineering equipment of the electrical network, Days of Mechanics Varna 2014.
8. Jivkov, V., Philipoff Ph., Elenkov L., Dalgacheva V., Donova T., (2014), Spectral Properties of Multi Mass Systems, Days of Mechanics Varna 2014.
9. Elenkov, L., Vesselina Dalgacheva, Vladimir Pasovec, Ruslan Gorbatscevich, Borislav Ganев, Stoyan Velkoski, Philip Michaylov, Modeling and simulation of engineering structures and equipment under dynamic and temperature loadings, 15th International Scientific Conference VSU'2015, Sofia.
10. Elenkov, L., Vesselina Dalgacheva, Vladimir Pasovec, Ruslan Gorbatscevich, Borislav Ganev, Stoyan Velkoski, Philip Michaylov, Spectral properties of structures and equipment under dynamic and temperature loadings, 15th International Scientific Conference VSU'2015, Sofia.
11. Dalgacheva, V., Maria Atanasova-Elenkova, Liuben Elenkov, Tania Denova, Protection of electric power lines of risk processes, Days of Mechanics Varna 2015.
12. Elenkov, L., Vesselina Dalgacheva, Tanya Denova, Protection of electric power lines in case of forest fires, Space, Ecology, Safety, 4 – 6 November 2015, Sofia, Bulgaria
13. Jivkov, V., Philip Philipoff, Petar Getcov, Garo Mardirossian, Georgi Sotirov, Stoian Velkoski, Petar Mandiev, Avalanche rescue operation device in avalanche moving conditions, Space, Ecology, Safety, 4 – 6 November 2015, Sofia, Bulgaria.

Session 5

***Space Material Science
and
Nanotechnology***

Chairman: Prof. Dimitar Teodossiev
Secretary: Assoc. Prof. Zdravka Karaguiozova

A TIGHT-BINDING STUDY OF THE QUANTUM CONFINED STARK EFFECT IN SOME TRIANGULAR QUANTUM WELLS

Adelina Miteva¹, Anna Bouzekova-Penkova¹, Temenужка Купенова²

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
²Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: ad.miteva@gmail.com; a_bouzekova@abv.bg; kupenova@inrne.bas.bg

Keywords: Semiconductor quantum wells, quantum confined Stark effect, tight binding method, AlGaAs, electronic states, electric field, graded-gap quantum wells

Abstract: In this paper are calculated electronic and hole states in semiconductor quantum wells with variable chemical composition (graded-gap quantum wells), namely triangular quantum wells, with and without the application of a longitudinal constant electric field. The energies of the main optical transitions and their spatial distributions are calculated with and without the application of electric field. The aim of this work is the comparison of these quantum wells (that are the same width but with different inclinations of the linear concentration profile) in the presence of an electric field. A comparison with the available experimental data for these quantum wells has been made.

ПРЕСМЯТАНЕ НА КВАНТОВО ОГРАНИЧЕНИЯ ЩАРК ЕФЕКТ С МЕТОДА НА СИЛНАТА ВРЪЗКА В НЯКОИ ТРИЪГЪЛНИ КВАНТОВИ ЯМИ

Аделина Митева¹, Анна Бузекова–Пенкова¹, Теменужка Купенова²

¹Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
²Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика – Българска академия на науките
e-mail: ad.miteva@gmail.com; a_bouzekova@abv.bg; kupenova@inrne.bas.bg

Ключови думи: Полупроводникови квантови ями, квантово ограничен Щарк ефект, метод на силната връзка, AlGaAs, електронни състояния, електрично поле, квантови ями с променлив химичен състав

Резюме: Пресметнати са електронните и дупчески състояния в полупроводникови квантови ями с променлив химичен състав, а именно триъгълни квантови ями, без и при прилагане на надължно постоянно електрическо поле. Пресметнати са енергиите на основните оптични преходи с и без поле, както и пространствените им разпределения. Целта на работата е да се сравнят пресметнатите квантови ями, които са с еднаква ширина, но с различен наклон на линейния концентрационен профил в присъствието на постоянно електрическо поле. Направено е сравнение с наличните експериментални данни за такива квантови ями.

Introduction

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). These properties enable one to utilize QWs for high-performance room temperature optoelectronic devices. Moreover, to improve the performance of these optical devices, band structure modifications in QWs have also been investigated. The electric field effects (Stark effects) on the graded-gap QW structures, where the band gap of the well is inclined along the growth direction, are one of the most promising among the modifications for applications of making various fast optoelectronic devices [1,2,3]. The modification of the well potential shape can create different optical properties and thus optimize nanostructure-based devices compared to conventional rectangular QWs (RQWs). The aim

of this study is to conduct numerical calculations with one of the methods, which is widely used for atomistic investigation of semiconductor nanostructures – the empirical tight binding method. Numerical calculations within the framework of a realistic tight-binding (TB) model for the electron and hole bound states of some semiconductor nanostructures, namely of asymmetric triangular quantum wells with different depths, in the presence of a constant electric field have been made.

Model and method

In this work we present the numerical calculations results of single quantum wells of the type $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, with an asymmetric triangular concentration profile. This profile is realized by linear variation of the concentration within the well region. The electric field is applied parallel to the growth axis [001]. The three QWs under study have a width equal to 44 monolayers. One monolayer is equal to $2.825 \times 10^{-10} \text{ m}$. The concentration x of Al in $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ barrier for all of the wells is constant and equals to 0.36, i.e. all barriers are semiinfinite and with a composition $\text{Al}_{0.36}\text{Ga}_{0.64}\text{As}$. The concentration x of Al in the well varies linearly from 0.02 at the left edge of the well to 0.12 (QW1), 0.24 (QW2) and 0.36 (QW3) at the right edge of the well, respectively for the three considered QWs: QW1, QW2 and QW3, as shown schematically in Fig . 1. In Fig. 1 QWs are shown without applied electric field. The calculations are made for temperature $T = 0 \text{ K}$.

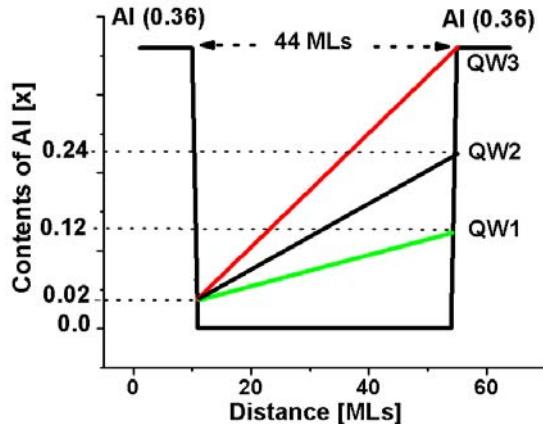


Fig. 1. Scheme band diagram of the three calculated quantum wells. The profiles of the contents x of Al is shown, it coincides with the potential energy profile of quantum well

We use the sp^3s^* spin-dependent semi-empirical tight-binding model as it is described in [4]. The virtual crystal approximation is used for the description of the TB parameters $\text{TB}(x)$ of the alloy $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$:

$$\text{TB}(x) = x \cdot \text{TB}(\text{AlAs}) + (1-x)$$

We use surface Green function matching technique, in order to calculate the Green function of the infinite system containing the finite inhomogenous slab. We define the presence of an external static electric field by adding an linearly varying with the distance term to the diagonal elements of the TB Hamiltonian matrix. This method allows also realistic TB calculations of the electronic states in quantum wells with variable concentration profile in the presence of a constant electric field (F) [5,6]. Electric fields are applied between the first and the last monolayer of the QW in the direction of crystal growth. In barrier areas in all QWs electric field is zero. All QWs have a width of $N = 44 \text{ MLs}$. Everywhere direction of crystal growth [100].

Results

Tables 1, 2 and 3 show the all calculated main bound electron and hole energies of the three QWs under study without and in the presence of a constant electric field F . C1 and C2 are the conduction band bound states, and HH1, LH1 and HH2 are the valence band bound states. Some of this energies are partially investigated [7]. For all three QWs the behavior of the energies is similar: they decrease or increase with increasing or decreasing the applied electric field. We note the following dependence: the higher the content of Al in quantum well (QW3 has the highest content of Al), the higher is the value of the energy state in the conduction band, depending on the applied electric field. The above dependence is also valid for energies in the valence band.

Table 1. Main calculated bound electron (C1 and C2) and hole (LH – light holes and HH – heavy holes) energies (eV) for QW1 (see Fig. 1) without and with the application of a constant electric field F (kV/cm)

F [kV/cm]	C1 [eV]	C2	HH1	LH1	HH2
-212.4	2.228	2.328	0.689	0.665	0.638
-141.6	2.212	2.296	0.619	0.602	0.583
-70.8	2.193	2.259	0.555	0.545	0.537
0.0	2.169	2.216	0.515	0.504	0.493
70.8	2.135	2.172	0.495	0.478	0.455
141.6	2.085	2.130	0.480	0.459	0.427
212.4	2.025	2.088	0.468	0.444	0.403

Table 2. The same as in Table 1, but for QW2

F [kV/cm]	C1 [eV]	C2	HH1	LH1	HH2
-212.4	2.245	2.361	0.638	0.619	0.598
-141.6	2.231	2.334	0.571	0.560	0.549
-70.8	2.216	2.304	0.484	0.479	0.454
0.0	2.198	2.269	0.500	0.483	0.465
70.8	2.176	2.229	0.484	0.465	0.433
141.6	2.147	2.183	0.449	0.409	0.365
212.4	2.100	2.14	0.461	0.436	0.388

Table 3. The same as in Table 1, but for QW3

F [kV/cm]	C1 [eV]	C2	HH1	LH1	HH2
-212.4	2.260	2.389	0.588	0.577	0.563
-141.6	2.248	2.367	0.532	0.525	0.497
-70.8	2.235	2.340	0.505	0.492	0.475
0.0	2.220	2.312	0.489	0.470	0.442
70.8	2.203	2.278	0.475	0.454	0.416
141.6	2.182	2.239	0.464	0.440	0.394
212.4	2.156	2.194	0.455	0.428	0.375

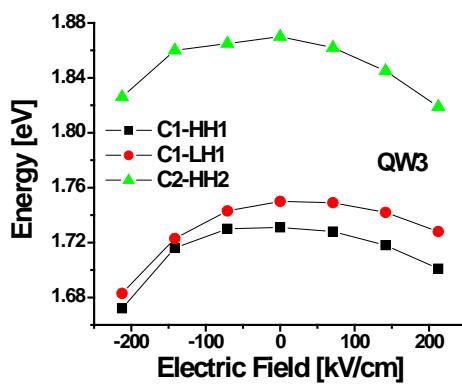


Fig. 2. Dependence of the main optical transitions from the applied electric field F for QW3.
(C1-HH1) - rectangles, (C1-LH1) - circles and (C2-HH2) – triangles.

From Fig. 2 and the other data for QW1 and QW2, of the energies of the main optical transitions, we conclude that they are greatest in QW3 than in QW1 and QW2, at the same value of the applied field F.

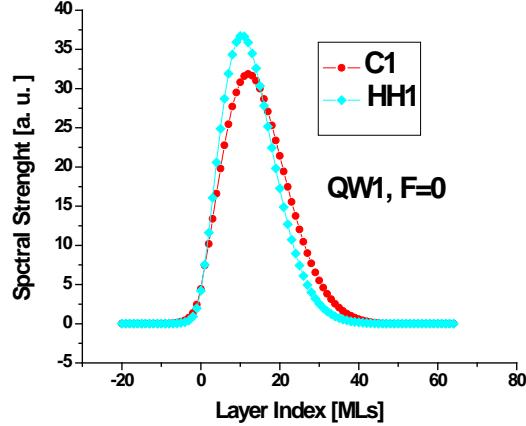


Fig. 3. Spatial distributions of the total spectral strength for C1 and HH1 states in QW1.
The electric field intensity F is zero.

We have calculated the total spectral strength spatial distributions for all states, corresponding to the energies given in tables 1-3. But for the lack of space we couldn't give them all here. In Fig. 4 are shown the results of the total spectral strength spatial distributions. The applied electric field intensity F is given on the picture. For the three QWs there is a complete overlap of the spatial distributions at $F=0$ kV/cm (see Fig. 3 for QW1). A displacement of the spatial distributions of C1, HH1 and LH1 states appears at electric field $F \neq 0$. It is larger for QW1 than for QW2 and QW3. Namely it is larger for QW with smaller Al content (most shallow). We can conclude that QW1 is not suitable for applications at such fields, as F very quickly moves the electrons and holes outside QW. On Fig. 4 we see that for QW2 and QW3 (see Fig. 5) the critical value of the electric field is achieved. At the critical value the intensity of the optical transition tends to zero due to the absence of spatial overlap between the states.

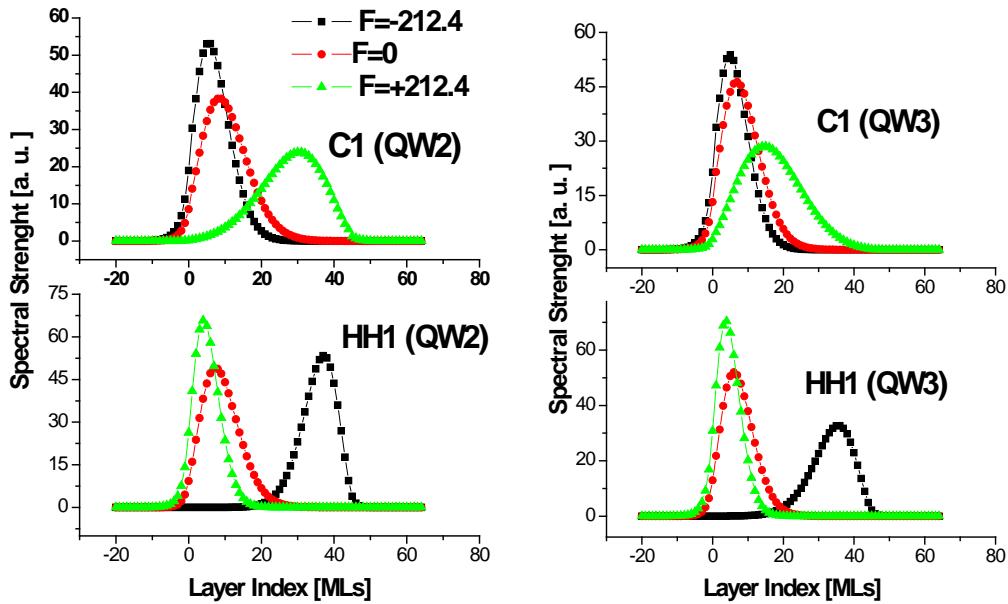


Fig. 4. Spatial distributions of the total spectral strength for C1 and HH1 states in QW2 and in QW3.
The electric field intensity F is given on the picture

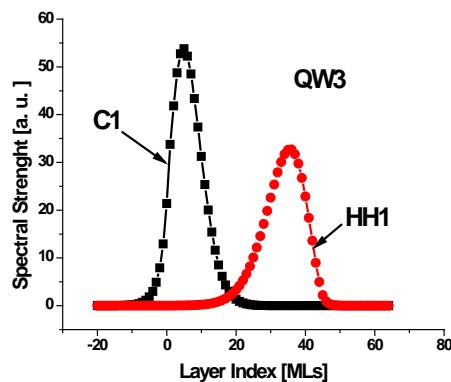


Fig. 5. Spatial distributions of the total spectral strength for C1 and HH1 states in QW3.
The electric field intensity F is the critical value of the electric field

Concluding remarks

We may conclude that QW3 has the better Stark effect characteristics than QW2 and QW1. And also, the composition profile of QWs is essential in their Stark effect characteristics. The actual composition profiles of QWs, experimentally obtained, may differ significantly from those of the ideal QW stricture. Then a more realistic calculation would require taking account of the measured composition profile. With the method used here there would be no difficulty in taking in full account of any details of a realistic model that one might want to study. The work is in progress in this direction. Such investigations will help to find a QW potential profile with better Stark effect characteristics. The investigation of the electric field effects on the optical properties of the QW structures with graded-gap potential profiles is essential for the optimization of QW-based devices.

