Aut Inveniam Viam, Aut Faciam! 𐤇𐤍𐤁𐤏𐤋 *Hannība'l (247 - 181 BC)*

Или ще намеря път, или ще го прокарам! Ханибал (247 - 181 г. пр.н.е.)

SES 2023

SES 2023

Nineteenth International Scientific Conference

SPACE, ECOLOGY, SAFETY

24 - 26 October 2023, Sofia, Bulgaria

SPACE RESEARCH AND TECHNOLOGY INSTITUTE

BULGARIAN ASTRONAUTICAL SOCIETY

BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

© Space Research and Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences

p-ISSN 2603 – 3313 e-ISSN 2603 – 3321

2023

BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES
Space Research and Technology Institute

BULGARIAN ASTRONAUTICAL SOCIETY

NINETEENTH INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

DEDICATED TO

THE 35-TH ANNIVERSARY OF THE SHIPKA SCIENTIFIC PROGRAMME AND THE MISSION OF THE BULGARIAN ASTRONAUT ALEXANDER ALEXANDROV

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

S E S 2023

PROCEEDINGS

The Conference is supported by Bulgarian National Science Fund
Contract № КП-06-МНФ/23 от 08.08.2023

2023

Organizational Committee

Honoured Chairman: Acad. Julian Revalski

Chairman
Corr. Member Petar Getsov, DSc

Vice-Chairman
Prof. Garo Mardirossian, DSc

Secretary
Assoc. Prof. Dr. Lachezar Filchev

Members:
Prof. Tsvetan Dachev, DSc
Prof. Dr. Vladya Borissova
Prof. Dr. Hristo Nikolov
Dr. Konstantin Peev
Dr. Krassimir Stoyanov
Valeri Vassev, MS
Mariyana Toncheva, MS
Adelina Kuzeva
Mariana Zaharinova

Scientific-Programming Council

Acad. Lev Zelenyi – Russia
Prof. Serge Koutchmy – France
Prof. Gerasimos Papadopoulos – Greece
Prof. Zdenek Nemetchek – Czech Republic
Prof. Stefano Tinti – Italy
Prof. Richard Haigh – United Kingdom
Prof. Stefan Manegold – Netherlands
Assoc. Prof. Beshir Marzouk – Egypt
Assoc. Prof. Bogdan Zagajewski – Poland
Prof. Ruben Paul Borg – Malta

General Dr. Georgi Ivanov
General Dr. Alexander Alexandrov
Corr. Member Petar Getsov, DSc
Corr. Member Peter Velinov, DSc
Corr. Member Nikolay Miloshev, DSc
Prof. Garo Mardirossian, DSc
Prof. Nikola Vichev, DSc
Prof. Dr. Georgi Jelev
Prof. Dr. Denitsa Borisova
Prof. Dr. Boyko Ranguelov
Assoc. Prof. Simeon Asenovski
Assoc. Prof. Alexey Stoev
Assoc. Prof. Nadya Marinova
Tsveta Srebrova, MS

PROCEEDINGS

Editors:
Garo Mardirossian and Petar Getsov
Technical Editor
Tsveta Srebrova
Cover Design
Georgi Jelev

This Collection contains reports presented orally, or in the form of posters during the Nineteenth International Scientific Conference „Space, Ecology, Safety - SES 2023", which was held in October 2023, Sofia.

The Collection includes reports which were sent within the due term and were drafted in accordance with the preliminarily announced instructions.

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

p-ISSN 2603 – 3313 **e-ISSN 2603 – 3321**

Bulgaria, Sofia 1113, *Acad. G. Bonchev* St., bl. 1
Phone/fax: (+359 2) 988 35 03
e-mail: office@space.bas.bg; http://www.space.bas.bg

CONTENTS

Plenary Session

Tsvetan Dachev, Pantaleone Carlucci, Francesco Cairo, LuciaPaciucci, Borislav Tomov, Yuriy Matviichuk, Plamen Dimitrov, Mityo Mitev, Malina Jordanova
Preliminary Space Radiation Results for the First-Ever Commercial Suborbital Mission Galactic 1 with Virgin Galactic Spaceshiptwo Unity on 29 June 2023. 9

Петър Гецов, Николай Загорски, Гаро Мардиросян
Участие на Института за космически изследвания и технологии при Българската академия на науките в Национална научна програма „Сигурност и отбрана“. 15

Special Session

Димчо Солаков, Стела Симеонова, Пламена Райкова, Мила Атанасова
Афтършокова активност след катастрофалното земетресение (M_w7.8) от 6 февруари 2023 г. 25

Boyko Ranguelov, Memet Salih Bayraktutan, Fathimath Shadiya, Edelvays Spassov, Julia Krumova, Garo Mardirossian
Comparative Seismic Risk Analysis. Eathquakes M7.8 (1904- Bulgaria) and (2023-Turkey). 31

Session 1

Space Physics

Tsvetan Dachev, Borislav Tomov, Yuriy Matviichuk, Plamen Dimitrov, Yordanka Semkova, Malina Yordanova, Nikolay Bankov, Mityo Mitev, Vyacheslav Shurshakov, Viktor Bengin
Overview of the Outer Radiation Belt Dose Rates, Observed at Space Station “Mir” and at the International Space Station by Liulin Type Instruments. 41

Veneta Guineva, Rolf Werner, Irina Despirak, Natalya Klejmenova, Andris Lubchich, P. Setsko, Atanas Atanassov, Rumiana Bojilova, Lyubomira Raykova, Dimitar Valev
Results from the Bulgarian-Russian Project on Investigation of the Geomagnetic Disturbances Propagation to Mid-Latitudes and their Interplanetary Drivers Identification for the Development of Mid-Latitude Space Weather Forecast. 47

Rolf Werner, Boyan Petkov, Veneta Guineva, Andrey Kirillov, Atanas Atanassov, Rumiana Bojilova, Dimitar Valev, Lyubomira Raykova
Verification of the Long-Term Stability of Ozone Measurements with the GUV 2511 Instrument in Stara Zagora. 57

Rositsa Miteva, Werner Pötzi, Astrid Veronig, Kamen Kozarev, Momchil Dechev, Robert Jarolim, Mohamed Nedal, Nikola Petrov, Stefan Purkhard, Christoph Schirninger, Tsvetan Tsvetkov, Yovelina Zinkova
New Bulgarian-Austrian Project ‘Joint Observations and Investigations of Solar Chromospheric and Coronal Activity’. 63

Rositsa Miteva, Susan W. Samwel, Momchil Dechev
Comparative Study between Low and High Energy SOHO/ERNE Protons in Solar Cycle 23. 67

Peter Tonev
Studying Exaggerated Atmospheric Electric Currents at High Latitudes during Major Sep Events. . . .71

Цветан Паров
Влияние на слънчевата активност върху атмосферни процеси в карстовата система на Понор планина. 76

Алексей Стоев, Пенка Мъглова, Огнян Огнянов
Лунни лавови пещери: наблюдения, документиране и експлоатация. 80

Daniela Boneva, Wojciech Dimitrov, Krasimira Yankova
Short- and Long- Lasting Outbursts and Mass Transfer Properties of Three AM CVn Stars. 86

Красимира Янкова
Времето в термините на термодинамика и адвекция – фундаментални следствия. 91

Atanas Atanassov
Applying Situation Analysis Solver to Satellite-Space Debris Close Approaches Problems. Interface between Models. 94