References:

1. Di Carlo, A., Semicond. Sci. Technol. 18 (2003) R1-R31
2. Singh, J., Physics of Semiconductors and Heterostructures (McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1993)
3. Weisbuch, C., B. Vinter, Quantum Semiconductor Structures (Academic Press Limited, London, 1991)
4. Vlaev, S. J., F. Garcia-Moliner, V. R. Velasco, Phys. Rev. B, 52 (1995) 13784-13787
5. Vlaev, S. J., A. M. Miteva, D. A. Contreras-Solorio, V. R. Velasco, Surf. Sci. 424 (1999) 331-339
6. Vlaev, S. J., A. M. Miteva, D. A. Contreras-Solorio, V. R. Velasco, Superlat. and Microstruct. 26 (1999) 325-332
7. Бузекова-Пенкова, А., Относно свойствата на някоиnanoструктури в присъствието на постоянно електрично поле, Proceedings of 26-th International Scientific Conference, 13-16 September, 2010, Sozopol, Bulgaria, 300-305

ELECTROLESS DEPOSITION OF METALIC COATINGS ON MAGNESIUM ALLOYS

Zdravka Karaguiozova

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: karazuzi@yahoo.com, aleksander.ciski@imp.edu.pl

Keywords: Electroless coatings, nickel coatings, zinn coatings, copper coatings, magnesium alloys

Abstract: Magnesium is the subject of interest from scientists due to his lightness combined with strength. Magnesium density is only two thirds of the aluminum's. This is a reason magnesium and its alloys to be widely applicable in areas of the industry as aircraft production, automotive and missile construction. This leads to fuel economy and reduced weight.

A big problem for the magnesium and its alloys utilizing is its high chemical activity, which generates corrosion of the surfaces. To achieve optimum results in term of corrosion and wear protection of magnesium alloys a proper electroless and electrochemical coating deposition technique could be used.

The complicated behavior of the magnesium and its alloys during plating or chemical treatment processes requires the use of a specific pretreatment leading to equipotential material surface the technically and economically viable coating systems to be produced.

ОТЛАГАНЕ НА МЕТАЛНИ ПОКРИТИЯ ПО БЕЗТОКОВ МЕТОД ВЪРХУ МАГНЕЗИЕВИ СПЛАВИ

Здравка Карагъозова

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: karazuzi@yahoo.com, aleksander.ciski@imp.edu.pl

Ключови думи: Безтокови имерсионни покрития, калаено покритие, печатни платки, ецване, ъгъл на омокряне

Резюме: Магнезият представлява интерес за учените поради комбинацията на две негови основни свойства: той е лек и ковък елемент. Пътността на магнезия е две трети от тази на алуминия. Това обяснява широката употреба на магнезий и негови сплави в области на индустрията като самолетостроене, автомобило- и ракетостроенето, което води до икономия на гориво и редукция на теглото.

Голям проблем при използване на магнезий и негови сплави е високата му химическа активност, причина за корозия на повърхността. За постигане на оптимални резултати по отношение на корозионо- и износостойчивост на магнезиевите сплави се предлага приложение на подходящи методи за безтоково и електрохимично нанасяне на покрития.

Комплицираното поведение на магнезий и негови сплави по време на нанасяне на покрития и химическо третиране изисква специфични предварителни подготовки, водещи до еквипотенциална повърхност. По този начин се осигуряват технически и икономически изгодни условия за получаване на качествени покрития.

Introduction

This short review presents some methods for surface treatment of Magnesium and Magnesium alloys in order their high chemical activity to be reduced and their corrosion and wear resistance to be improved.

Since magnesium is less dense than aluminum, with a density of only two thirds of the aluminum, it has countless applications in cases where weight reducing is important, i.e. in aircraft and

missile construction, space industry. Magnesium alloys are prized for its properties of lightness combined with strength [1].

As of 2013, magnesium alloy consumption was less than one million tons per year, compared with 50 million tons of aluminum alloys [2, 3]. Its use has been historically limited by its tendency to corrode, high-temperature deformation, and flammability [4].

For the chemical resistance improvement of Magnesium and its alloys research and development are carried out an expanding the application areas to be achieved. One preferred method for surface properties improvement is metal deposition by electroless or electrochemical methods.

According to the authors [5, 6] only complex and multilayer coatings are able to produce optimum results for surface protection of magnesium alloys, and a great deal of research has to be done furthermore to develop technically and economically viable coating systems.

The coating that acts as a barrier between the metal substrate and the environment has to be uniform, adherent, pore and crack free and self-healing in the applications where damage of the coating can occur [7].

Methods for magnesium surface pretreatment by plating deposition

The most widely used commercial magnesium alloys, i.e. AZ91D and AM60B, contain alloying elements which form intermetallic phases (Fig. 1a). From an electrochemical point of view those phases have different behavior when the alloy is immersed into a solution for plating or chemical treatment. This means that the surface must be made equipotential by modifying the metallurgical structure before the coating process or by a specific surface pretreatment.

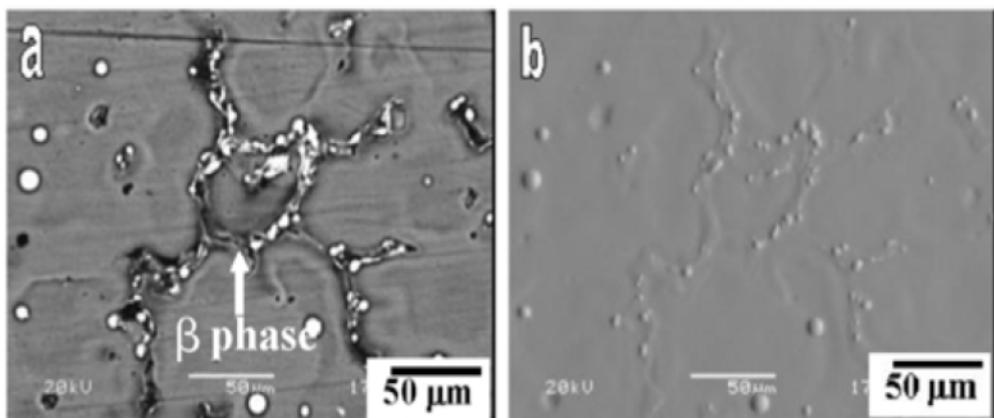


Fig. 1. Initial stages of nickel growth on AZ91 alloy (after 1 min): a) secondary and (b) topographic mode [8]

Chen [9] recently proposed a new galvanizing process based on the deposition of a zinc film by immersion followed by the deposition of a layer of electroplated zinc. The addition of FeCl_3 salts to the zincate bath helped to change the zinc crystal structure and then the coverage and adhesion of the zinc layer (Fig. 2). Before the electroless plating or the electrodeposition on magnesium alloys, a copper strike layer, usually cyanide bath, is electrodeposited on zinc layer in order to provide a uniform coverage. Yu studied the deposition (displacement + electrodeposition) of copper from a pyrophosphate solution over a zinc transition layer deposited from pyrophosphate solution [10].

In another study, a protective copper film on AZ31 magnesium alloy, without zinc pretreatment, was proposed. The aqueous solution containing $0.4\text{M Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 + 0.08\text{M Cu}_2\text{P}_2\text{O}_7 + 0.24\text{M CuSO}_4 + 0.05\text{M NaF}$ was used. A galvanic displacement reaction occurs between copper and magnesium, then copper film is formed on magnesium substrate. After that, electroplating is carried out applying direct current and pulse current using the same copper solution. Yang proposed a procedure in which a copper layer is deposited onto AZ91D, by immersion plating, before EN plating. The solution was optimized in term of temperature, pH and fluoride content by searching the maximum coverage [11-13]. Ultrasonication was found effective in improving the copper immersion coating process, particularly during extended deposition times, beyond the initial stages [14]. Higher coverage of magnesium alloy surface ($> 80\%$) by copper immersion coating was also achieved by using an alkaline bath. The procedure proposed by Yang is schematically represented in Fig. 3 [13].

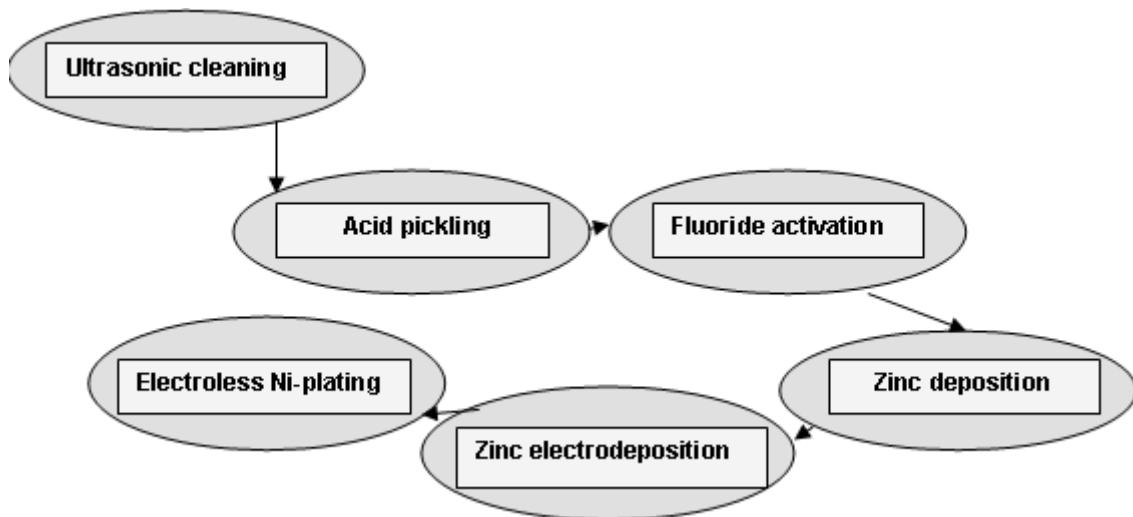


Fig. 2. Flowchart of the overall procedure for coating on the AZ91D magnesium alloy [9]

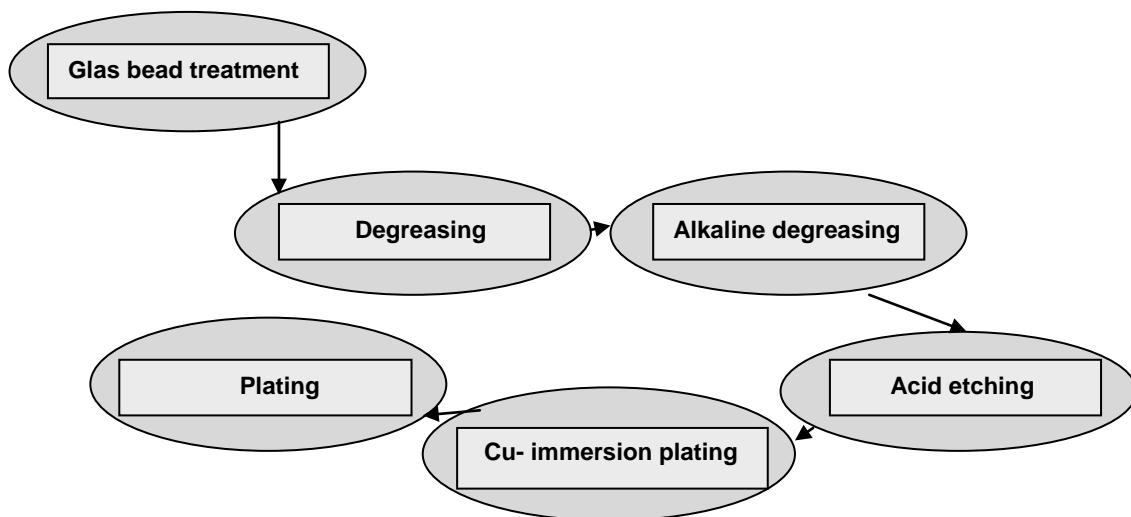


Fig. 3. Flowchart of the procedure for copper immersion coating on the AZ91D magnesium alloy [13]

Methods for surface activation for direct electroless nickel plating on magnesium alloy

Yang presented the results of a research on EN deposition (8 µm, 4.74% phosphorous) and molybdate conversion film pretreatment on Mg-8Li alloy [15] (Fig.4).

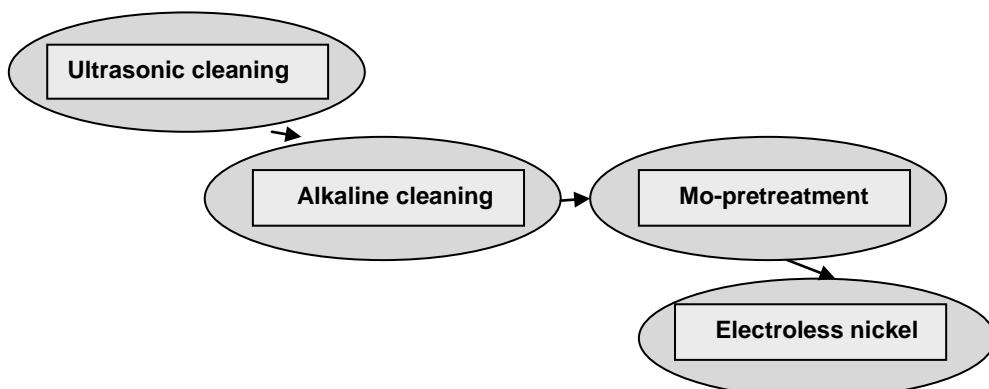


Fig. 4. Flowchart of the molybdate coating and electroless Ni deposition on the Mg-8Li magnesium alloy [15]

Magnesium alloy is disposed by three kinds of acid pickling formula and activation formula and the effect of the three kinds of acid activation formula on magnesium alloy is studied by contrast experiment. The experimental results indicated that after disposed by acid pickling formula of HNO_3 25 ml/L, H_3PO_4 25 ml/L, room temperature and activation formula of $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 80–100 g/L, NH_4F 30–50 g/L, room temperature, magnesium alloy could realize electroless nickel plating directly. The results show that the structure of Ni–P coating is amorphous, the Ni–P coating is very meticulous and uniform, the activation coating is mainly MgF_2 and $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$, and comparing with magnesium substrate, the corrosion potential of magnesium alloys increases by about 1.1 V and the corrosion current density declines obviously. Tested by thermal shock test and file test, the adhesion of magnesium alloy and Ni–P coating is good. Fig. 5 shows the section figure of magnesium alloy electroless nickel plating, it is seen from the figure that nickel plating is well combined with the substrate.

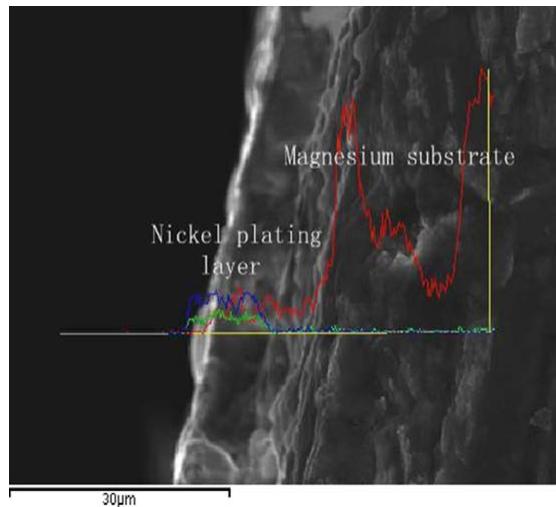


Fig. 5. Cross section morphology of Ni–P coating on magnesium alloy.[16]

The surface morphology of nickel plating layer is observed to find out the early growth rule of nickel layer. Fig. 6 shows the surface morphology and energy spectrum analysis of the electroless nickel plating for magnesium alloys in the early growth process. Fig. 6(a)–(e) respectively shows the surface morphology and element distribution map during the plating time of 10 s, 30 s, 60 s, 120 s and 240 s.