Ангел Манев, Алексей Стоев, Динко Господинов
Астрономически аспекти на календарното датиране. 100

Велко Велков
Философски проблеми на космологията и подходи за решаването им. 106

Session 2
Aerospace Technologies and Biotechnologies

Konstantin Metodiev
Unmanned Aerial Vehicle Mission Simulation in Flightgear. 113

Геннадий Маклаков, Надежда Георгиева
Синдромът емоционално прегаряне - как да стабилизираме психосоматичното състояние на авиационния и космическия персонал с използване на системи за виртуална реалност. 119

Евгений Хубенов, Георги Сотиров, Зоя Чифлиджанова
Мултисензорна система за откриване и класификация на безпилотни летателни апарати с елементи на изкуствен интелект. 124

Зоя Хубенова, Константин Методиев, Георги Сотиров, Любомир Алексиев
Изследване на човешкия фактор в безпилотните авиационни системи за мониторинг в критични ситуации. 130

Petar Petrov, Ivan Dimitrov
Evaluation of Membrane Stability of Leaf Cells of Cynodon (Cynodon Dactylon) and Four Wheat Genotypes after Exposure to Ethanol. 136

Христофор Скандалиев, Весислава Тотева
Ракетни двигатели, предназначени за динамични тестове на строителни конструкции. 142

Siyana Yankova, Kristiyana Nikolova
Airborne Risks: The Interplay of Compatibility and Risk Assessment in Avionics Components. 148

Malina Jordanova, Todor Uzunov, Frank Lievens
Digital Health: Bringing Lessons from Covid-19 into the Mental Health Support. 155

Session 3
Remote Sensing and Geoinformation Systems

Svetoslav Zabunov, Garo Mardirossian
Supercapacitors Usage in Passive Radar Autonomous Station. 163

Мария Димитрова, Йорданка Прегьова
Сравнение на сезонното изменение на праховото замърсяване по наземни данни и пясъчните нахлувания от Африка, регистрирани по спътникови данни. 169

Йорданка Прегьова, Мария Димитрова
Прахово замърсяване на територията на България по наземни данни. 174

Maria Dimitrova
Seasonal and Temporal Behavior of Background NO_2 Pollution over Bulgaria on the Base of Sentinel P5 Data. 179

Ilina Kamenova, Milen Chanev, Petar Dimitrov, Luchezar Filchev, Georgi Jelev, Qinghan Dong, Liang Zhu
Evapotranspiration Estimation, Case Study in Bulgaria within Dragon-5 Program. 182

Илина Каменова
Сравнение на класификационни алгоритми за идентифициране и картографиране на полета със зимна пшеница по данни от сателита RapidEye. 187

Ива Иванова, Наталия Станкова, Теменужка Спасова
Използването на индекси за мониторинг на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна по данни от Sentinel 2. 193

Temenuzhka Spasova, Daniela Avetisyan, Iva Ivanova, Adlin Dancheva, Simona Borisova, Dimitar Michev
Assessment of Mosses and Lichens in Antarctica and Bulgaria Based on Remote Sensing and Chlorophyll Fluorescence. 199

Пламен Тренчев
Дистанционен мониторинг на емисиите на метан от депа за отпадъци. 209

Искрен Иванов, Лъчезар Филчев
Площадки и проби, служещи за калибриране на данни от оптически дистанционни изследвания на Луната. 213

Милен Чанев, Павел Попов, Кристиан Александров
Приложение на безпилотните летателни платформи в археологическите изследвания. 219

Огнян Огнянов
Изследване на астроклимата в определени географски локации за подбор на оптимални места за космически наблюдения. 226

Session 4
Ecology and Risk Management

Димитър Димитров, Жеан-Клод Руег
Как прогнозирахме земетресението от 2010 г. в централно Чили с данни от космическата технология GPS и моделиране. 235

Александра Стоянова, Ралица Берберова
Анализ на състоянието на зимуващи водолюбиви птици от разред Гъскоподобни на територията на Рамсарските места по Българското Черноморие за периода 2012–2021 г. 241

Геннадий Маклаков, Надежда Георгиева, Момчил Караиванов
Влияние на биоенергийни зони в Родопите върху качеството на селскостопанските продукти. 248

Stanimir Karapetkov, Kamen Ishtev, Diana Bankova, Elka Radeva, Venelin Kondov, Dimo Dimov, Petia Minkova, Daniela Arnaudova, Simeon Panev, Ivan Demerdjiev, Philip Philipoff, Venkatanathan Natarajan, Mario Muñoz Organero, Mehmet Salih Bayraktutan, Blagovest Panev
Neural Networks for Risk Management in Natural Disasters, Transport Crashes and Industrial Accidents. 254

Ivan Stoev, Elitza Uzunova
Knowledge Transfer in Artificial Neural Networks: State-of-the-art Techniques for Efficient Learning and Performance Improvement. 260

Anton Sotirov
Quality of the Water of River Lebnitsa - SW Bulgaria Intended for Agricultural Irrigation and Livestock Breeding. 266

Bilyana Kostova, Ventseslav Stoyanov, Katerina Mihaylova, Vilma Petkova
Application of Cement Replacement Materials in Phase Formation in Mortar as an Ecological Approach for Reducing Greenhouse Gases. 270

Вилма Петкова, Катерина Михайлова, Биляна Костова
Интензивно енергетично смилане – екологичен подход за преработка на фосфорни руди за производство на подобрители за почви. 276

Наталия Станкова
Мониторинг на възстановяване след горски пожар с използване на Direction Angle. 281

Наталия Станкова
Оценка на пораженията след горски пожар до село Хвойна (Средни Родопи) с използване на дистанционни методи. 286

Ekaterina Ivanova
Water-Related Natural Hazard Assessment: A Gis-Based Methodology for the Rhodope Mountain Range in Bulgaria. 291

Христофор Скандалиев, Нели Сивева, Томислав Скандалиев
Динамика на екологичните фактори във водосбора на река Соволянска Бистрица. 297

Надя Маринова
Модели за експертни оценки на сложни конкурентни стратегии. 303

Димитър Димитров, Евгени Андреев
Нарастващата заплаха от кибератаки срещу научния сектор. 308

Session 5
Space Material Science and Nanotechnology

Margarita Dimitrova
The Effects of Cosmic Radiation on Materials and Changes to their Electronic Structure. 317

Анна Бузекова-Пенкова
Корозия на алуминий и алуминиеви сплави. 323

Adelina Miteva
Food Irradiation for Space Applications. 328

Plenary Session

PRELIMINARY SPACE RADIATION RESULTS FOR THE FIRST-EVER COMMERCIAL SUBORBITAL MISSION GALACTIC 1 WITH VIRGIN GALACTIC SPACESHIPTWO UNITY ON 29 JUNE 2023

Tsvetan Dachev[1], Pantaleone Carlucci[2], Francesco Cairo[2], LuciaPaciucci[3], Borislav Tomov[1], Yuriy Matviichuk[1], Plamen Dimitrov[1], Mityo Mitev[1], Malina Jordanova[1]

[1]Space Research and Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences (SRTI-BAS), Sofia, Bulgaria, E-mail: tdachev59@gmail.com
[2]National Research Council of Italy, Institute of Atmospheric Sciences and Climate (CNR-ISAC), Rome, Italy, E-mail: francesco.cairo@artov.isac.cnr.it
[3]National Research Council of Italy, Engineering, ICT and Technologies for Energy and Transportation Department (CNR-DIITET), Rome, Italy E-mail: lucia.paciucci@cnr.it