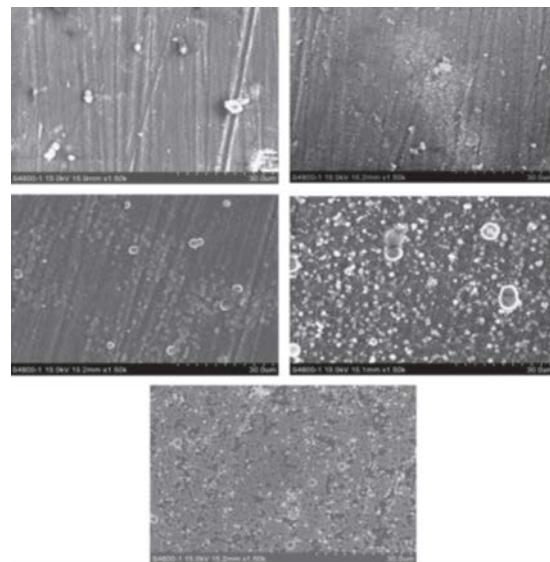


Fig. 6. Beginning growth process of electroless nickel plating on magnesium alloy.
(a: 10s, b: 30s, c: 60s, d: 120 s, e: 240 s)

After continuous plating for 30 min, the surface of plating is completely covered with nickel–phosphorus alloy layer and its structure is shown in Fig. 7: belonging to the sub-crystalline structure of coating.

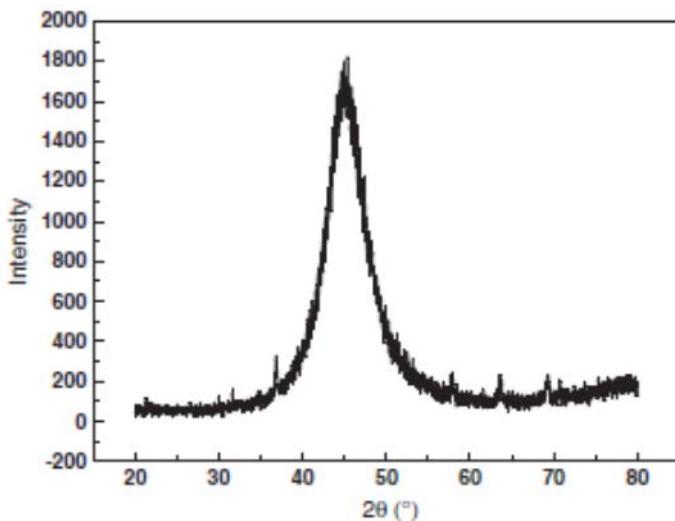
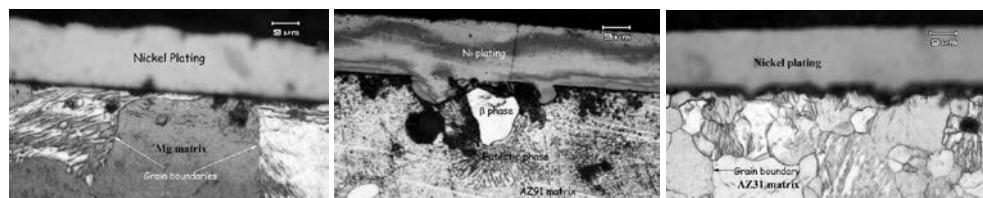


Fig. 7. X-Ray patterns of Ni_xP coating on Magnesium alloy

Authors [17] investigate the influence of the chemical pretreatment before direct electroless nickel plating on the surface roughness (Fig. 8). It is found the substrate surface roughness increases significantly after pretreatment process, although to different degrees for different alloy substrates. The coating surface roughness on the pure Mg substrate increases compared to the chemical pretreated surface. On the contrary, the coating roughness on AZ31 and AZ91 alloys decreases after plating (Table 1). Figs.9-11 show that the interface between the coating and AZ31 substrate has a rather high roughness and a more uniform distribution than other interfacial systems, consistent to the highest Lc value of 13N. In contrast with the smallest Lc (8.7N) and rather smooth interface between pure Mg substrate and plating, it is believed that the interfacial mechanical interlocking effect plays a more important role in improving adhesion strength than the substrate hardness in this coating system. Nevertheless, various substrate composition and microstructure leads to different surface roughness after etching, influencing the coating performance.

Table 1. Surface roughness value Ra (μm) and mechanical performance

Sample	Before etching	Before platin	After plating (110min)	Substrate hardness (HV50g)	Coating hardness (HV50g)	Adhesion strength Lc (N)
Mg	0.05±0.01	0.15±0.03	0.36±0.06	55±10	580-610	8,7
AZ31	0.05±0.01	0.37±0.06	0.22±0.04	75±10	580-610	13,1
AZ91	0.05±0.01	1.2±0.2	0.32±0.05	95±10	580-610	10,1



9

10

11

Fig. 9-11 Cross section optical micrograph of electroless Ni plating on 9- pure Magnesium, 10- AZ31, 11-AZ91 substrates

Stage no.	Constituent or condition	Value or range	
1	Ultrasonic degreasing	Ethanol	5–10 min
2	Alkaline cleaning	NaOH	50 g/L
		Na ₃ PO ₄	10 g/L
		Temperature	333±5 K
		Agitation	Mild, magnetic
		Time	8–10 min
3	Acid etching (pickling)	CrO ₃	125 g/L
		HNO ₃ (70% V/V)	110 mL/L
		Temperature	Ambient (293K)
		Agitation	Vigorous, magnetic
		Time	30–60 s
4	Fluoride activation	HF (40%V/V)	385 mL/L
		Temperature	Ambient (293K)
		Agitation	Mild, magnetic
		Time	10 min
5	Electroless nickel plating and operating conditions	Basic nickel carbonate	10 g/L
		HF (40% V/V)	12 mL/L
		Citric acid	5 g/L
		Ammonium bifluoride	10 g/L
		Sodium hypophosphite	20 g/L
		Ammonium hydroxide 25%	30 mL/L
		pH (colorimetric)	4.5–6.8
		Temperature	349–353 K
		Agitation required	Mild mechanical

¹ Water rinse about 1–2 min is omitted after each step in this table.

Fig. 8 Sequences of operations

Conclusions and outlook

The study presents a short overview for some surface treatment of Magnesium and Magnesium Alloys the better corrosion and wear resistance of the surface to be achieved. Many Authors focus their attention on the electroless and electrochemical plating methods for production of high quality coatings to expand the application areas of these materials.

Considering Magnesium lightness combined with strength it is too promising to investigate novel coatings with improved properties for application in areas of the industry as aircraft production, automotive and missile construction, also space technology.

Our achievements in recent Years about improved properties of electroless nickel and composite nickel coatings give us a reason to be optimistic about possibilities for using these coatings to ensure a bright future of Magnesium and its alloys.

References:

1. Aghionm, E., Bronfin B. "Mg Alloys Development towards the 21 –st Century". Materials Science Forum, 350-351, 2000, pp.19-30.
2. Miteva, A. "Possibilities for aluminum and aluminum alloys strengthening on the base of the structure analysis". Proceedings of the Annual Academic Scientific Conference with International participation, 8, Veliko Tarnovo, 2011, pp. 126-129.
3. Miteva, A., "On the microstructure and strengthening of aluminum and aluminum alloys". Tribological Journal BULTRIB, III, 2013, pp. 367-370.
4. Ddodson, B. "Stainless magnesium breakthrough bodes well for manufacturing industries". Gizmag.com, Retrieved 29 08.2013.
5. Gray, J. E., B. Luan B. "Protective coatings on magnesium and its alloys — a critical review". Journal of Alloys and Compounds, 336, 1-2, 2002, pp.88-113.
6. Natarajan, S., V. Sivan, P.G. Tennyson, V.R. Kiran. "Protective coatings on magnesium and its alloys - a critical review". Journal of Corrosion prevention & Control, 51, 4, 2004, pp. 142-163.
7. Massimiliano, B., A. Da Forno. "Electroless and Electrochemical Deposition of Metallic Coatings on Magnesium Alloys Critical Literature Review". Magnesium Alloys - Corrosion and Surface Treatments, Frank Czerwinski (Ed.), InTech, <http://www.intechopen.com/books/magnesium-alloys-corrosion-and->

surface-treatments/electroless-and electrochemical-deposition-of-metallic-coatings-on-magnesium-alloys-critical-literat].

8. Ambat, R., W. Zhou. " Electroless nickel-plating on AZ91D magnesium alloy: Effect of substrate microstructure and plating parameters". Surface and Coatings Technology, 179, 2-3, 2004, pp. 124-134.
9. Chen, J., G. Yu, B. Hu, Z. Liu, L. Ye, Z. Wang. "A zinc transition layer in electroless nickel plating". Surface and Coatings Technology, 201, 3-4, 2006, pp. 686-690.
10. Yu, G., Y. E. Liu, B.N. Hu, Z. Liu, L.Y. Ye. "Investigation of electroplating copper in pyrophosphate on magnesium alloy". Journal of Hunan University Natural Sciences, 32, 4, 2005, pp.77-81.
11. Yang, L., B. Luan. "Copper immersion deposition on magnesium alloy: The effect of fluoride and temperature". Journal of the Electrochemical Society, 152, 7, 2005, pp. C474-C481.
12. Yang, L., B. Luan, W.J. Cheong, J. Jiang. "Optimization and performance analysis of copper immersion coating on AZ91 magnesium alloy". Journal of Coatings Technology Research, 2, 2005b, pp. 493-498.
13. Yang, L., B. Luan, J. Nagata. "Novel copper immersion coating on magnesium alloy AZ91D in an alkaline bath". Journal of Coatings Technology Research, 3, 3, 2006, pp. 241-246.
14. Yang, L., B. Luan, W.J. Cheong, J. Jiang. "Sono-immersion deposition on magnesium alloy". Journal of the Electrochemical Society, 152, 3, 2005c, pp. C131-C136.
15. Yang, L., J. Li, Y. Zheng, W. Jiang, M. Zhang. "Electroless Ni-P plating with molybdate pretreatment on Mg-8Li alloy". Journal of Alloys and Compounds, 467, 1-2, 2009, pp. 562-566.
16. Shao, Z., Cai Z., Hu R., Wei S. "The study of electroless nickel plating directly on magnesium alloy". Surface & Coatings Technology , 249, 2014, pp. 42-47.
17. Liu, Z., Gao W. "The effect of substrate on the electroless nickel plating of Mg and Mg alloys". Surface&Coatings Technology, 200 , 2006, pp. 3553-3560.

DISPLACEMENT (IMMERSION) TIN PLATING

Zdravka Karaguiozova¹, Anna Petrova¹, Aleksander Ciski², Grzegorz Cieślak²

¹*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*

²*Institute of Precision Mechanics, Warsaw, Poland*

e-mail: karazuzi@yahoo.com, aleksander.ciski@imp.edu.pl

Keywords: *Electroless immersion coatings, tin coatings, printed circuit boards, etching, wet angle*

Abstract: *The metal layering on the metal surface flowing without the presence of the reducing agents or an external source of electricity is called immersion plating. The salt solution of the noble metal and less noble metal substrate are needed the process to take place. The deposition of the noble metal on the plated surface is observed due to displacement process.*

The immersion plating of Tin on Copper is too popular in the production of printed circuit boards. The displacement of copper with tin in the solution of tin salt becomes. The achieved layer is characterized with better solder wettability, corrosion and oxidation protection of the surface.

The morphology observation, hardness and elasticity measurements are carried out of the Tin and Tin-DND coatings.

ИМЕРСИОННО ОТЛАГАНЕ НА КАЛАЙ

Здравка Карагъозова¹, Анна Петрова¹, Александър Циски², Гже�от Чешлак²

¹*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*

²*Институт по прецизна механика, Варшава, Полша*

e-mail: karazuzi@yahoo.com, aleksander.ciski@imp.edu.pl

Ключови думи: Безтокови имерсионни покрития, калаено покритие, печатни платки, ецване, ъгъл на омокряне

Резюме: Процесът на отлагане на покрития върху метална повърхност, протичащ без наличие на външен източник на ток или без химически редуктор се нарича имерсионно отлагане на покрития. За да протече процесът е необходимо наличие на разтвор на сол на благороден метал и субстрат от по-неблагороден метал. При това се наблюдава отлагане на по-благородния метал върху покриваната повърхност в резултат на обменен процес между атомите на субстрата и металните йони в разтвора.

Имерсионното отлагане на калай върху мед е много популярен метод в производството на печатни платки, при който става заместване на мед с калай в разтвор на калаена сол. Полученото покритие се характеризира с добра спойляемост, корозионна устойчивост и висока защита на покритата повърхност от окисление.

Проведени са изпитвания за твърдост, еластичност и наблюдения на морфологията на повърхността на покритие от калай и композитно покритие калай-нанодиамант.

Introduction

Displacement (immersion) plating

The process of displacement plating, or also called immersion plating, is possible to flow on the metal surface immersed in a salt solution of more noble metal. The deposition of a more electropositive metal on a substrate of a more electronegative metal is observed. A chemical replacement between metallic ions of the coating metal and the substrate metallic atoms becomes into stoichiometric ratio (fig. 1). Displacement plating requires no reducing agents or an external source of electricity which is result in difference in both process' mechanisms and its results.

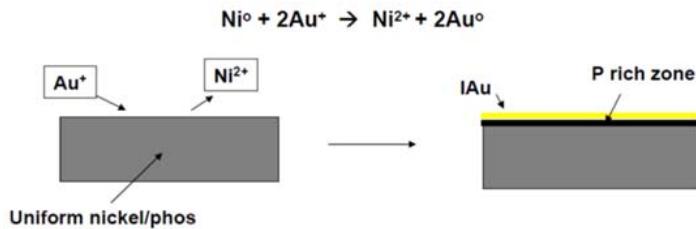


Fig. 1. The displacement reaction in which the substrate metal dissolves, as the solution metal deposits. Phosphorous does not dissolve and become concentrated at the surface [1].

The electrons are delivered to the more electropositive metal ions in solution by the metallic substrate due to its dissolution as the substrate is completely covered by the metal coating. This is a reason for the coating thickness limitation to the full covering of the substrate surface. [2]. Typical thicknesses vary from 10-200 pm.

The main advantage of the process requirements are low costs of the technological equipment and chemicals.

Immersion Deposition of Tin

Displacement reaction between copper and tin leading to a tin deposition on copper substrate is widely used in the printed circuit board technology [3-7]. According to the value of the electrode potential the tin deposition on copper is couldn't be realized. Addition of some complex agents to the solution allows the reversion to be achieved. The most used complex agent is thiourea. The produced tin coating during immersion plating characterized with a good solderability, thickness uniformity, an important property for the coatings' application in production of printed circuit boards and electronic components [8]. The spontaneous formation of tiny crystalline length growing from the surface of tin coating named whiskers are a big problem for electronic systems due to formation of short circuits leading to systems' failure. Several instances have been reported where tin whiskers have caused system failures in both earth and space-based applications. To date, there are reports of at least three tin whisker induced short circuits that resulted in complete failure of on-orbit commercial satellites. There have also been whisker-induced failures in medical devices, weapon systems, power plants, and consumer products. The mechanism of the whiskers formation is not been established. There are few suggestions regarding to the whiskers growing connected to the affection of the stress relief. Such stresses with internal compressive nature are generated due to formation of the diffusion layer (Cu_6Sn_5) between copper and tin layers and lead to the whisker growth. Some additives as metal ions could prevent this phenomena [9].

Experimental Methods

Tin coatings are deposited on the circuit board sided glass size 1mm, Copper - foiled of 35 microns thickness in the solution for immersion tin plating.

The preliminary processing for copper surface degreasing and micro etching are performed before tin layers deposition. The deposition process is performed at ambient temperature.

Two kinds of coatings are investigated: immersion tin coating and composite tin coating. The ultra dispersed diamond powder obtained by detonation synthesis (ND) [10] is used as an additive to the immersion solution. The size of ND particles is in the range 4-6nm. In [11,12] the positive nanosized condition on the material properties is proved.

The baths composition is as follows:

Stannous chloride concentration from 0.06M to 0.02M,

Thiourea(TU)-concentration from 0.3M to 1.0M,

Sulphuric acid concentration from 0.1M to 0.5M

Additives of different divalent ions of Co, Cd, Mn, Fe, Ni, Pb

Surface to be coated per Liter: 3dm²

Tinning time - 30min.

The ND particles concentration – 5 g/l, determined in [13].

The thickness of Sn coatings is determined by Back-scattering of beta-radiation method on Betascope 2045 equipment. Sometimes the direction of beta-particles is changed when going through a substance layer. This process is the scattering. The beta-particles interact with the electrons. Since the mass of the beta-particle and the electron are the same, their collisions result in a scattering with a great angle. When the change in the direction is near to 180 °, back-scattering takes place. The

degree of back-scattering depends on the atomic number and the thickness of the scattering matter [14, 15].

For solderability investigation of Sn layers the solder spread test is used by the contact angle measurement. The lead free solder wire is used. The solder of 0,036-0,038g is heated at 250°C to the melting of the wire [16].

Nanoindentation testing of the tin samples is carried out using a NanoScan measuring system. The NanoScan is a unique device for surface properties investigations and measurements of hardness, elastic modulus of materials, coatings and thin films. The main characteristic feature of NanoScan is the use of piezoceramic probe sensor with high bending stiffness of the cantilever. The system is developed by Technological Institute for Super hard and Novel Carbon Materials, Russia on the principles of Scanning Probe Microscopy (SPM) and represents a scanning force microscope (SFM) of original construction, working in a regime of a rigid contact in ambient environment.

The tin coatings characteristics are investigated after deposition and after aging (corrosion test) for 10 days in an Air Humidity Chamber above the following condition: 93±3% relative humidity and T=40°±2C, which represents storage over few months.

The coatings' topography is observed by SEM Jed 100C at magnification of 2000 the tin coatings' graininess to be determined.

Results and Discussions

The obtained coatings are of gray color, dense and uniform.

The influence of different parameters on the coatings' characteristics is investigated.

The results of coatings' thickness dependence on the tinning time and working temperature are presented in Table 1 and Figure 2.

Table 1. Influence of the tinning time on the coating thickness, received at different working temperature

Tinning time, min	Thickness (d), μm					
	Sn		Sn-Co		Sn-Cd	
	T=20°C	T=70°C	T=20°C	T=70°C	T=20°C	T=70°C
1	0,76	1,19	0,51	1,19	0,79	1,32
2	0,83	1,59	0,64	1,41	0,79	1,64
8	0,75	1,80	-	1,48	0,98	2,54
10	0,88	3,60	0,58	3,22	1,14	3,18
15	-	-	0,82	3,41	-	-
20	1,16	4,37	0,90	3,77	1,36	4,67
30	1,26	4,26	1,20	4,23	1,46	7,03

The experimental results show significant influence of the mentioned parameters on the Sn deposition rate irrespective of the type of solution. The coatings' thickness increases with the increased tinning time and it is observed rapid increase at higher temperatures.

There are two cells at the tinning surface according to the Authors in [17], namely the immersion cell in which tin is cathode and is depositing on the copper surface (fig. 3a) and the corrosion cell in which the same part of tin coating is getting anode and is desolating in an acid environment (fig. 3).

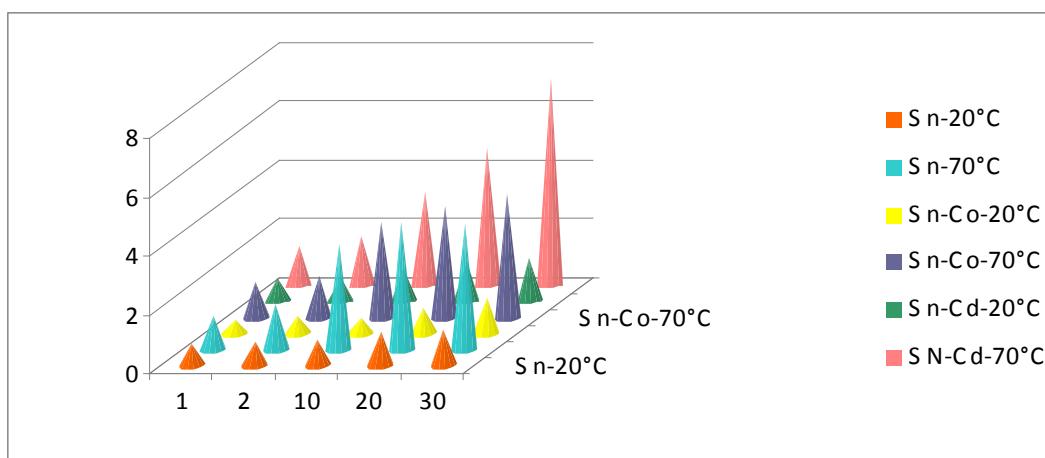


Fig. 2. Influence of the tinning time and temperature on the coatings thickness

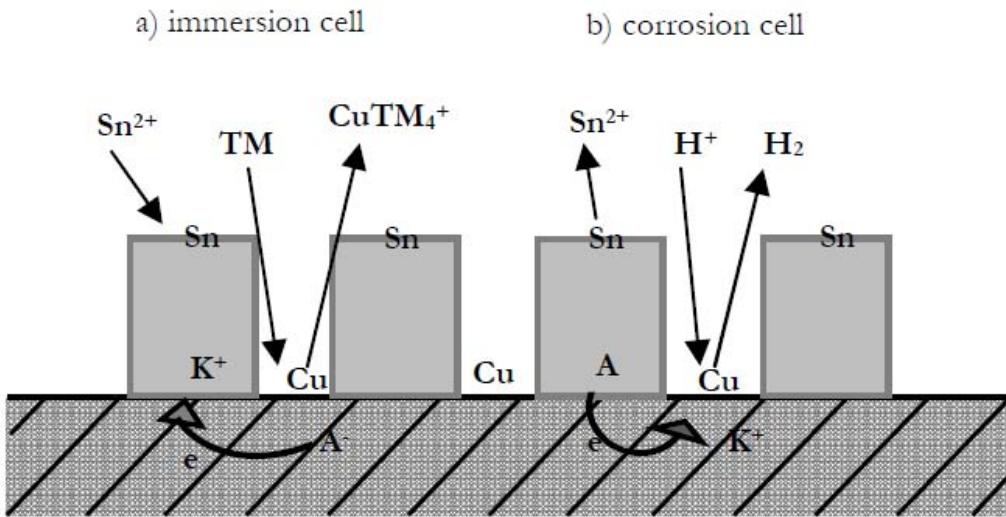


Fig. 3. The schema of galvanic cells on the surface of samples in an acid environment:
a) immersion cell, b) corrosion cell.

Given this, one could assume the greater coatings' thickness at higher temperature is due to the priority and speeding up the tin deposition process towards to the tin dissolution. This phenomenon is observed because of intensification of the chemical polarization to the cathode area through rapid chemisorption and complexation processes.

The solderability measurements are carried out for the Sn, Sn-Co and Sn-Mn layers at temperature range between 20–80°C. The results are shown in Figure 4.

It is observed that the solderability of the coatings decrease with the temperature of the process. The presence of divalent ions (Co^{2+} and Mn^{2+}) in tin solution leads to better soldering characteristics, i.e. the contact angle decreases.

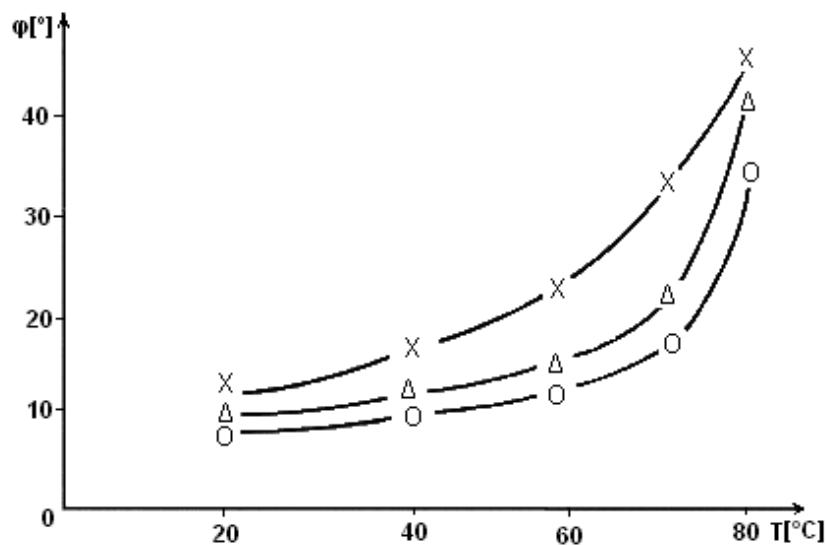


Fig. 4. The influence of the working temperature on the contact angle
(x-Sn; Δ-Sn-Mn; o-Sn-Co).

The investigation of the coatings morphology by SEM analysis at magnification of 2000 represents finer graininess for the coatings, obtained at lower temperature. The addition of the divalent ions also influences the coatings graininess. Influence of these two parameters is shown in Figure 5 and 6.

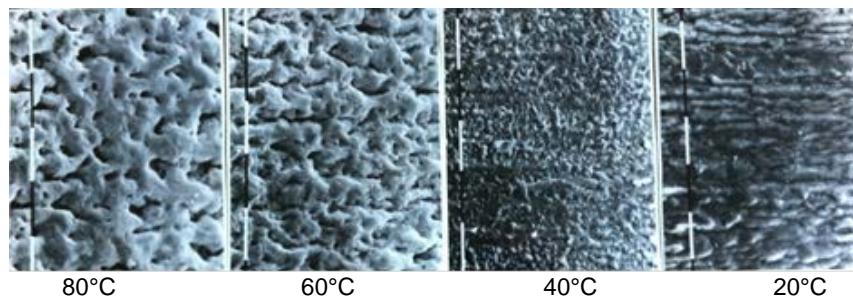


Fig. 5. SEM analysis of the morphology of tin coatings, observed at different temperatures at magnification of 2000

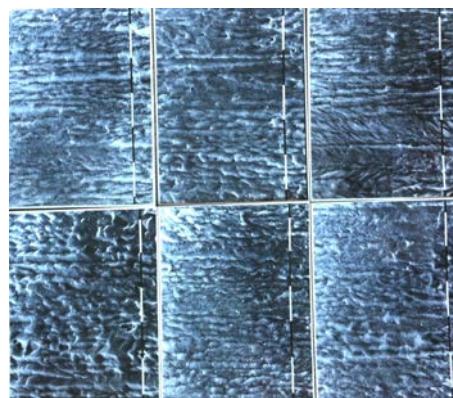


Fig. 6. SEM investigation of the Sn-Mn, Sn-Pb, Sn-Fe, Sn-Co, Sn-Cd, Sn-Ni coatings' morphology at magnification of 2000

The Nanoindentation study is carried out for two kinds of coatings: Sn and Sn-ND. The results achieved for the coatings' morphology and hardness and elastic modulus of the coatings are presented in Fig. 7 and Table 2.

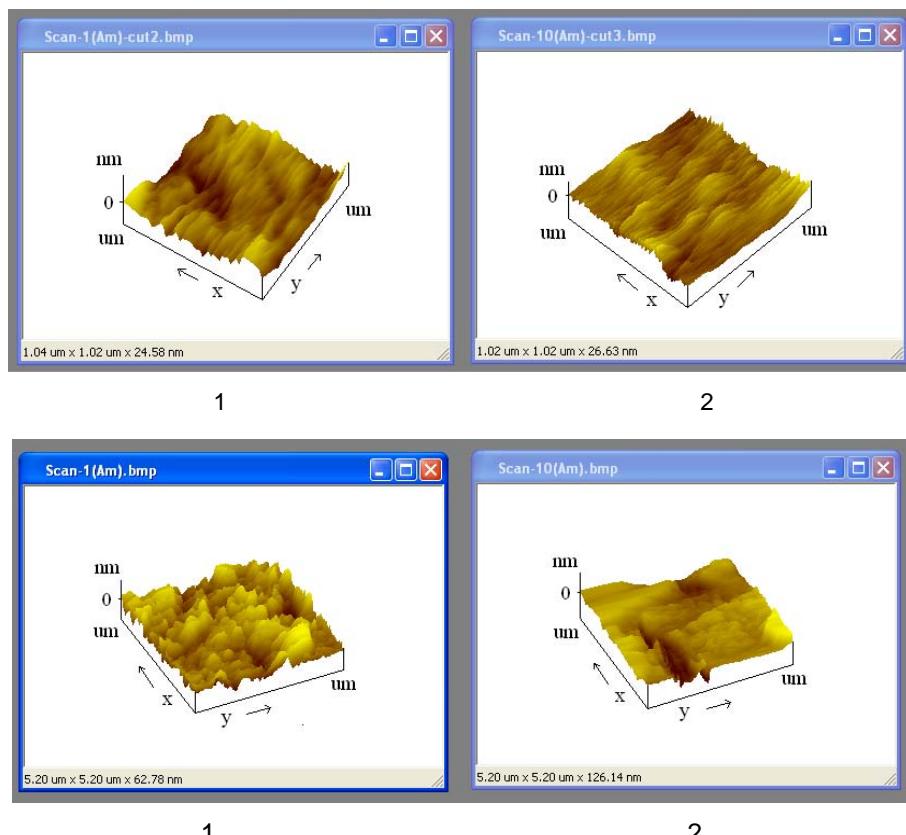


Fig. 7. Nanoscan observation of Sn (1) and Sn-ND (2) coatings

Table 2. Elastic modulus and hardness of Sn and Sn-ND coatings

Sample	E1, GPa	E2, GPa	E3, GPa	H, GPa
Sn	90,6±8,6	42,8±4,1	14,8±1,4	6,59±0,48
Sn-ND	149,3±14,2	69,1±6,6	35,4±3,4	7,37±0,64

The addition of nanodiamond particles to the solution for tin plating leads to formation of a finer morphology of the obtained coatings' surface, characterized with enhanced elasticity and increased hardness.

Corrosion after aging at above mentioned conditions of the coatings without divalent ions additives is to a greater extent in comparison to this one of the tin coatings with divalent ions additives, despite getting on a fine structure. The presence of divalent ions in the immersion solution also leads to formation of uniform, equal tin layers with grains characterized with a fine structure which is one of the reasons of good corrosion resistance. It is found no influence of the corrosion aggressive environment on the contact angle for all of the tested coatings.

The coatings' solderability is retained after a stay 45 days, no change of the contact angle value also is observed for all of the tested coatings.

Conclusions

Analysis of the results achieved leads to the conclusion:

It is observed that the addition of divalent ions in a working solution causes a different rate of the crystalline nucleus formation and their growth, leading to finer crystalline structure.

It is found the higher temperature of the working solution is a reason for a coatings' crystal grain enlargement.

It is determined the more fine coatings are, the wettability (accordingly solderability) thereof is better.