Keywords: *Space Radiation Dose and Dosimeters, Dose Rate Profile*

Abstract: *The paper presents the Portable Dosimeter-Spectrometer (PDS) Liulin-CNR-VG, measuring the space radiation altitudinal profile during the flight of the Virgin Galactic SpaceShipTwo Unity on 29 June 2023 (https://www.space.com/virgin-galactic-first-commercial-mission-success). The PDS size is 66x56x26 mm. Its weight is 0.092 kg. The PDS measures the following parameters: the flux of the charged particles in the range from 0.1 to 20,000 particles per square centimeter in 1 second; the absorbed dose in the range from 0.3 nGy to 1.56 mGy; the dose rate in the range from 0.04 to 0.18 mGy h^{-1}. The altitude profile during the mission of Virgin Galactic SpaceShipTwo Unity up to the 37.2 km altitude is similar to the profiles measured on aircraft up to 12 km altitude and on unshielded Liulin battery operated unit during the June 8, 2005 certification flight of the NASA Deep Space Test Bed balloon flight launched from Ft. Sumner, New Mexico, USA.*

During the first part of the SpaceShipTwo flight, up to 13.7 km, the dose rate rises from 0.058- mGy h^{-1} up to 2.5 mGy h^{-1}. The Pfotzer maximum is not well observed in the ascending part of the flight, because of the relative small statistics for the chosen exposition of 10 sec and fast movement of the vehicle on the ascending part of the trajectory. Above the Photzer maximum, at about 85 km altitude, the dose falls down to 2.2 μGy h^{-1}. The equivalent dose during the flight of is calculated to be about 5.18 μSv for 2.37 hours. This reveals that there is no radiation risk for the pilots and astronauts flying at the Virgin Galactic (VG) SpaceShipTwo up to 85.1 km altitude.

ПРЕДВАРИТЕЛНИ ДАННИ ЗА МОЩНОСТИТЕ НА ДОЗИТЕ ПРИ ПЪРВАТА КОМЕРСИАЛНА, СУБОРБИТАЛНА МИСИЯ „ГАЛАКТИК 01“ С КОСМИЧЕСКИЯ КОРАБ “СПЕЙСШИП 2“ НА ФИРМАТА „ВЪРДЖИН ГАЛАКТИК“

Цветан Дачев[1], Pantaleone Carlucci[2], Francesco Cairo[2], Lucia Paciucci[3], Борислав Томов[1], Юрий Матвийчук[1], Пламен Димитров[1], Митьо Митев[1], Малина Йорданова[1]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките, E-mail: tdachev59@gmail.com
[2]Национален съвет за научни изследвания на Италия, Институт за атмосферни науки и климат, Рим, Италия, E-mail: pantaleone.carlucci@cnr.it, francesco.cairo@artov.isac.cnr.it
[3]Национален съвет за научни изследвания на Италия, отдел „Инженеринг, ИКТ и технологии за енергетика и транспорт“, Рим, Италия, E-mail: lucia.paciucci@cnr.it

Ключови думи: *Доза и дозиметри за космическа радиация, Профил на мощността на дозата*

Резюме: *Докладът представя дизайна на преносимия дозиметър-спектрометър (PDS) Liulin-CNR-VG, който измери височинния профил на космическата радиация по време на полета на космическия кораб “Спейсшип 2“ на фирмата „Върджин Галактик“ на 29 юни 2023 г.*

(https://www.space.com/virgin-galactic-first-commercial-mission-success). Размерът на преносимия дозиметър-спектрометър е 66x56x26 mm, а теглото - 0,092 kg. Приборът измерва следните параметри: потока на заредените частици в диапазона от 0,1 до 20 000 частици на квадратен сантиметър за 1 секунда; погълнатата доза в диапазона от 0,3 nGy до 1,56 mGy; мощността на дозата в диапазона от 0,04 до 0,18 mGy h^{-1}. Височинният профил по време на мисията на Спейсшип 2“ до 37,2 km надморска височина е подобен на профила, измерен на самолет до 12 km надморска височина, както и на профила от преносимия дозиметър-спектрометър Liulin, работещ с батерии, без екраниране, по време на сертификационния полет с балон на NASA Deep Space Test, изстрелян от Ft. Sumner, Ню Мексико, САЩ на 8 юни 2005 г.

През първата част от полета на “Спейсшип 2“, до 13,7 km, мощността на дозата нараства от 0,058- mGy h-1 до 2,5 mGy h^{-1}. Максимумът на Pfotzer не се наблюдава добре във възходящата част на полета, поради относително малка статистика за избраната експозиция от 10 секунди и бързото движение на Спейсшип -2 във възходящата част на траекторията. Над максимума на Пфотцер, на около 85 km височина, дозата пада до 2,2 μGy h-1. Еквивалентната доза по време на полета е изчислена на 5,18 μSv за 2,37 часа. Това разкрива, че няма радиационен риск за пилотите и пътниците - космически туристи, летящи с „Върджин Галактик Спейсшип 2“ до 85,1 km височина.

Introduction

The era of suborbital touristic flights up to 110 km altitude is already open by the missions of Virgin Galactic first crewed spaceflights on 11 July 2021 with Richard Branson on board and Blue Origin on July 20 2021 with Jeff Bezos on board. It is rather difficult to say exactly where the atmosphere ends and space starts. A widely accepted definition uses what is called the Karman line (*https://astronomy.com/news/2021/03/the-krmn-line-where-does-space-begin*), which is at 100 km above the sea level (ASL) as the boundary for space. According to NASA and the U.S. military, space starts at 80 km ASL. Richard Branson and his crew in the Virgin Galactic SpaceShip Unity flew to an altitude of 86 km, whereas Jeff Bezos and other passengers in Blue Origin rocket flew up to 107 km.

Virgin Galactic has conducted its first commercial mission into suborbital space with the SpaceShipTwo spacecraft. (Virgin Galactic launches first commercial spaceflight (spacedaily.com)) The flight began on June 29, 2023 at 08:00 a.m. MT or 03:00 p.m. GMT from Spaceport America in New Mexico, USA (https://www.virgingalactic.com/). Virgin Galactic calls this mission Galactic 01. It is a joint research study of the Italian Air Force and the National Research Council of Italy called "VIRTUTE 1" (**V**olo **I**taliano per la **R**icerca e la **T**ecnologia s**U**borbi**T**al**E**- Italian Flight For Sub-Orbital Research and Technology) (Please look Fig. 1. a.) The mission lasted about 90 minutes, reaching an altitude of 85.1 kilometers.

Fig. 1.a

Fig. 1.b

Fig. 1.c

Fig. 1.a SpaceShipTwo and the logo of VIRTUTE 1 mission;
Fig. 1.b The VIRTUTE 1 mission crew;
Fig. 1. c. External view of the Liulin-CNR-VG instrument and the managing computer.

The VIRTUTE 1 mission crew was Pantaleone Carlucci, an engineer at Italy's National Research Council, Colonel Walter Villadei of the Italian Air Force, Lt. Col. Angelo Landolfi, an Italian Air Force physician and Colin Bennett, an astronaut instructor at Virgin Galactic (Fig. 1. b, names listed from left to right).