The assumption is made the better solderability of the coatings produced at ambient temperature in a solution with additives of divalent ions could be explain with their finer structure.

It is concluded the contact angle value, respectively solderability is kept the same after aging in corrosion aggressive environment as well as after a 45 days stay for all of the tested coatings.

It is observed that the influence of the divalent ions is weaker than that of the working temperature.

References:

1. Magnuson, R. "Aspects of Plating for organic substrates" overview. Endicott Interconnect Technologies, Endicott, NY 13760, 2006.
2. Price, J.W. "Tin and Tin-Alloy Plating". Electrochemical Publication Ltd., Scotland, 1983.
3. Molenaar, A., J.J.C. Coumans. "Autocatalytic tin deposition". Surf.Technol., **16**, 3, 1982, p. 265-275.
4. Molenaar, A., J.W.G. Bakker. "Autocatalytic deposition of tin". J. Elektrochem. Soc., **136**, 2 1989, pp.378-382,
5. Koyano, H., M. Koto, M. Uchida. "Electroless tin plating through disproportionation". Plating Surf. Finish., **78**, 7, 1991, pp.68-70.
6. Bieliński, J., A. Araźna, G. Koziot, A. Bielińska. "Zalety i wady bezołowiowych powłok ochronnych płyt drukowanych". Elektronika, **49**, 3, 2008, pp.83-87.
7. Bieliński, J., A. Araźna, G.Koziot, A. Bielińska. "Cynowe, lutowne powłoki ochronne w technologii płyt drukowanych". Elektronika, **49**, 7-8, 2008, pp. 78-82.
8. http://www.electrical-contacts-wiki.com/index.php/Electroless_Plating.
9. <http://nepp.nasa.gov/Whisker/background/index.htm>; New immersion tin process, Tin whisker issue, Oyemura Japan, 03.2007.
10. Stavrev, S. et al., US Patent No. 5353708, 1994.
11. Miteva, A. "On the microstructure and mechanical properties of nanocomposites". Proceedings SES 2012, pp. 220-225.
12. Miteva, A. "An overview of the functionally graded materials". Proceedings of II International Scientific and Technical Conference "Technics, Technologies, Education, Safety '14", 29 – 30 May 2014, Veliko Tarnovo, Bulgaria, pp. 71-74.
13. Project BAS-SRTI 1460-5/1991. Plating of composite coatings with nanodiamond powder by EFTOM-NICKEL Method
14. <http://kolloid.unideb.hu/wp-content/uploads/2013/12/beta-back-scattering>,
15. <http://www.fischer-technology.com/en/us/coating-thickness/beta-backscattering-method/>.
16. Georgiev, G., Z.Karagiozova. "Stromlosses Verzinnen von Kupfer und Kupferlegierungen". Proceedings Corrosion Week, lectures II, Budapest, 1988, pp .
17. Arazna, A., "ELECTROLESS TIN DEPOSITION ON COPPER FROM THIOUREA TYPE BATHS". XV International PhD Workshop, OWD, 19–22 October 2013.

ABOUT SOME COATINGS FOR AEROSPACE APPLICATIONS

Zdravka Karaguiozova¹, Adelina Miteva¹, Aleksander Ciski², Grzegorz Cieślak²

¹*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*

²*Institute of Precision Mechanics, Warsaw, Poland*

e-mail: karazuzi@yahoo.com; ad.miteva@gmail.com; aleksander.ciski@imp.edu.pl; grzegorz.cieslak@imp.edu.pl

Keywords: Aerospace and space applications, coatings, aluminium and its alloys, magnesium and its alloys, nickel plating, steels, alloys, corrosion

Abstract: This study is focused on some coatings used in aerospace area. The special inherent properties of many metals and their alloys have focused attention on their increasing application in aerospace and allied industries. However, severe operating conditions in air and space often limit the possibility of using these alloys directly. Therefore to reduce the influence of adverse environmental space conditions and for successful use in aerospace industry these metals and their alloys require special surface preparation, namely deposition of different types of coatings on their surfaces. In this paper we will briefly present several types of the most aerospace applicable coatings.

ОТНОСНО НЯКОИ ПОКРИТИЯ ЗА АЕРОКОСМИЧЕСКИ ПРИЛОЖЕНИЯ

Здравка Карагъозова¹, Аделина Митева¹, Александър Чиски², Гжегож Чешлак²

¹*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*

²*Институт по прецизна механика, Варшава, Полша*

e-mail: karazuzi@yahoo.com; ad.miteva@gmail.com; aleksander.ciski@imp.edu.pl; grzegorz.cieslak@imp.edu.pl

Ключови думи: Аерокосмически и космически приложения, покрития, алюминий и алюминиеви сплави, магнезий и магнезиеви сплави, никелови покрития, стомани, сплави, корозия

Резюме: Това проучване е фокусирано върху някои покрития за космическите изследвания и свързаните с нея области. Специалните присъщи свойства на много метали и техните сплави са фокусирани върху нарастващото им приложение в космическите изследвания и свързаните с нея промишлености. Въпреки това, суворите условия на работа във въздуха и космоса често ограничават възможността за използване на тези сплави директно. Следователно, за да се намали влиянието на неблагоприятните условия на околната среда и космоса, за успешното използване в космическата промишленост, тези метали и техните сплави изискват специална обработка на повърхността, а именно нанасяне на различни видове покрития върху техните повърхности. В тази работа ще представим накратко няколко вида от най-използваните за космически приложения покрития.

Introduction

The present work is motivated by the nowadays tremendous interest in extremely stable in space environment coating materials. The evidence is the Space Programs and space budgets, which almost every country has. Today the coatings attract a lot of attention, especially in aerospace applications. We can not use directly the metals and their alloys in aerospace industry, or at least most of them for a long time. This is due to the negative influence of the unfriendly environment conditions in outer space. Therefore to reduce the influence of adverse environmental space conditions and for successful use in aerospace industry, these metals and their alloys, and all items made of them, require special surface preparation, namely deposition of different types of coatings on their surfaces. In this paper we will briefly present several types of coatings, namely some of the most applicable coatings in aerospace.

Examples of some coatings used in aerospace

In the literature and in the industry there are sufficient data for such coatings. Aluminium (Al) alloys are frontrunners among the structural materials used in space applications. But being a strong electronegative metal, aluminium has a strong oxygen affinity and forms a thin tenacious oxide films. For that reason, aluminium and its alloys require special surface treatment for successful use in aerospace industry. For example in [1] are presented studies on ultra high solar absorber black electroless nickel (Ni) coatings on aluminium alloys for space application. Process optimization was carried out by investigating the influence of various operating conditions, viz., pH of electroless nickel solution, thickness of electroless nickel deposit, formulation, concentration, temperature and processing time of etching solutions on the physico-optical properties of the black coating. The nature of the coating was evaluated by the thickness measurement, micro hardness evaluation and EDX studies. The microstructure of the deposits was examined under scanning electron and optical microscope. The space worthiness of the coating was evaluated by the environmental tests, viz., humidity, corrosion resistance, thermal cycling, thermo-vacuum performance and thermal stability tests. Optical properties of the coating were measured before and after each environmental test to ascertain its stability. The blackened electroless nickel provides high solar absorber in the order of 0.995. The results of these studies clearly indicate that the coating process described in [1] is extremely suitable as a solar absorber coating for space and allied application.

Magnesium has focused attention on increasing applications in aerospace and allied fields. Its density is two thirds that of aluminium-a conventional structure material for aerospace. Magnesium has one drawback: it is prone to atmospheric corrosion. Further, because of its high chemical affinity for aqueous solutions, it is categorized as a difficult metal for electrochemical treatments. The highly reactive nature of magnesium is clearly indicative by its position in the electromotive series. The situation is still more complex for magnesium alloys, where the alloying constituents introduce electrochemical heterogeneity. Communication satellites make use of a traveling wave tube (TWT) for amplification of signals. In a TWT the collector is the main source of heat dissipation. The electrodes are heated by the residual kinetic energy of the collected electrons; however, the electrodes must be maintained at a relatively low temperature. There are two ways to dissipate this heat into cold space. One of them is: heat radiation or conduction from the electrodes to a radiator, which is an integral part of TWT. This is called radiation cooling and is suitable for even high-power TWTs. This cooling method simplifies spacecraft thermal control. A fin structure is attached to the collector end to increase the heat transfer area, and a high-emittance coating is applied over it to improve heat-radiation characteristics (See Figure 2 in [2]). The radiator, top collector, and base plates of TWT (shown in Figures 3 to 5 [2]) were made out of magnesium alloy ZM21. In a conventional TWT, these are fabricated out of aluminium alloys. The magnesium alloy ZM21 was selected because of its inherent lightness and higher thermal conductance over conventional magnesium alloys. The radiator requires a high-emittance coating on the exposed portion to reject the heat in space. The inner area of the radiator and the complete surface of the top collector and base plates are to be coated with a high-corrosion-resistance coating with good solderability characteristics. These coatings should withstand elevated temperature for an extended period without degradation in their properties. In [2] an electroless nickel deposition process is described and applied. The process provides a high degree of corrosion resistance at elevated temperatures and a good solderability and wettability to the soldering material. A process of electroless nickel plating on magnesium alloys [2] using the sequence of fluoride activation, electroless nickel deposition, passivation, and heat treatment has been optimized for aerospace applications. The process provides excellent plating coverage inside narrow holes. The electroless nickel coating so obtained has adequate mechanical properties, corrosion resistance, solderability, and environmental stability for stringent space requirements.

In [3] are presented many examples of aerospace applications (and also in many other areas of applications) of electroless nickel. All of the properties of electroless nickel are used to advantage in this industry. In aircraft engines, turbine or compressor blades are plated with electroless nickel as protection against the corrosive environment they are exposed to. The coating thickness in this application is generally 1 to 3 mils of high-P electroless nickel. When the blades are plated with electroless nickel, there is about 25 percent less loss of fatigue strength than when plated with hard chrome. Electroless nickel coatings compliment aluminium's inherent characteristics (its density and, consequently, its light weight.) by adding hardness, wear resistance, corrosion protection, and solderability. Piston heads are a good example of the successful combination of aluminium and electroless nickel in the aerospace industry. The light weight of aluminium allows the piston to work more efficiently, while the electroless nickel provides wear resistance that extends the useful life of the piston. The main shafts of aircraft engines are plated with electroless nickel to provide good bearing surfaces. An additional advantage of electroless nickel is realized when rebuilding of the shafts is required during maintenance overhauls. The remaining electroless nickel can be stripped off and

replated to the required thickness. This contrasts favorably with the more expensive machining required for chromium-plated shafts. The rear compressor hub sleeves and bearing liners of the TF30 Jet engine are reconditioned and replated with electroless nickel at a cost savings of several thousand dollars over the purchase of new components. The components are made of a titanium alloy containing 6 percent vanadium and 4 percent aluminium. Two mils of electroless nickel are used as the finish. In addition to engine-related applications, electroless nickel finds many other uses in the aerospace industry. The relatively low coefficient of friction of electroless nickel, coupled with its corrosion resistance, makes it useful in plating servo valves. Landing gear components are plated with 1 to 2 mils of electroless nickel to build up mismatched surfaces, as well as to provide corrosion resistance. Metallic optics are becoming widely used in spaceborne systems. In these applications, a strong coating must be deposited over a light, strong metal such as beryllium or aluminium. Special high-phosphorus electroless nickel deposits have been polished to 9 Å (13), providing superior performance in space applications where high G forces are present and low inertia is required. Table 8.2 (form [3]) summarizes the major uses of electroless nickel in the aerospace industry.

In references [4,5,6] the authors thoroughly presented the types of conformal coatings used in space applications. Conformal coatings are used in space applications on printed circuit board (PCB) assemblies, on spacecraft electrical circuits, primarily as a protective barrier against environmental contaminants. Such coatings have been used at Sandia National Laboratories for decades in satellite applications including the GPS satellite program. There are five primary types of conformal coating materials used for environmental protection of electronics: acrylics, silicones, polyurethanes, epoxies, and parylenes. The first four are typically applied with spray or dip operations, while parylenes are applied using a vacuum deposition process. Proper selection of conformal coating material may increase lifetimes and improve performance of electronic assemblies. In [4,5] authors give us also recommendations for future work in the field of conformal coating space applications.

In the work [7] are studied some of the properties (microstructure, mechanical, electrochemical, wear-corrosion) of electroless nickel–phosphorus (ENP) coatings on carbon-fiber-reinforced plastic (CFRP) composites, commonly used in aeronautical and astronautical applications due to their superior properties such as high specific strength and modulus. Experimental results demonstrate that a uniform ENP coating was successfully deposited on a CFRP substrate via electroless plating after appropriate sensitization, activation and mechanical polishing pre-treatments of the CFRP substrate exhibited excellent protection from corrosion and wear corrosion for CFRP composites. The microstructure, phosphorus content, thickness and electrochemical and wear-corrosion properties of the ENP coatings were strongly correlated with the pre-polishing condition (the corresponding surface roughness) of the CFRP substrate. High P content (P > 7 wt.%), low micro-porosity, smooth morphology, high thickness and hardness of ENP coatings on the CFRP substrate were obtained when substrate surface roughness was $\geq 0.3 \mu\text{m}$ (grinding with 800-grade emery paper). The resulting electrochemical behavior exhibited a strong passivity that is favorable to enhanced wear-corrosion resistance properties.

The corrosion in space is described in [8] by the effect of atomic oxygen on several materials. The metals investigated are Cu, Au, Al, stainless steel, Ta, Al alloys and Mo. These materials were exposed with and without coatings, such as silicones. Other groups investigated Os, Pt, Ni, Fe-alloys and carbon. The metal which was most affected was silver. Silver oxidizes according to a linear-parabolic law and due to the thermal stresses the oxide layer continuously breaks up, resulting in a linear degradation. Atomic oxygen not only attacks materials in the line of sight of the ram flux, but also by reflected atomic oxygen. Many materials form an adherent oxide layer, such as Cu, Al, and stainless steel and are as such protected once this oxide layer is formed. Some materials have a volatile oxide such as Osmium and many polymers materials. On way to protect the silver of being oxidized by atomic oxygen is by plating with gold. The tests on polymers show that each polymer appears to be sensitive to a different component of the environment. The conclusion in [8] was: the effect of atomic oxygen on surfaces in laboratory experiments might be different from the effect encountered during low earth orbit exposure. During orbit the exposed samples undergo a thermal cycling sequence of +100/-100°C. This might have a detrimental effect on some oxides. The simultaneous action of atomic oxygen attack and thermal cycling might be compared with such effects as static stress and corrosion (stress corrosion) and fatigue and corrosion (corrosion fatigue), where the result of the combined action is more than the sum of the separate effects. To predict materials performance in low earth orbit, one must accurately simulate the conditions of the low earth orbit environment or at least understand how the performance of materials under simulated conditions relates to that in space.

In [9] were prepared the Ni-Fe-La-P rare earth alloys of glass fiber. Rare earth element lanthanum (La) was first introduced into glass fiber by electroless plating, in order to improve and adjust the chemical, physical properties and microstructure of alloy coatings. The application of rare earth element La in electroless plating was explored. The results showed that an appropriate amount

of rare earth element La could improve the stability of the chemical plating solution and reduce the temperature of electroless plating by 6°C - 20°C. La not only could make the morphology of alloy coatings compacted, smooth and uniform, but also could greatly improve the contents of Fe, Ni and could tremendously reduce the content of P in the alloy coatings of glass fiber. The conductivity and magnetic properties of the alloy coatings could be increased by La. La could promote the transition of alloy coatings from amorphous state to crystal state, improve the electromagnetic performances of alloy coatings, and enhance the electromagnetic wave absorbing properties and application areas of alloy coatings.