The VIRTUTE 1 mission includes 13 experiments, (https://www.virgingalactic.com/galactic-01-research-payloads-fact-sheet) as follows: 1. Liulin-CNR-VG; 2. Doosy-CNR-VG; 3. droP Impact in micro-Gravity (PING); 4. Italian Combustion Experiment – Suborbital Flight (ICE – SF); 5. TetRafluoroethAne sponge (TRAP); 6. Cabin Air Quality (CAQ); 7. SHApe Recovery of Composite Structures; 8. (SUNRISE-VG01-SHARCS) TESting in Space (SUNRISE-VG02-TESIS); 9. Scientific-

Health Area Experiments; 10. Smart Flight Suit 1 (SFS1); 11. ECG Holter Monitoring; 12. Passenger well-being; 13. Pre- and post-flight ground activities.

The Portable Dosimeter-Spectrometer Liulin-CNR-VG (Please look Fig. 1.c) is an object of a Bulgarian - Italian research project "Portable Dosimeter- Spectrometer Liulin-CNR-VG". The project partners are Space Research and Technology Institute of the Bulgarian Academy of Sciences (SRTI-BAS) and National Research Council of Italy (CNR).

The design of the portable dosimeter-spectrometer Liulin-CNR-VG is not a new one. Since 1989, SRTI-BAS, in international cooperation with scientists from Russia, Germany, Japan, Czech Republic, Italy, Norway, USA and India flew in space with seventeen similar devices [1-2].

Instrument description

The external view of the portable dosimeter-spectrometer (PDS) is presented on Fig. 1.c. It is situated in an Extruded Aluminum Enclosure with a size 66x56x26 mm. The weight of the PDS is 0.098 kg.

The Portable dosimeter-spectrometer Liulin-CNR-VG measures the following parameters: the flux of the charged particles with an ionizing capacity above 1 MeV/mm in silicon, with a sensitive area of 2 cm^2, an energy resolution of 100 keV in the range from 0.1 to 20000 particles or quanta per square cm per sec.; absorbed dose in the range from 0.3 nGy to 1.56 mGy; dose rate in the range from 0.04 μGy h^{-1} to 0.18 Gy $^{-1}$, energy deposited in the detector from 0.08 to 20.3 MeV. The measurement error is no more than ± 20%.

The Liulin-CNR-VG PDS is a Liulin type deposited energy spectrometer (DES) [1]. It uses one silicon detector to measure the deposited energy and the number of particles or quanta that allows calculating the dose rate and the flux.

The spectrometer-dosimeter contains one silicon-PIN diode of Hamamatsu S2744-08 (2 square cm area and 0.3 mm thickness), 1 ultra-low noise charge-sensitive preamplifier of AMPTEK A225F, 2 microcontrollers and 64 MB flash memory.

On the upper panel of the PDS are mounted the ON/OFF switch, the green status LED and the USB mini female connector. Below the panel are situated two rechargeable cylindrical AAA size Lithium-Ion cells 10440 of Portable Power Corp.

Above the 0.5 mm thick bottom panel of the PDS is situated the 2 cm^2 Hamamatsu PIN diode detector. In addition, there is a technological shielding of 0.07-mm copper and 0.2-mm plastic material. They all provide a total shielding of 0.25 g cm^{-2}. The calculated required kinetic energies of normally falling particles to the detector are 0.67 and 12.5 MeV for electrons and protons, respectively (https://www.nist.gov/pml/stopping-power-range-tables-electrons-protons-and-helium-ions). This indicates that only protons and electrons with energies higher than the values listed above can cross the PDS shielding materials and reach the surface of the detector.

After passing a charge-sensitive preamplifier, the signal is digitized by a 12-bit fast analog to digital (A/D) converter. The doses (deposited energies) are determined by a pulse height analysis technique and then passed to a discriminator.

According to AMPTEK A225F specifications the pulse amplitudes, A[V] are proportional by a factor of 240 mV/MeV to the energy loss in the detector and respectively to the dose. The amplitude of each signal from the income particles and quanta are transformed into digital signals, which are sorted into 256 channels by a multichannel analyzer. For every exposure interval, a single 256 channels energy deposition spectrum is collected. The energy channel number 256 accumulates all pulses with amplitudes exceeding the maximal level of the spectrometer of 20.83 MeV.

A system international (SI) determination of the dose is used to calculate the absorbed dose in the silicon detector. The dose in SI is the energy in Joules deposited in one kilogram of a matter. The dose *D* (in Gy) in the silicon detector is calculated from the spectrum as:

$$D=K*\Sigma_1^{256}(Ei*Ai)/MD, \quad (1)$$

Where *MD* is the mass of the detector (in kg), *Ei* is the energy loss (in Joules) in the channel *i, Ai* is the number of events in it, and *K* is a coefficient. Dachev et al. [2] published recently the dose calculation procedure in details.

Experimental results

Figure 2 shows the dynamics of the dose rate, measured with the spectrometer Liulin-CNR-VG during the Galactic 01 mission. As this dynamic is mainly because the variations of the SpaceShip Two altitude, the altitude, as provided by Virgin Galactic, is plotted with green line. Except the altitude, the calculated dose to flux ratio is presented with a blue line. The black line is for Total Dose in μGy.

In the first part of the figure between 08:00 and 08:34 MT (Mountain Time), the space plane is on the ground, i.e. the measurements were performed in the natural background radiation environment with a minimal measured dose rate of 0.00 μGy h^{-1} and a maximal dose rate of 0.6042 μGy h^{-1}. The main contribution in the dose are coming from in soil gamma radiation sources. emitting gamma quanta.

The relative large dispersion in the measured values well seen in right part of Fig. 2 is result of the small exposition time of 10 s, which allowed accumulation of maximum 4 particles or quanta per 10 s exposition. This statistics is not enough to calculate more precisely the dose rate. The average dose rate value between 08:00 and 08:34 MT is 0.1036 μGy h^{-1}, which is larger than the world average natural background radiation dose rate of 0.0585 μGy h−1 with a minimum dose rate of 0.018 and maximum of 0.095 μGy h^{-1} [3, 4]. Additional doses are coming from the galactic cosmic rays (GCR), which amount increases with the altitude above the sea level (ASL). Spaceport America is at almost 1.4 km ASL.