In [10] were investigated 3 new crystalline and amorphous MoS₂ based coatings for space applications. The study focus on understanding what governs the tribological behavior of dry lubricated contact to find out the keys to develop new coatings for space applications. Firstly conducted on sputtered columnar MoS₂ coatings and amorphous MoS₂+Ti coatings, experiments show that contamination modulates the 3rd body rheology and helps controlling the 3rd body generation (particlesizeand amount). To dissociate the role of both Ti and the coating microstructure in the tribological behavior of the coatings, a sputtered amorphous MoS₂ coating was studied. The study confirms the beneficial impact of the addition of a controlled amount of contamination on their tribological behavior . It also brings some recommendations to design coatings for space applications in terms of microstructure, addition of metal and gaseous dopants, etc.

Electromagnetic interference (EMI) and electromagnetic compatibility (EMC) are garnering more attention due to the rapid growth in the use of telecommunication and electronic devices in residential and industrial applications. A number of materials for the EMC purposes have been proposed that are capable of absorbing electromagnetic radiation. However, the conventional absorptive materials such as metal powders and ferrites are quite heavy, and this restricts their usefulness in applications requiring lightweight mass (such as earospace). In the study [11] highly conductive Ag thin film is coated on hollow silica microspheres via electroless plating for application in lightweight microwave absorbers. Their microwave absorbing properties were analyzed in relation to the electrical properties of the thin film. The microwave absorbance was enhanced with decreases in the electrical resistance of microspheres due to the increased dielectric loss. As a result, the lightweight and thin microwave absorbers were proposed with the Ag-coated microspheres with a controlled electrical resistance for lightweight mass applications.

Every year energy requirements of people increase, because all human activities require energy. Many researchers look for possible alternate sources of energy. There has been a significant interest on hydrogen evolution reaction (HER), which is one of the most intensively studied reactions industrially. Hydrogen can be produced by a number of processes, one of which is alkaline water electrolysis. This method however is too expensive and consumes too much energy. There are several ways to reduce the cost of hydrogen production by means of improving the electrode's performance leading to low energy consumption. New electrode materials capable of catalytically reducing the energy barrier of the HER have been investigated. In order to improve the electrocatalytic performance of the surface, a number of metal alloy coatings have been recently developed and reported to have low over potential and high exchange current density as available in recent literatures. Literature reports also confirm that nickel and its alloys could be considered as the highly active electrode materials among all the various types of metal or alloy coated electrodes studied for the hydrogen evolution reaction in alkaline solutions. The effects of nano NiO incorporation on enhancement of electrocatalytic efficiency of the electroless Ni-P coatings for HERs in alkaline medium were systematically investigated in paper [12] with respect to both metallurgical and electrochemical characteristics. An improvement in the hardness and thickness of electroless coatings along with a mirostructural surface grain refinement was achieved by the incorporation of the nano NiO into the Ni-Pmatrix. The role of nano NiO on enhancement of electrocatalytic efficiency of the coatings for catalyticHER is evident from the results of potentiodynamic polarization and cyclic voltammetric studies.

Magnesium and its alloys have excellent physical and mechanical properties for a number of applications. In particular its high strength:weight ratio makes it an ideal metal for automotive and aerospace applications, where weight reduction is of significant concern. Unfortunately, magnesium and its alloys are highly susceptible to corrosion, particularly in salt-spray conditions. This has limited its use in the automotive and aerospace industries, where exposure to harsh service conditions is unavoidable. The simplest way to avoid corrosion is to coat the magnesium-based substrate to prevent contact with the environment. The review [13] details the state of the art in coating and surface modification technologies, applied to magnesium based substrates for improved corrosion and wear resistance. The topics covered include electrochemical plating, conversion coatings, anodizing, gas-phase deposition processes, laser surface alloying / cladding and organic coatings. A great deal of research is still required to develop better, simpler, cheaper coating technologies (especially protective

coatings that can withstand harsh service conditions) so we can take advantage of the lower weight and excellent mechanical properties of Mg.

Electromagnetic waves have been widely used in both military and civil applications: radar, wireless communication tools, local area networks, personal digital assistant, aerospace, etc. However, there are many problems caused by the increasing usage of electromagnetic waves. In order to provide solution to electromagnetic interference (EMI) and microwave absorption, the absorbers of electromagnetic waves are becoming very important, which have attracted much attention of many scientists. Carbonyl iron, as well as ferrites, has been extensively studied for a long time as magnetic components of polymeric composites for the application of electromagnetic wave absorbers. However, carbonyl iron is more suitable to be applied in a broad frequency range than ferrites. In paper [14], Co-coated carbonyl iron was synthesized using an electroless plating method, using flaky carbonyl iron particles as raw materials. This preparation method has the advantages of simplicity, low-cost and high-purity in practical applications. The antioxidation and electromagnetic properties of the Co-coated carbonyl iron were discussed in detail. So the Co-coated carbonyl iron has much better antioxidation property and can also serve as a super thin microwave absorber for different applications.

Black coatings on metallic substrates are widely used for numerous applications; for example, as decorative coatings, as solar absorption coatings in solar panels, as antireflective coatings in optical instruments etc. It has been reported that there is a strong relationship between the optical properties of black nickel coating and its thickness. The coating exhibits solar absorber property only in a narrow range of thickness and with increase in thickness, the coating behavior changes from a solar absorber coating (high absorbance and low emittance) to a flat absorber coating (high absorbance and high emittance). High emittance coatings play an important role in passive thermal control of spacecraft. These coatings are predominantly applied on internal packages of spacecraft to improve their heat radiation characteristics. In a spacecraft, the electronic packages that are in operation may become too hot due to large heat dissipation while other standby may have the tendency to get colder. High emittance coating helps in minimizing the temperature gradient between the operational and standby components by improving their heat radiation characteristics. In [15] black nickel, an alloy coating of zinc and nickel, was obtained on copper substrate by pulse electrodeposition from a modified Fishlock bath containing nickel sulphate, nickel ammonium sulphate, zinc sulphate and ammonium thiocyanate. The main objective of this work [15] was to optimize the process parameters to develop high emissivity space worthy black nickel coating to improve the heat radiation characteristics of the substrate surface.

The guide [16] to reflectance coatings and materials contains the description of many coatings and materials suitable for many space applications. One example: Infragold NIR-MIR reflectance coating; the typical reflectance of Infragold is >94% above 1000 nm and data is traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST). Infragold can be applied to metal parts, generally aluminium, nickel or steel, although it has been applied with success to copper and tungsten. It is generally used for reflectance integrating spheres and accessories for NIR to MIR applications and is suitable for many space applications.

[17] reports a method of fabrication for small-feature-sized nickel microbumps on gold using a newly developed technique called electroless Ni plating with noncontact induction (ENPNI). This technique, differing from conventional electroless Ni plating with contact induction (ENPCI), which directly connects an active metal with an inactive metal to induce Ni electrochemical reaction, is characterized by separation of the active metal and the target metal. The mechanism of ENPNI is interpreted by employing the electric-double layer theory, and some phenomena are explained by the proposed mechanism. Ni microbumps with a diameter of 3–6 µm and a height of 3–4 µm have been successfully fabricated using ENPNI. The resistance of the Ni microbumps is measured, and yield and uniformity are evaluated. By breaking the restriction of contact, ENPNI has the advantages of no need for pretreatment and contact induction, allowing fabrication of microbumps with small feature sizes for applications in which direct contact of an active induction metal is impossible. The obtained in [17] results demonstrate that ENPNI is a promising method to fabricate microbumps for 3-D integration of MEMS arrays with ICs (it is obvious, that very small devices are very applicative in space).

High efficiency, thin-film Epitaxial Lift-Off (ELO) III–V solar cells offer excellent characteristics for implementation in flexible solar panels for space applications [18]. However, the current thin-film LO solar cell design generally includes a copper handling and support foil. Copper diffusion has a potentially detrimental effect on the device performance and the challenging environment provided by space (high temperatures, electron and proton irradiation) might induce diffusion. It is shown that heat treatments induce copper diffusion. The prime alternatives for a different metal foil carrier known to be compatible with thin-film cell processing are silver and gold, which are much more expensive than copper. Other alternatives of particular interest for implementation in GaAs solar cells would be the electroplated titanium and nickel diffusion barriers suggested for silicon solar cells [18].

There are many companies on the market space today, which offer various coated items for space applications. One of them, Glenair Inc. (United States) offers composite thermoplastic interconnect components (instead of coated metals), which are manufactured from high-grade engineering thermoplastics for the toughest application environments. Specifically geared for high-performance air, sea, land and space applications, Glenair's line of composite connectors and backshells are ideally suited for systems which require electromagnetic compatibility, reliable environmental protection and long-term durability. Through the use of selective plating—which limits easy-to-scratch plated surfaces to the protected portions of the part—Glenair has effectively eliminated superficial damage to coupling nuts, saddle bars and box exteriors. The parts are free from visible wear-and-tear problems that force premature replacement of backshells, connectors, box assemblies and other EMC interconnect components. Over the past 15 years, Huber+Suhner AG, has been manufacturing microwave assemblies, offering outstanding electrical and mechanical characteristics, which have been successfully employed in various scientific and commercial space projects. The use of its space application ranges from low earth orbit (LEO), geo synchronous orbit (GSO) to interplanetary unmanned vehicles as well as manned missions. Its carefully balanced range of cables and connectors covers the frequency range up to 65 GHz having at the same time flexibility, increased mechanical strength or protection against abrasion. Their patented connector assembly system ensures a reliable connection between the connector and the cable in any situation. The most important: the most of the connector parts of their space flight power sub miniature connectors (which are made of different alloys) are plated with different coatings (gold, ceramic coating, etc.).

Every year in the USA is accepted Joint industry standards "Space Applications Electronic Hardware Addendum to IPC J-STD-001E Requirements for Soldered Electrical and Electronic Assemblies" [19]. In this important document are listed all necessary properties for coatings in space applications.

Aluminium metal matrix composites (MMCs) are the most significant materials in aerospace and automotive industries due to their superior mechanical properties. A variety of methods have been used for synthesizing these composites, but the liquid-state route is the simplest technique with lower cost. However, low wettability of ceramic particles as reinforcement by liquid metal matrix is a major problem in fabrication of MMCs via casting (liquid-state) method. This important challenge is addressed by the use of metal-coated ceramic particles to increase the wettability of the composites. Metallic coating of ceramic powder particulates is commonly performed in order to alter the specific properties of ceramics. The mass gain (MG, %) of coated metal on ceramic particle plays an important role in this regard. Copper, nickel and cobalt are three important metals, which were reported for fabrication of metal-coated ceramic particles as reinforcements of MMCs. As example, the investigation [20] was undertaken to predict the MG of cobalt electroless deposition (ED) on ceramic SiC particles.

The overviews [21,22] presented the guides to the use of electroless nickel for engineers, metallurgists, designers and others involved in materials selection. The important properties of electroless nickel deposits are described and examples are given of how these properties have been used successfully to solve materials problems in various industries. In [21] special attention is given to the use of electroless nickel in aerospace industry. Initially, the main interest was in the use of electroless nickel during engine overhaul and maintenance programmes. On jet engines, it has also been used on fuel control assemblies and bellows and in the space programme, it has been used effectively on the docking, cargo bay and rudder mechanisms of the space shuttle. Applications in the aerospace industry are not limited to engine components. Electroless nickel is used on many airframe assemblies 30 such as landing gear components, ramp locking systems and flap and actuator components. Several parts of the main landing gear of the Boeing 727 are protected from corrosion and erosion by electroless nickel. These are mostly high strength steel parts that previously were coated with cadmium and now have extended service life since a change to electroless nickel was made. In addition, electroless nickel is used on some critical and advanced aircraft navigational systems. The expanding use of metallic optics¹⁷ in the aerospace industry has resulted in another successful application for electroless nickel. The requirement is for a high strength coating to be applied to a strong, light metal such as aluminium or beryllium. A deposit, containing 12.2 to 12.7% phosphorus, polished to an extremely fine finish has provided outstanding performance in space applications where high G forces are present and low inertia is required. Many components used in the space programme are plated with electroless nickel to provide corrosion protection, wear protection and excellent lubricity as required. These include components on the space shuttle-31 used in fuel systems, gear systems and fluid transfer systems for example. Composite coatings of electroless nickel and fluorinated carbon [21-23] are also used for various applications, including battery components and satellite systems.

As already mentioned above, Al alloys and Al-based composites constitute a very important class of engineering materials widely employed in the aircraft and aerospace industry for the

manufacturing of different parts and components due to their high strength-to-density ratio and being the second cheapest of all commercially important metals after magnesium. In our department in SRTI-BAS [24,25] was synthesized a new Al-based alloy, namely Al alloy B95 with certain additions of tungsten (W) and some nanodiamonds (ultrafine diamond particles, ND). These detonation nanodiamonds were used as strengthening particles for improving the mechanical properties of Al alloy. Also some of us [23,26,27] have experience in electroless nickel composite coatings with nanodiamond (ND) additives. The so modified, with nanodiamonds and W, aluminium alloy B95 (B95+W+ND), prepared in our department, was a part of the DP-PM module of the international outer space experiment "Obstanovka" (carried out in the Russian sector of the International Space Station). In the international project "Obstanovka" were involved six countries: England, Bulgaria, Poland, Russia, Ukraine and the Czech Republic, on the International Space Station. On 02.12.2013, at 0:40 pm., with the transport spacecraft "Progress 18M" on board of the International Space Station was supplied scientific equipment, including the DP-PM module with our alloy. The aim of this international space experiment was to investigate the 2 years and a half influence of outer space environment on the properties of the alloy (B95+W+ND). The box, on which were mounted the samples of the so modified (see above) Al alloy B95 (for being exposed directly to the outer space conditions, for about a 2 years and a half stay), was coated by a bilayer composite electroless Ni coating (Ni / Ni + ND) to improve the surface characteristics of the box alloy. After this exposure to the outer space influence, the samples and the box were returned to the Earth for future research. Today the comparative analysis of the samples (i.e. of the both types of materials, that were and that were not in the outer space) is under study.

Conclusions and outlook

Here is presented a brief (because of the lack of space) survey of some coatings for aerospace applications. We see the important role of different coatings for space research and applications. Both experimental and theoretical studies of the coating structures, properties and materials are quite important for development of the new coatings and their new space applications.

Hence it is very interesting and useful to study the material properties in the context of new coatings of considerable interest for application in space technology and in particular for aerospace instrumentation.

We see that some of the unique properties of electroless nickel and electroless composite nickel, such as thickness uniformity, hardness, corrosion resistance, not expensive and magnetic response have resulted in its use in many different industries. Today it is firmly established as a functional coating in the electronics, oil and gas, chemical, aerospace and automotive industries, for instance. It is also recognized and used effectively in many others and the number of applications continues to grow.

Last but not least, our experience in the electroless nickel depositions and electroless composite coatings will be of great help in the future study of unknown coating properties, coating structures, new reinforcing particles (in composite coatings) for new potential aerospace applications.

Acknowledgements

This survey was partially supported by the bilateral Cooperation Agreement "Influence of nanosized additives on the physical and mechanical properties of the composite materials and coatings", between the Bulgarian Academy of Sciences (Space Research and Technology Institute) and the Polish Academy of Sciences (Institute of Metallurgy and Materials Science of Polish Academy of Sciences (with support of the Institute of Precision Mechanics)).