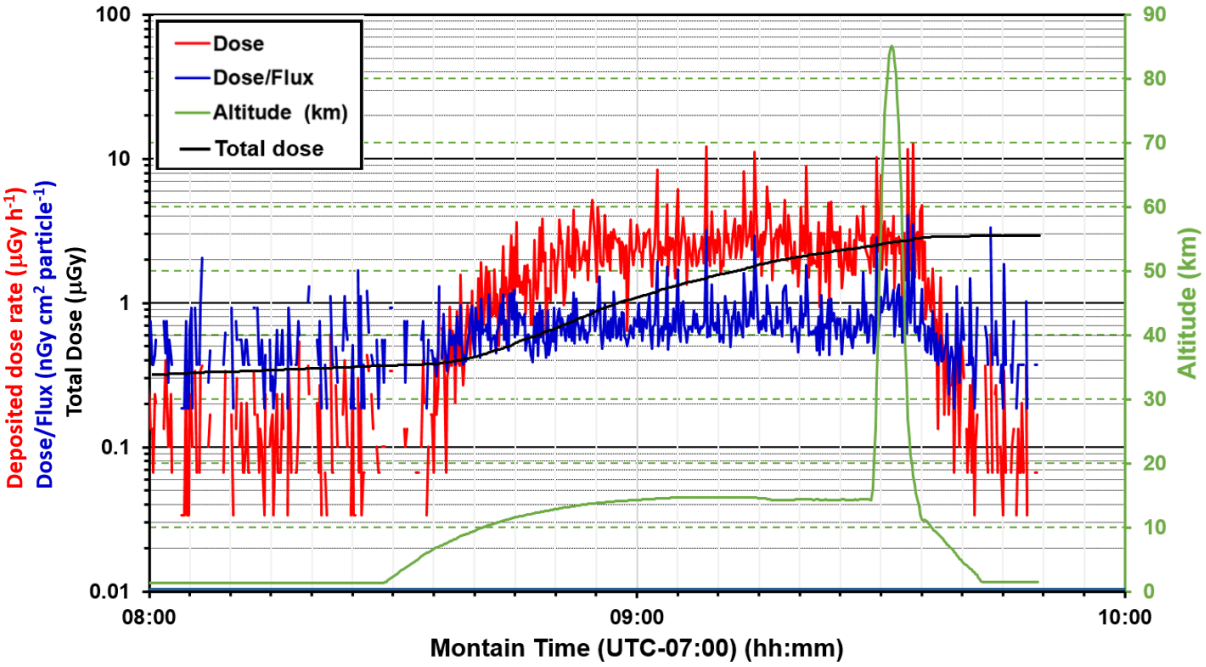


Fig. 2. Shows with red line the 10 s data for the dose rate, measured by Liulin-CNR-VG and the calculated ratio of dose rate to flux with a blue line. The green line presents the altitude in km, while the black line – the total accumulated dose in μGy.

After the take-off, the plane starts to climb up and at 09:00 MT reaches an altitude of 14.3 km. During this movement, the dose rate rises up to 2.45 μGy h^{-1}. Further, between 09:00 MT and 09:25 MT the plane stays at almost fixed altitude of about 14.47 km. The average dose rate is also fixed at 2.86 μGy h^{-1}. The Dose to Flux ratio at the fixed altitude also rises up to 0.76-nGy cm^2 $particle^{-1}$.

The strong maxima seen in the dose rate (red line) between 09:00 MT and 09:35 MT are always connected with maxima in the Dose/Flux ratio (blue line). The more precise look in the spectra shows that the reason for the large doses and large Dose/Flux values is the presence in the spectrum of events in channels number above 150. The high-energy depositions in the spectrum are at high channel numbers. For example, the highest dose rate of 12.79 μGy h^{-1}, observed at 09:34:00 MT is connected with an energy deposition in 256th channel of the spectrometer.

High-energy depositions manifested also the existence of another radiation source. This source are the low energy protons existing in the Photzer maximum [5] at altitudes close to 20 km. Crossings of the Photzer maximum produced the five dose rate maxima at both side of the altitudinal maximum at 85.1 km. In each of these maxima high-energy deposition from protons are seen in the channels above 150.

The small statistic of about 19 events in the spectra around the ascending Photzer maximum position of 20 km is the reason for not well-seen dose rate increase. The expected decrease of the dose rate above the Photzer maximum [6] is also not well seen in Fig. 2.

On the descending part of the space plane trajectory the altitude decrease in the range 40-10 km is less steep than the ascending part that is why the Photzer maximum close to 20 km

altitude is better observed. The overestimation of the averaged dose rates of more than 5 μGy h^{-1} is because of high energy depositions in the mentioned above spectra.

The decrease of the altitude in the range from 10 to 1.4 km return the dose rates to the average values of 0.098 μGy h^{-1}, which is larger than the observed during the ascending part of the flight at fixed altitude of 1.3 km.

Comparison of Liulin-CNR-VG altitudinal profile with previous observation with Liulin instruments at stratospheric balloons and aircraft

Figure 3.a presents the result of the comparison between absorbed dose rate altitudinal profile obtained by Liulin-CNR-VG instrument on the descending part of the VG space plane (blue points and line) and Liulin and TEPC instruments flown on stratospheric balloons from Fort Sumner, New Mexico in 2005 and 2015.

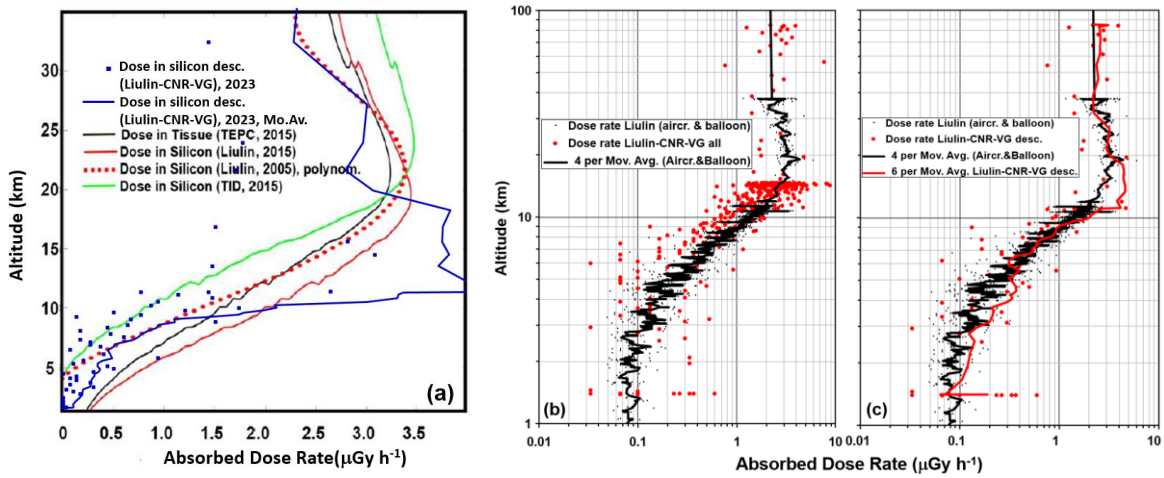


Fig. 3.a Fig. 3.b Fig. 3.c

Fig. 3.a Comparison between absorbed dose rate profiles obtained by Liulin-CNR-VG instrument (blue points and line) and Liulin and TEPC instruments flown on stratospheric balloons in 2005 and 2015;
3.b Comparison between all absorbed dose rate data obtained by Liulin-CNR-VG and Liulin-4C MDU-5 on commercial aircraft flights at altitudes between 1 and 11.9 km and by MDU1 of Liulin-4U instrument on stratospheric balloon between 11.9 and 37 km (small black points)
3.c. The same aircraft and balloon Liulin data as on 3.b. The Liulin-CNR-VG descending part of the trajectory is shown with red points and the moving average curve over six points is presented as red line.

The first balloon flight, with three movable dosimetry units (MDUs), was on 8 June 2005 during the certification flight of the NASA Deep Space Test Bed (DSTB) balloon at Ft. Sumner 104.24°W, 34.47°N, New Mexico, USA [7]. The dotted red line on Fig. 3.a presents the altitude profile between 0 and 37 km altitude obtained from the un-shielded MDU. The maximal dose rate measured in the Pfotzer maximum was 3.5-μGy h^{-1}.

The coordinates of the VG Spaceport America are 106.95W 32.98°N. SpaceShipTwo take off and land after almost a vertical flight up to 85.1 km. The difference in the coordinates between the Spaceport America and Ft. Sumner is neglectful for the space radiation profile, as it is only 2-3 degrees. That is why we may consider that the data, obtained during this balloon flight, are relevant to be compared with the VG flight in 2023.