References:

1. Saxena, V., R. Uma Rani and A. K. Sharma, Studies on ultra high solar absorber black electroless nickel coatings, *Surface & Coatings Technology*, 201 (2006) 855–862.
2. Sharma, A. K., M. R. Suresh, H. Bhojraj, H. Narayananamurthy, and R. P. Sahu, Electroless Nickel Plating on Magnesium Alloy, *Metal Finishing*, March (1998) 10-18.
3. Colaruotolo, J. and D. Tramontana, Engineering Applications of Electroless Nickel, Chapter 8, www.knovel.com, <http://fiesta.bren.ucsb.edu/~dturvey/port/papers/Electroless/08.pdf>, 207-227.
4. Russick, E. M. and G. E. Thayer, Conformal Coating Value/Risk Assessment for Sandia Satellite Programs, <http://www.osti.gov/scitech/>, Sandia National Laboratories, March 2008, 1-27.
5. Dunn, B. D. and P. Desplat, Evaluation of conformal coatings for future spacecraft applications, *esa SP-1173*, 1994, 1-91.
6. http://www.smta.org/chapters/files/UMW_Conformal_Coatings_Workshop_-_Final.pdf

7. Lee, C. K., Structure, electrochemical and wear-corrosion properties of electroless nickel–phosphorus deposition on CFRP composites, Materials Chemistry and Physics, Volume 114, Issue 1, 15 March 2009, Pages 125–133.
8. de Rooij, A., Corrosion in Space. Encyclopedia of Aerospace Engineering, 2010, 1-15.
9. Qin, X. L., L. J. He, Y. L., Wang, K. Wang, M. M. Gao, Y. Zhang, X. K. Yang, Q. Chen, W. H. Dong and L. Zhang, The preparation and research of the electroless plating rare earth alloys, Advanced Materials Research, Volume 1052 (2014) 101-108.
10. Colas, G., A. Saulot, E. Regis and Y. Berthier, Investigation of crystalline and amorphous MoS₂ based coatings: Towards developing new coatings for space applications, Wear, Vol. 330-331 (2015) 448–460.
11. Kim, W.-J. and S.-S. Kim, Preparation of Ag-coated hollow microspheres via electroless plating for application in lightweight microwave absorbers, Applied Surface Science 329 (2015) 219–222.
12. Shibli, S. M. A., G. J. Harikrishnan, V. R. Anupama, K. S. Chinchu and B.N. Meena, Development of nano NiO incorporated nickel–phosphorus coatings for electrocatalytic applications, Surface & Coatings Technology 262 (2015) 48–55.
13. Gray, J. E. and B. Luan, Protective coatings on magnesium and its alloys — a critical review, Journal of Alloys and Compounds 336 (2002) 88–113.
14. Zhou, Y., W. Zhou, R. Li, Y. Mua and Y. Qing, Enhanced antioxidation and electromagnetic properties of Co-coated flaky carbonyl iron particles prepared by electroless plating, Journal of Alloys and Compounds 637 (2015) 10–15.
15. Somasundaram, ., A. M. Pillai, A. Rajendra and A.K. Sharma, High emittance black nickel coating on copper substrate for space applications, Journal of Alloys and Compounds 643 (2015) 263–269.
16. <http://webx.ubi.pt/~hgil/FotoMetria/PDF's-DOC's/Labsphere/Coating-20-20Material-20Guide.pdf>, A Guide to Reflectance Coatings and Materials.
17. Du, Y., Z. Song, H. Zhu and Z. Wang, Fabrication of Ni Microbumps With Small Feature Size on Au Using Electroless Ni Plating With Noncontact Induction, IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, PACKAGING AND MANUFACTURING TECHNOLOGY, VOL. 5, NO. 8, AUGUST 2015, 1169-1177.
18. van Leest, R. H., G. J. Bauhuis, P. Mulder, R. van der Heijden, E. Bongers, E. Vlieg and J. J. Schermer, Effects of copper diffusion in gallium arsenide solar cells for space applications, Solar Energy Materials & Solar Cells 140 (2015) 45–53.
19. https://www.ipc.org/4.0_Knowledge/4.1_Standards/IPC-J-STD-001ES.pdf
20. Heidarzadeh, A., R. T. Mousavian, R. A. Khosroshahi, Y. A. Afkham and H. Pouraliakbar, Empirical model to predict mass gain of cobalt electroless deposition on ceramic particles using response surface methodology, Rare Metals, August (2015) 1-11.
21. Parkinson, R., Properties and applications of electroless nickel, Nickel Development Institute, 1-37. http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/PropertiesAndApplicationsOfElectrolessNickel_10081_.pdf#page=
22. Sudagar, J., J. Lian and W. Sha, Electroless nickel, alloy, composite and nano coatings – A critical review, Journal of Alloys and Compounds 571 (2013) 183–204.
23. Karaguiozova, Z. K., Electroless Ni composite coatings with nanodiamond additives, Journal Resource Saving Technologies for Production and Pressure Shaping of Materials in Machine-Building, Lugansk 91034, Ukraine 2014, pp. 139-145.
24. Bouzekova – Penkova, A., Research on mechanical properties of Al dispersion strengthening alloy for outer space, SES 2013, 492-496.
25. Bouzekova – Penkova, A., Mechanical properties of modified Al alloy B95, SES 2014, 479-483.
26. Kaleicheva, J., M. Kandeva, Z. Karaguiozova, V. Mishev and P. Shumnaliev, Investigation on wear resistance of ductile cast iron covered with nanostructured composite Nickel coatings, in Proceedings of the "A" Coatings 9-th International Conference in Manufacturing Engineering, October 2-3-4, 2011, Thessaloniki, Greece, ISBN 978-960-98780-5-0, 2011, 405-414.
27. Karaguiozova, Z., PhD theses, Micro- and nanostructured composite nickel coatings deposited by electroless method, 2014.

МЕТОДИКА НА СНЕМАНЕ НА БЛОК ДП-ПМ ОТ БОРДА НА МКС И ПРОГРАМА ЗА ПОСЛЕДВАЩИ НАЗЕМНИ ИЗПИТАНИЯ

Анна Бузекова – Пенкова

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

Ключови думи: алюминиева сплав, МКС

Резюме: Показана е методиката на демонтиране на блок ДП-ПМ от повърхността на ПВК и подготвка на неговото за връщане на Земята.

METHODS OF DOWNLOADING THE BLOCK DP-PM ABOARD THE ISS AND PROGRAM FOR SUBSEQUENT GROUND TESTS

Anna Bouzekova-Penkova

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

Keywords: Aluminum alloys, ISS

Abstract: Shown is the method of removal of blocks PD-PM from the surface of the PVK and preparing its return to Earth.

Въведение

Стремежът на човека да се развива, да създава уреди и апарати които да улеснят начина му на живот са недостатъчни за него. Хилядолетната му мечта да лети в небето и до небесни тела датира в литературата на почти на всички народи. Любопитството му довежда до създаването и развитието на космическите технологии чрез процеси и операции, които са характерни за земната промишленост, но се използват в условията на Космоса.

Изучаване влиянието на космическите условия върху различни материали довежда до разработване и използване на нови материали. Непрекъснатото търсене на нови сплави със специфични свойства довежда до подбора на основния материал в нашата работа да е алюминий уячен с диамантен прах и Волфрам.

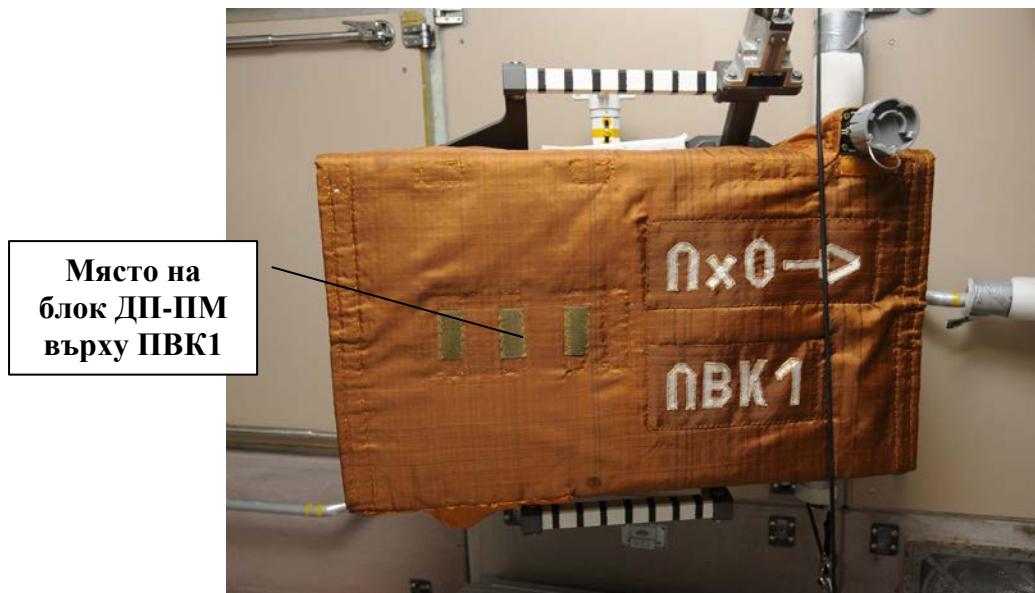
Материалът представлява значителен интерес за използването му в космическата техника и в частност за космическото приборостроене. Ето защо идеят проект се реализира в сътрудничество с водеща държава в този бранш- Русия модул на Международната Космическа Станция (МКС) , в което разделение, колективът участва активно с блок ДП-ПМ, като част от експеримента ОБСТАНОВКА.

Блок ДП-ПМ представлява контейнер с размери 185мм x 70мм x 10мм. В сърцевината на контейнера са разположени 10 бр. цилиндрични образци, изработени от високояка алюминиева сплав B95 уячена с нанодиамантен прах и Волфрам (~0,1%). (фиг.1)

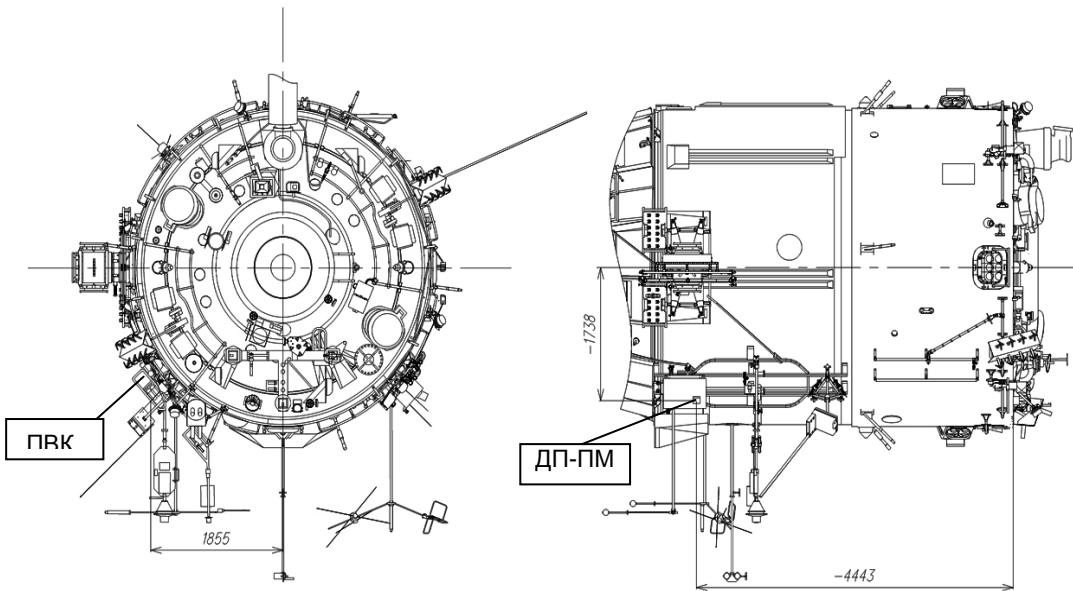


Фиг. 1. Блок ДП-ПМ

След щателна проверка за маса, габарити, присъединителни размери, външен вид за шупли, вдълбнатини, пукнатини, драскотини по защитните покрития и други дефекти, влияещи на качеството и развалящи външния вид, вакумни изпитания, въздействие на повишени/понижени температури на експлоатация и др. блок ДП-ПМ бе допуснат за полет. На 12.04.2013 г. блок ДП-ПМ бе качен на борда на МКС, а на 19.04.2013 г. бе изнесен и монтиран от космонавтите Павел Виноградов и Роман Романенко от външната страна на МКС върху плазмено-вълнов комплекс ПВК.(фиг. 2)



Фиг. 2. Плазмено-вълнов комплекс ПВК (НРДК.411711.001 РЭ)



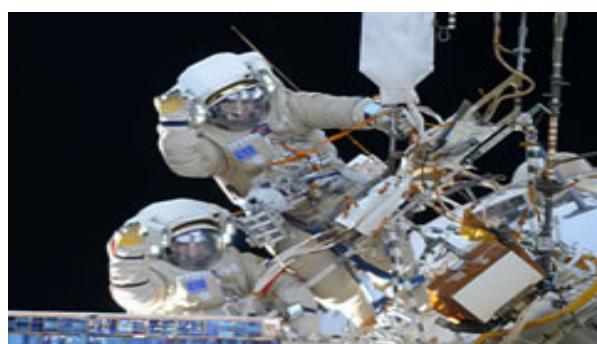
Фиг. 3. Плазмено вълновият комплекс от вътре



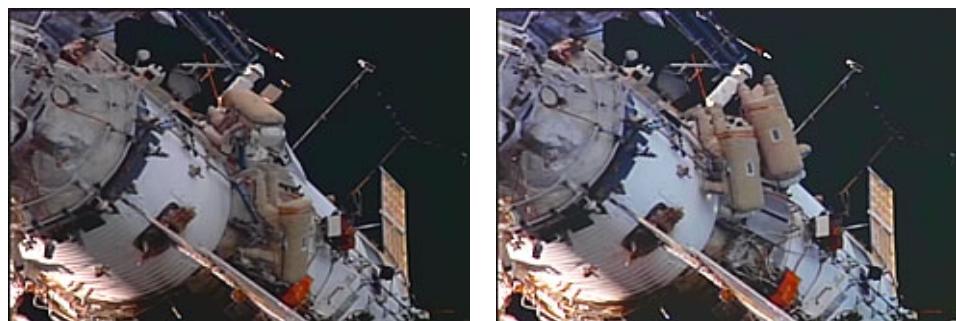
Фиг. 4. Монтираният блок ДП-ПМ, ПВК1 върху повърхността на МКС

След престой от 2 години и четири месеца, блок ДП-ПМ е внесен на борда на МКС на 10.08. 2015 г. чрез предварително подгответа методика за демонтаж, изработена от ИКИТ-БАН, ИКИ-РАН и одобрена от РКК "Енергия".

Демонтажът е извършен от космонавтите Геннадия Падалки и Михаил Корниенко.



Фиг. 5. Космонавтите Геннадия Падалки и Михаил Корниенко в открития космос преди демонтажа на блок ДП-ПМ



Фиг. 6. и Фиг. 7. Космонавтите Геннадия Падалки и Михаил Корниенко в открития космос

Теория на методиката

Методиката съдържа сведения за състава, предназначението, параметри на използувомото оборудване при демонтажа на блока ДП-ПМ от повърхността на ПВК и подготовка на неговото завръщане на Земята, както и процедура за действията на екипажа и специалистите ЦУП, за да се гарантира работата на ПВК1 и контрол на техническите характеристики на ПВК1 в изпълнението на предвидените дейности по КЕ на програма "Обстановка (1 етап)".

Методиката е изключително точна за всяко едно действие на космонавта, като се почне от отварянето на люка до затварянето му след преключване на работата в открития космос.

График на работата на космонавтите от външната страна на станцията:

- Отваряне на люка за достъп (ОВЛ) - 17:14 мск.;



Фиг. 8. Отваряне на люка на МКС

- Излизане в открития космос (ВКД) - 17: 14-23: 48 ms.



Фиг. 9. Излизане в открития космос

- Затваряне на люка за излизане (ЗВЛ) - 23:48 ms.

Продължителността на пребиваване на космонавтите Геннадия Падалки и Михаил Корниенко в условията на открития космос са 6 часа и 34 минути.

Методика по демонтаж на блок ДП-ПМ (Методика КЕ П42422).

Блок ДП-ПМ е монтиран от външната повърхност на блок КПВ1.

1. Блок ДП-ПМ трябва да бъде отстранен от повърхността на ПВК1 без да бъде нарушената работоспособността на блок ПВК1.

2. Блок ДП-ПМ нетрябва да бъде наранен, надраскан при самия демонтаж.

3. Блок ДП-ПМ трябва така да бъде демонтиран, че върху повърхността му да не се получат замърсявания.

1 стъпка – захващане с ръкавицата за ухoto в отвора, премахване на ДП-ПМ от повърхността на ПВК1;

➤ 2 стъпка – слагане на ДП-ПМ в “опаковка ДП-ПМ” (Фиг.10). По време на опаковането не се допуска допир на образците в зона В, съгласно ГЧ ДП-ПМ;



Фиг. 10. Херметичен контейнер за съхранение на блок ДП-ПМ

3 стъпка – внасяне на “Опаковка ДП-ПМ” на борда на МКС

По време на съхранението на борда на МКС няма специални изисквания към състава на атмосферата, влажността и степента на херметичност. Съхранението е допустимо в една опаковка, която да гарантира, че пробите няма да бъдат наранени и зацепани. Желателно е блок ДП-ПМ да бъде сложен в твърд калъф.

Изискванията за доставката на блок ДП-ПМ на Земята като част от ТГК "Съюз" са идентични с изискванията за доставка на ДП-ПМ на борда на МКС. Завръщането на Земята се извършва в съответствие с инструкциите на РКК "Енергия".

На 12 Септември 2015 г. в 00 часа и 29 минут по московско време транспортния кораб (ТПК) «Союз ТМА-16М» с екипаж в състав: космонавтите Геннадия Падалки (Россия), Айдъна Аимбетова (Република Казахстан) и астронавта Андреас Могенсена (Дания) отпътува от Международната космическа станция. Полета приключва в 3 часа и 29 минути на територията на Казахстан, 146 километра юго – източно от град Жезказган.

Целта на експеримента е изследване на лек композит на основата на високояка алуминиева сплав В95 при продължителен престой в условията на открития космос.

В съответствие с поставените цели, трябва да бъдат решени следните задачи:

- Изследване на повърхностните свойства на експерименталните образци (отделяне на електрони) и тяхното сравняване със свойствата на наземните образци.

- Определяне влиянието на лъченията върху взаимовръзката структура - свойство на композита, и начините по които изменениета в структурата влияят върху свойствата, сравнение с наземните.

- Изследване влиянието на лъченията върху механичните показатели на експонираните образци с техните наземни аналоги, за степен на напрегнатост на структурата, якост на опън, натиск, умора, микротвърдост, твърдост и коефициент на пълзене

- Изследване за структурни дефекти, възникнали в условията на открития космос.

- Изследване на устойчивостта на композита - до каква степен са въздействали постоянните температурни разлики в открития космос от -120 до +150 на прехода от пластичност към крехкост. Дали се запазва това изменение, след като престанат да действат, тези резки температурни промени и дали температурните промени правят материала крехък.

Заключение

Блокът ДП-ПМ беше успешно демонтиран от повърхността на ПВК без да повреди работоспособността му.

Блокът ДП-ПМ беше успешно вкаран на борда на МКС.

Блокът ДП-ПМ беше успешно свален на Земята.

Литература:

1. Методика изработена от Българска ИКИТ-БАН и Руска страна ИКИ РАН за демонтаж на блок ДП-ПМ.
Съгласувана и утвърдена от Руските конструктори на РКК "Енергия".
2. Материални предоставени от ИКИ РАН и РКК "Енергия".

ФАЗОВ СЪСТАВ НА НАНОМОДИФИЦИРАН КОМПОЗИТ В95

Анна Бузекова – Пенкова¹, Людмил Марков¹, Петър Цветков²

¹*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
e-mail: a_bouzekova@space.bas.bg; Lmarkov@space.bas.bg

²*Институт по обща и неорганична химия – Българска академия на науките*
e-mail: p-tzvetkov@gmx.net

Ключови думи: алуминиеви сплави, ултрайдисперсен диамантен прах

Резюме: В представената работа е използван прахово рентгенов дифракционен метод, за определяне на кристалната структурата и микроструктурните особености на кристалните фази в изследвания образец - композит B95.

PHASE COMPOSITION OF NANO MODIFIED COMPOSITE B95

Anna Bouzekova-Penkova¹, Ludmil Markov¹, Petar Cvetkov²

¹*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
e-mail: a_bouzekova@space.bas.bg; Lmarkov@space.bas.bg

²*Institute of General and Inorganic Chemistry – Bulgarian Academy of Sciences*
e-mail: p-tzvetkov@gmx.net

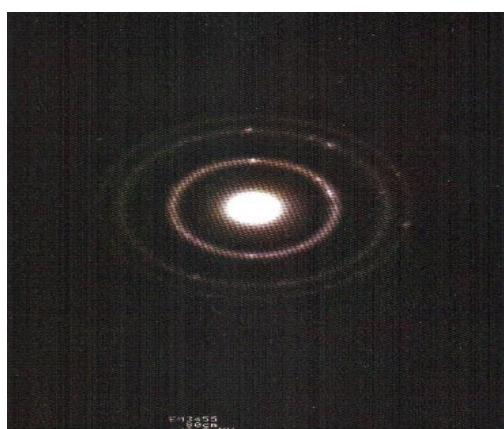
Keywords: Aluminum alloys, ultradispersed diamond powder

Abstract: In the present work is used powder X-ray diffraction method for determining the crystal structure and microstructural characteristics of crystalline phases in the research model - composite B95.

Въведение

Изискванията към сплавите стават все по големи. С появата на взривно получени диаманти, в т.ч. ултрайдисперсни, възниква и възможността за използването им като уячаващи частици за подобряване на качествата им.

В представената работа изходната сплав е B95 с количествена прибавка на взривно синтезиран нанодиамант (НД) и Волфрам. Нанодиаманта представлява фин сив прах, с чистота 99,9%, пикнометрична плътност – 3,16 g/cm³ и специфична повърхност до 400 m²/g. Изследванията, извършени със сканиращ електронен микроскоп и проведена компютърна обработка на образите показват, че частиците нанодиамант са почти изометрични със среден размер 4–7 nm.



Фиг. 1. Нанодиамант

Теория на метода

Целта на изследването е определяне на кристалните фази в изследвания образец посредством прахови рентгенови дифракционни методи, които позволяват да се получи детайлна информация за кристалната структура и микроструктурните особености на изследваните кристални фази. Получената кристалографска информация позволява да се определят качествен и количествен фазов състав, типа решетка и параметри на елементарната клетка, заселеност и позиция на атомите в структурата, размер и форма на кристалитите в праховия образец. Тази информация позволява да се направи връзка между начина на получаване от една страна и структурните особености и свойствата на материалите. Поради тази причина праховата рентгенова дифракция е много важен метод в неорганичното материалознание.

Освен рентгенови лъчи (X-rays) получени в лабораторни условия, за получаване на дифракция от поликристални образци може да се използва също поток от фотони с висока енергия (синхротрон). Тези източници на светлина дават възможност за получаване на информация с много високо качество и извършване на допълнителни изследвания, като детайлно изучаване на фазови преходи при условия на висока температура, налягане, електрическо или магнитно поле. При преминаване на рентгеновите лъчи през веществото те взаимодействат с него, като освен дифракция се наблюдава още флуоресценция, абсорбция, Компътново разсейване, двойна дифракция и др. В резултат от взаимодействието се получава кохерентно и некохерентно разсейване на рентгеновите лъчи от електронната обвивка на атомите. При кохерентно разсейване се наблюдават рентгенови фотони с енергия равна на енергията на падащата вълна, докато при некохерентно разсейване има разлика в енергията. Дифракция от кристална решетка се получава в резултат от кохерентно разсейване на рентгенови лъчи от различни системи равнинни мрежи в кристала. Система равнинни мрежи представлява атоми от кристалната структура, подредени в плоско паралелни равнини, които се характеризират с точно определен период на повторяемост. В кристалографията такива системи от равнини се наричат семейство равнини и се означават със съответен Милеров hkl индекс.

За тълкуване на явлението дифракция от кристалната решетка се използва закона на Браг, който разглежда дифракцията като отражение от семейство равнини с индекси hkl :

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin\Theta_{hkl}$$

където n е цяло число, λ [\AA] е дължина на вълната, d_{hkl} е разстояние между две съседни равнини с индекс hkl , ъгъл Θ° е половината от ъгъла на падане и отражение. Геометрично закона може да се изведе от схемата на Фиг. 2.



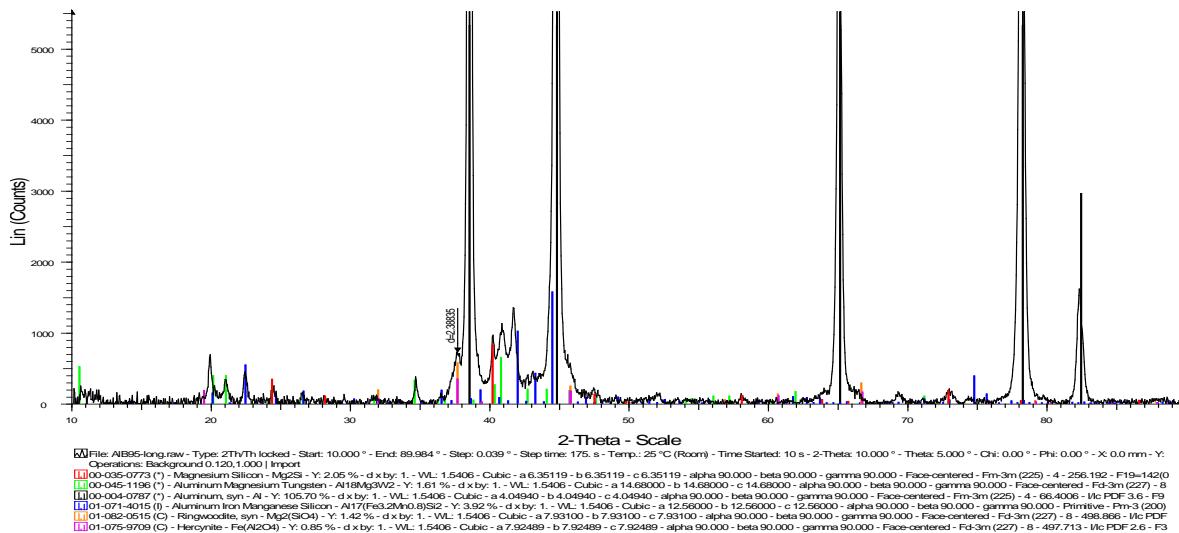
Фиг. 2. Геометрично представяне на закона на Браг за две успоредни равнини от атоми

Всяка равнина от семейството може да се разглежда като отделна равнина на отражение. Разстоянието между отделните равнини е равно на междуплоскостното разстояние d_{hkl} . Дифракция от семейство равнини е възможна само ако общата разликата в изминатия път 2Δ на вълни от две съседни равнини трябва да отговаря на $2\Delta = n\lambda$, където n е цяло число, а λ е

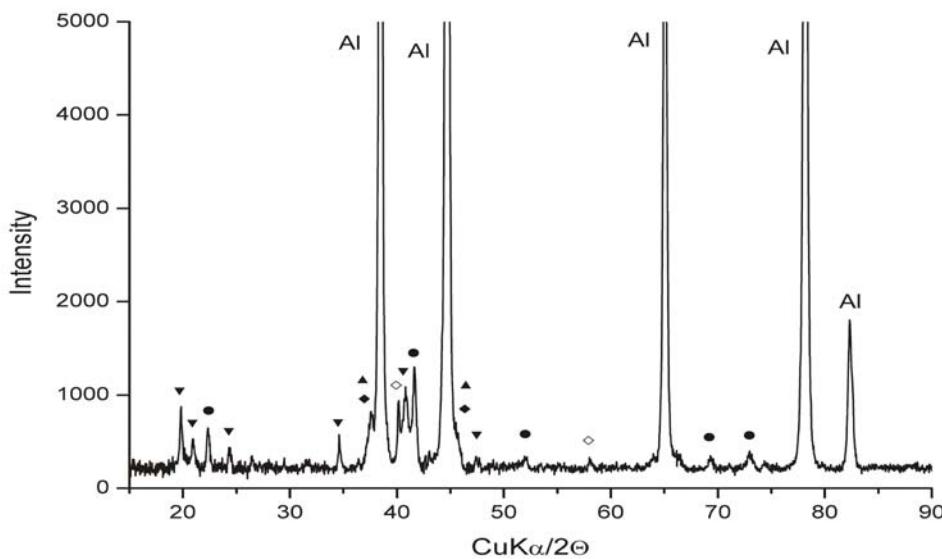
дължината на вълната на използваното лъчение. Коефициентът n е известен като порядък на рефлекса. Неговата стойност при пресмятането се приема за $n = 1$, тъй като рефлекси с порядък $n > 1$ може винаги да се представят като кратни на него: $d_{hkl} = n.d_{nh,nk,nl}$

Резултати от изследването

За определяне на кристалните фази в изследвания образец беше използвана рентгенова дифракция. Измерването беше направено на прахов рентгенов дифрактометър Bruker D8 Advance, оборудван с позиционно чувствителен твърдотелен детектор LynxEye и рентгенова тръба с меден анод ($\text{CuK}\alpha = 1.541838 \text{ \AA}$). Фазовият състав на изследвания образец беше определен с помощта на програма DiffracPlus EVA v.12 и сравнителна база данни с референтни прахови дифрактограми ICDD PDF-2 от 2009 година. За идентификация на отделните фази бяха използвани референтни картички със следните номера: PDF # 71-4015 ($\text{Al}_{17}(\text{Fe}_{3.2}\text{Mn}_{0.8})\text{Si}_2$), PDF # 45-1196 ($\text{Al}_{18}\text{Mg}_3\text{W}_2$), PDF # 35-0773 (Mg_2Si), PDF # 82-0515 (Mg_2SiO_4) и PDF # 75-9709 (FeAl_2O_4).



Фиг. 3. Прахова рентгенова дифрактограма на композит B95



Фиг. 4. Прахова рентгенова дифрактограма на композит B95. Символите отбелazzват следните фази:

- – $\text{Al}_{17}(\text{Fe}_{3.2}\text{Mn}_{0.8})\text{Si}_2$, ▼ – $\text{Al}_{18}\text{Mg}_3\text{W}_2$, ◇ – Mg_2Si , ♦ – Mg_2SiO_4 , ▲ – FeAl_2O_4 .

Заключение

На базата на проведеното изследване, може да се заключи че изследваният сложен по състав композит е образувал очакваните от нас фази и е в равновесно състояние.

Литература:

1. US патент № 5,353,708
2. Cooper, M., Acta Crystallogr., volume 23, page 1106 (1967)
3. Kerimov, K., Dunaev, S., J. Less-Common Met., volume 153, page 267 (1989)
4. Swanson, Tatge., Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539, volume I, page 11 (1953) CAS Number: 7429-90-5
5. Lacks, D. J., Gordon, R. G., Phys. Rev. B: Condens. Matter, volume 48, page 2889 (1993)
6. Palin, E. J., Harrison, R. J., Am. Mineral., volume 92, page 1334 (2007)
7. Miteva, A., "On the microstructure and strengthening of aluminium and aluminium alloys", Tribological Journal BULTRIB, BULTRIB '12, 2012, Sofia, vol. 3, 2013, pp. 367-370.
8. Miteva, A., "On the microstructure and mechanical properties of nanocomposites", SES 2012, pp. 220-225.