The second balloon flight was the NASA high-altitude RaD-X mission [8]. It was fulfilled again from Ft. Sumner on 25 of September 2015. Four radiation dosimeters were on the board of RaD-X: a Far West HAWK tissue equivalent proportional counter (TEPC version 3) (https://www.fwt.com/detector/fw-ad1ds.htm), a Teledyne dosimeter (UDOS001), a Liulin dosimeter (MDU 6SA1) and a RaySure dosimeter (version 3b). Fig. 3.a here is an extended version of Fig 10 from [8] as VG flight is included. Three altitude profiles from the flight in 2015 are depicted. The Liulin-6SA1 profile observed with 60 sec resolution is with a red line. It is seen that the Liulin-6SA1 profile is very similar to TEPC (black line) and TID (green line) profiles. The latter once again confirms the Liulin instruments quality of measurements. The three profiles from the TEPC, TID and Liulin-6SA1 seen in Fig. 3.a do have almost linear rise in the range from ground up to 15-16 km altitude. The polynomial presentation (4th order) (Fig. 3.a, red dashed line) is used to illustrate Liulin doses obtained during the flight in 2005. As expected, the Liulin profiles in 2005 and 2015 are very similar.

The dose rate profile got during the descending part of the flight of Virgin Galactic SpaceShip Two on 29 June 2023 is presented with blue points and blue line for the Moving average curve. It is

seen that the relatively small amount of blue points in general followed the previous measurements. The moving average over 15 points blue curve in the upper and lower part of Fig 3.a also in general followed the other curves. The strong discrepancy in the altitudinal range between 10 and 20 km altitude we attribute to the small statistics in the Liulin-CNR-VG spectra, obtained with 10 s resolution.

Fig. 3.b presents the result of the comparison between all absorbed dose rate data obtained by Liulin-CNR-VG and Liulin-4C MDU-5 on commercial aircraft flights with 10 minutes resolution at altitudes between 1 and 11.9 km and by MDU1 of Liulin-4U instrument [7] on stratospheric balloon between 11.9 and 37 km with 1 minute resolution (small black points and Moving average over 4 points black curves). All Liulin-CNR-VG data are shown with red points. In general, the Liulin-CNR-VG absorbed dose rate data followed the aircraft and balloon data. The reason for the large dispersion of Liulin-CNR-VG data as already mentioned is the 10 sec resolution of these data.

Fig. 3.c contains the same aircraft and balloon Liulin data as Fig. 3.b. The Liulin-CNR-VG descending part of the trajectory is shown with red points and moving average curve over six points. It is seen that the Liulin-CNR-VG deposited dose rate moving average red curve relatively well coincides with the aircraft and balloon moving average over 4 points black curve in the upper and lower part of the figure. In the altitudinal range from 10 to 20 km there exist broad maximum from which it is hard to decide where exactly the Pfotzer maximum is.

Conclusions

The equivalent dose during the flight of Virgin Galactic SpaceShip Two is calculated from the Liulin-CNR-VG data to be about 5.18 μSv for 2.37 hours (2.19 μSv h^{-1}) because the mean quality factor for a subsonic flight is about 1.8 (2.88*1.8=5.18 μSv) [9]. A passenger, flying from London to New York at a height of 11 km, received for ~7 hours a dose of 32 μSv (4.6 μSv h-1) (https://radioactivity.eu.com/in_daily_life/radioactivity_in_flight). This is slightly over of 25 μSv, which is the equivalent of a panoramic dental X-ray scan https://www.radiologyinfo.org/en/info/safety-xray. On the other hand, the calculated accumulated equivalent dose of 5.18 μSv is 6.18 times less from the dose resulting from a London - New York flight. The measured values for the hourly dose rate of 2.19 μSv h-1 and accumulated dose of 5.18 μSv reveal that there is no space radiation risk for the pilots and astronauts flying at the VG SpaceShipTwo up to 85.1 km altitude on 29 June 2023.

Acknowledgements

The authors thank to all Bulgarian and foreign specialists and organizations that participated in the development of the Liulin instruments.

References:

1. Dachev, T. P., Semkova, J. V., Tomov, B. T., Matviichuk, YuN., Dimitrov, P. G., Koleva, R. T., St Malchev, Bankov, N. G., Shurshakov, V. A., Benghin, V. V., Yarmanova, E. N., Ivanova, O. A., Haeder, D.-P., Lebert, M., Schuster, M. T., Reitz, G., Horneck, G., Uchihori, Y., Kitamura, H., Ploc, O., Kubancak, J., Nikolaev, I., 2015. Overview of the Liulin type instruments for space radiation measurement and their scientific results. Life Sci. Space Res. 4, 92–114. https://doi.org/10.1016/j.lssr.2015.01.005.
2. Dachev, T. P., Tomov, B. T., Matviichuk, YuN., Dimitrov, Pl G., Bankov, N. G., Horneck, G., Haeder, D.-P., 2017b. Overview of the ISS radiation environment observed during EXPOSE-R2 mission in 2014-2016. Space Weather. https://doi.org/10.1002/2016SW001580
3. Ghiassi-nejad, M., Mortazavi, S.M.J., Cameron, J.R., Niroomand-rad, A., Karam, P.A., 2002. Very High Background Radiation Areas of Ramsar. 82. Preliminary Biological Studies. Health Physics, Iran, pp. 87–93.
4. Dachev, T. P., 2013. Profile of the ionizing radiation exposure between the Earth surface and free space, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 102, 148–156. http://dx.doi.org/10.1016/ j.jastp.2013.05.015.
5. Regener, E., Pfotzer, G., 1935. Vertical intensity of cosmic rays by threefold coincidences in the stratosphere. Nature 136, 718–719, http://dx.doi.org/10.1038/136718a0.
6. Dachev T., Dimitrov P., Tomov B., Matviichuk Y., Semkova J., Koleva R., Jordanova M., Bankov N., Mitev M., Carlucci P., Cairo F., Kostadinov I., Paciucci L., Prediction and Measurement of the Space Radiation Altitudinal Profile during the Flight of the Virgin Galactic SpaceShipTwo, Proceedings of the Thirteenth Workshop "Solar Influences on the Magnetosphere Ionosphere and Atmosphere", ISSN 2367-7570, 177–182, September, 2021. DOI:10.31401/WS.2021.proc. (https://spaceclimate.bas.bg/ws-sozopol/pdf/Proceedings2021Final.pdf).
7. Benton, E., (2005). Deep Space ICCHIBAN: An International Comparison of Space Radiation Dosimeters aboard the NASA Deep Space Test Bed. 10thWorkshop for Radiation Monitoring on ISS, Chiba, Japan, 7-9 September 2005. Available online at: (https://wrmiss.org/workshops/tenth/pdf/08_benton.pdf).
8. Mertens, C. J., et al., (2016). Cosmic radiation dose measurements from the RaD-X flight campaign, Space Weather, 14, 874–898. https://doi.org/10.1002/2016SW001407.
9. Bottollier-Depois, J. F., Chau, Q., Bouisset, P., Kerlau, G., Plawinski, L. and Lebaron-Jacobs, L., 2000. Assessing exposure to cosmic radiation during long-haul flights. Radiation research, 153(5), pp. 526–532.

УЧАСТИЕ НА ИНСТИТУТА ЗА КОСМИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИ БЪЛГАРСКАТА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ В НАЦИОНАЛНА НАУЧНА ПРОГРАМА „СИГУРНОСТ И ОТБРАНА“

Петър Гецов, Николай Загорски, Гаро Мардиросян

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

Ключови думи: *сигурност, мобилна авиационна система, критична инфраструктура*

Резюме: *Настоящата статия представя участието на Института за космически изследвания и технологии при Българската академия на науките в дейностите по т.1.1.6 от Национална научна програма „Сигурност и отбрана“, финансирана от Министерството на образованието и науката на Република България, в изпълнение на Решение на Министерския съвет на Република България № 731 от 21.10.2021 г. Описани са целите и задачите на работната задача, специализацията на участниците, организацията на работата, постигнатите в Първия етап резултати и създадените научни публикации и патентно защитени иновации. Представена е и визия за продължаване на работата в следващия етап на Програмата.*

PARTICIPATION OF THE INSTITUTE FOR SPACE RESEARCH AND TECHNOLOGIES AT THE BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES IN THE NATIONAL SCIENCE PROGRAM "SECURITY AND DEFENSE"

Petar Getsov, Nikolay Zagorski, Garo Mardirossian

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

Keywords*: security, mobile aviation system, critical infrastructure*

Abstract: *This article presents the participation of the Institute for Space Research and Technologies at the Bulgarian Academy of Sciences in the activities under item 1.1.6 of the National Science Program "Security and Defense", financed by the Ministry of Education and Science of the Republic of Bulgaria, in implementation of the Decision of The Council of Ministers of the Republic of Bulgaria No. 731 of 21.10.2021 describes the goals and tasks of the work task, the specialization of the participants, the organization of the work, the results achieved in the First Stage and the scientific publications and patent-protected innovations created. A vision for continuing the work in the next stage of the Program is also presented.*

Въведение

Националната научна програма „Сигурност и отбрана“ е създадена в изпълнение на Националната стратегия за развитие на научните изследвания 2017-2030 с цел повишаване на националния научен капацитет в областта на сигурността и отбраната [1]. Чрез нея ще бъдат консолидирани усилията на научните организации, висшите училища и иновативните бизнес организации в страната за:

- Разширяване на участието на българската научна общност в сферата на сигурността и отбраната в европейското изследователско пространство и разширяване на международното научно сътрудничество и участието в: Рамковата програма за научни изследвания и иновации „Хоризонт Европа“; Програмата на ЕС за научноизследователска и развойна дейност в областта на отбраната, приета от ЕП през декември 2020 г.; Програмата за научни изследвания на НАТО „Наука за мир и сигурност“; Ускорител за иновации в отбранителния сектор (Defence Innovation

Accelerator for the North Atlantic - DIANA); Фонд на НАТО за иновации (NATO Innovation Fund); Постоянното структурирано сътрудничество (Permanent Structured Cooperation- PESCO); Инициатива на НАТО за готовност, иновационни технологии и технологии с потенциален разрушителен ефект (Emerging and Disruptive Technologies - EDT);

- Осъществяване на по-активни връзки на науката с образованието, с бизнеса, с индустрията, с държавните органи и с обществото в сферата на сигурността и отбраната;
- Преодоляване на фрагментацията в българската наука чрез насърчаване на интеграцията и взаимодействието между различните държавни висши училища и научноизследователски организации, за да се изгради критична маса и да се избегнат припокриване и дублиране на ресурсите в сферата на сигурността и отбраната, както и да се получи синергичен ефект в използването на националния научен потенциал;
- Създаване на съвременни, устойчиви модели в сигурността и отбраната и мултиплициране на резултатите;
- Постигане на реални научни резултати, даващи конкурентно предимство на Република България в специфични сегменти на сигурността, киберсигурността и отбраната на Република България, ЕС и НАТО.

Цели и задачи на Национална научна програма „Сигурност и отбрана“

Обща цел на Програмата е да бъдат създадени условия за осигуряване на сигурна и благоприятна среда за развитие на обществото и държавата, чрез провеждане на координирани и целеви фундаментални и приложни научни изследвания в областта на сигурността и отбраната и създаване на устойчиво партньорство между включените научни и образователните организации в програмата, за съвместно участие в национални и европейски международни изследователски мрежи, програми и проекти.

Националната научна програма „Сигурност и отбрана“ има редица конкретни специфични цели:

Фундаментални изследвания, които включват следните дейности:

- Проучване, разработване и/или предлагане за внедряване в практиката на концептуални иновативни модели, в сигурността и отбраната на държавата, в това число чрез киберсигурност и киберотбрана, чрез целенасочени научни изследвания;
- Проектиране, развитие и предложения за прилагане на иновативни системи за управление, наблюдение и реакции в системата за национална и колективна сигурност, в това число и оперативен център за киберсигурност и киберотбрана;
- Задълбочено разбиране и подробно описание на цифрови модели на интелигентни технологии и системи за подпомагане на вземане на решения, при бедствия, аварии и кризи;
- Включване, при възможност, към зададените от Европейският фонд за отбрана тематични научноизследователски проекти за приоритетно финансиране в сферата на сигурността и отбраната, както и в проекти на НАТО за развитие на отбранителните способности.

Съпътстващи приложни изследвания, които включват следните дейности:

- Изследване и развитие на иновативни системи за управление на антитерористичната дейност, както и апробирането им в реални условия;
- Разработване на иновативни технологии и процеси за използване на облачни архитектури и системи за съвместна работа с приложение в отбраната и сигурността;
- Изследване, разработване и усъвършенстване на иновативни сензорни мрежи, технологии и системи, както и апробирането им с бизнес партньори;
- Изследване и приложение на пасивни софтуерно дефинирани и мултисензорни радарни системи;
- Изследване, проектиране и развитие на съвременни техники и технологии за пробиви и защита на информацията в партньорство с бизнеса;
- Изследване, разработване и усъвършенстване на автономни системи, свързани със сигурността на обществото и държавата;
- Изследване, разработване и усъвършенстване на средства за индивидуална и колективна защита в партньорство с бизнеса;
- Изследване, разработване и усъвършенстване на средства и технологии за защита на населението от ядрени, химически и биологически оръжия;
- Анализ, изследване и развитие на отбранителните способности, стратегическо разузнаване и приложение на нови технологии в отбраната, като изкуствен интелект, автономни системи и др.

Разпространение на резултатите от научно-изследователската дейност:

- Разработване и изпълнение на информационна и комуникационна стратегия за разпространение на резултатите от програмата, включително чрез специално създаден сайт;
- Резултатите ще са общодостъпни и ще се разпространяват чрез научните мрежи и партньорства на държавните висши училища и научните организации, включително под формата на научни публикации или участие на български и международни научни форуми, както и чрез създадените патенти за изобретения и полезни модели;
- Организиране на срещи с потенциални обществени потребители на резултатите от научните изследвания по програмата като индустрията, малките и средни предприятия от секторите на сигурността, киберсигурността, киберотбраната и отбраната на страната;
- Организиране на семинари за обучение на студенти, докторанти и млади учени от партниращите и от други организации за повишаване на познанията им, свързани с фундаменталните и приложни изследвания и прилагане на получените резултати в процеса на обучение в областта на сигурността и отбраната.

Цели и задачи на Работна задача 1.1.6 от Национална научна програма „Сигурност и отбрана“

Целта на дейностите по Работна задача № 1.1.6 от ННП „Сигурност и отбрана“ е да бъде извършен анализ на риска и на заплахите, да се проектират и разработят концептуални пораждащи модели и софтуер за повишаване на ефективността на управление на силите и средствата за въздействие върху критичната инфраструктура при природни бедствия, аварии и кризи на територията на Република България [1].

Целта на тази задача е да се предложат нови съвременни иновационни решения за интелигентна система за мониторинг и защитата на критичната инфраструктура на базата на мобилна комуникационна-информационна система с елементи на изкуствен интелект за събиране, агрегиране, обработка и презентиране в реално време на потоци от информационни обекти в Интернет среда.

За постигане на тази цел са планирани следните дейности:

- разработване на топология и структура на информационната система, избор на решенията за формиране на информационни обекти на база на географски данни от сензори и избор на технологии за мониторинг и презентиране в реално време;

- извършване на синтез, моделиране и разработка на структура и топология за IP виртуална частна мрежа със защита на данните и транспорт през мобилни мрежи за предаване на данни (4G/5G), базирана на мобилни носители (транспортни средства, дронове, БЛА);

- разработване на концепция за структуриране и оптимизация на изчислителните ресурси за елементите на изкуствен интелект в комуникационната среда на мобилни мрежи от ново поколение за осигуряване на управлението на системата и транспорта и агрегирането на потоци от сензорни данни с висока скорост и в реално време;

- обосноваване и разработване на структура на наземен мобилен пункт с работни места на операторите, осигуряващи управление на мобилните носители (безпилотните транспортни средства) за мониторинг на критична инфраструктура и на операторите за работа с постъпващата информация;

- разработване на концепция за използване на ресурсите на изкуствен интелект с оператор във веригата на управление и на работни места, осигуряващи работата на системата при ситуационна неопределеност или динамика на събитията при задачите, свързани с управление на мониторинга на критична инфраструктура;

- синтезиране на структура за обработка на данни, свързани с интелигентен мониторинг на критична инфраструктура, форматиране и презентиране на информационните обекти в Интернет-среда;

- извършване на анализ на риска за критичната инфраструктура в резултат на бедствия, аварии и кризи. Синтезиране на мерки за повишаване на ефективността в управлението на силите и средствата за овладяване на природни бедствия, аварии и икономически кризи;

- разработване на методика за управление на риска на обектите от критичната инфраструктура на Република България.

Стратегическите обекти и дейности, които са от значение за националната сигурност и които са част от критичната инфраструктура на Република България са определени в Постановление на Министерския съвет № 181 от 20 юли 2009 г. В отделни документи са определени стратегическите обекти и дейности, които са предоставени, съответно възложени, за осъществяване на Министерството на отбраната, на Министерството на вътрешните работи и

на Държавна агенция „Разузнаване“, се определят със заповед на ръководителя на съответното ведомство след съгласуване с председателя на Държавна агенция „Национална сигурност“ [2].

Участници в изпълнение на дейностите по Работна задача 1.1.6 от ННП „Сигурност и отбрана“

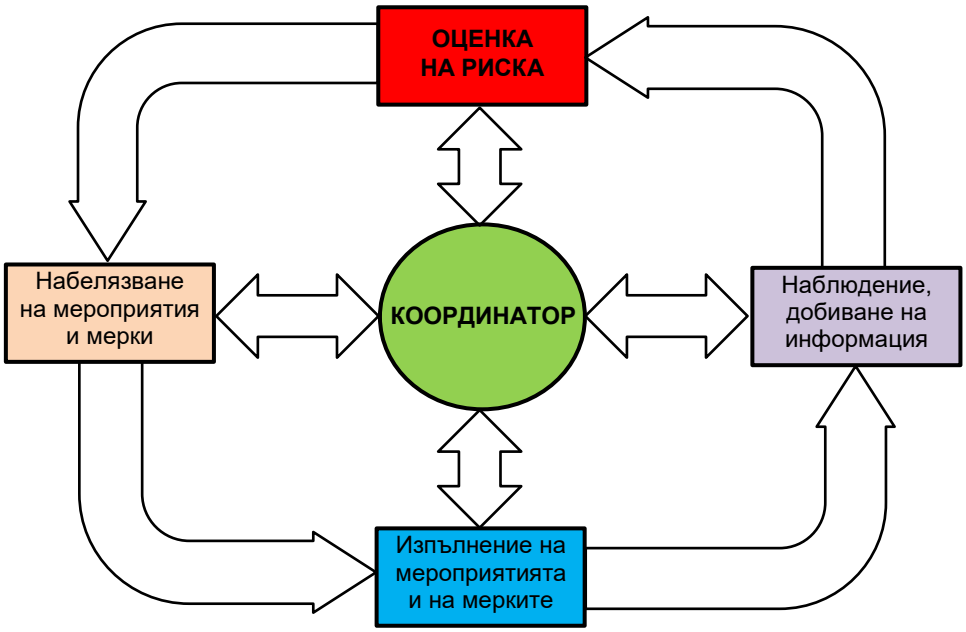
Ръководител на дейностите по РЗ 1.1.6 от ННП „Сигурност и отбрана“ е Центърът за изследвания по национална сигурност и отбрана (ЦИНСО) – БАН, а участници са Военна академия „Г. С. Раковски“ (ВА), Институт по отбрана „Проф. Цв. Лазаров“ – МО (ИО), Университет за национално и световно стопанство – София (УНСС), Университет по библиотекарство и информационни технологии – София (УниБИТ), Академия на Министерство на вътрешните работи – (АкМВР), Висше военноморско училище „Никола Йонков Вапцаров“ – Варна (ВВМУ), Висше военновъздушно училище „Георги Бенковски“ Долна Митрополия (ВВВУ).

Екипът по Работна задача 1.1.6 е отдаден във Възлагателна заповед № 140 от 24.11.2022 г., допълнена със Заповед № 32 от 29.03.2023 г. Ръководител на екипа е член-кор. проф. дтн инж. Петър Гецов, а координатор по изпълнение на задачата е доц. д-р инж. Николай Загорски. Членове на екипа са следните служители на ИКИТ–БАН: проф. дтн инж. Гаро Мардиросян, проф. дтн инж. Георги Сотиров, проф. дтн инж. Димо Зафиров, проф. дн инж. Димитър Недялков, проф. д-р Зоя Хубенова-Чифлиджанова, проф. д-р Павел Пенев, доц. д-р инж. Павлин Граматиков, инж. Евгений Хубенов, инж. Момчил Георгиев и инж. Румен Димитров.

Към колектива са включени проф. д-р инж. Бойко Рангелов от МГУ „Св. Иван Рилски“ – София, полк. доц. д-р инж. Живо Петров и полк. доц. д-р инж. Зарко Здравков от ИПИО – ВА „Г. Раковски“ – София, кап. I-ви ранг доц. д-р инж. Тодор Димитров от ВА „Г. Раковски“ – София, кап. I-ви ранг доц. д-р инж. Недко Димитров от ВВМУ „Н. Вапцаров“ – Варна, доц. д-р инж. Надя Маринова от НБУ – София, проф. д-р Валери Иванов и проф. д-р Росен Илиев от ИО – МО, доц. д-р Валентин Чочев от АкМВР – София, подп. гл. ас. д-р Иван Иванов от ВВВУ „Г. Бенковски“ – Долна Митрополия, гл. ас. д-р Теодора Гечкова от УНСС – София и д-р Георги Георгиев.

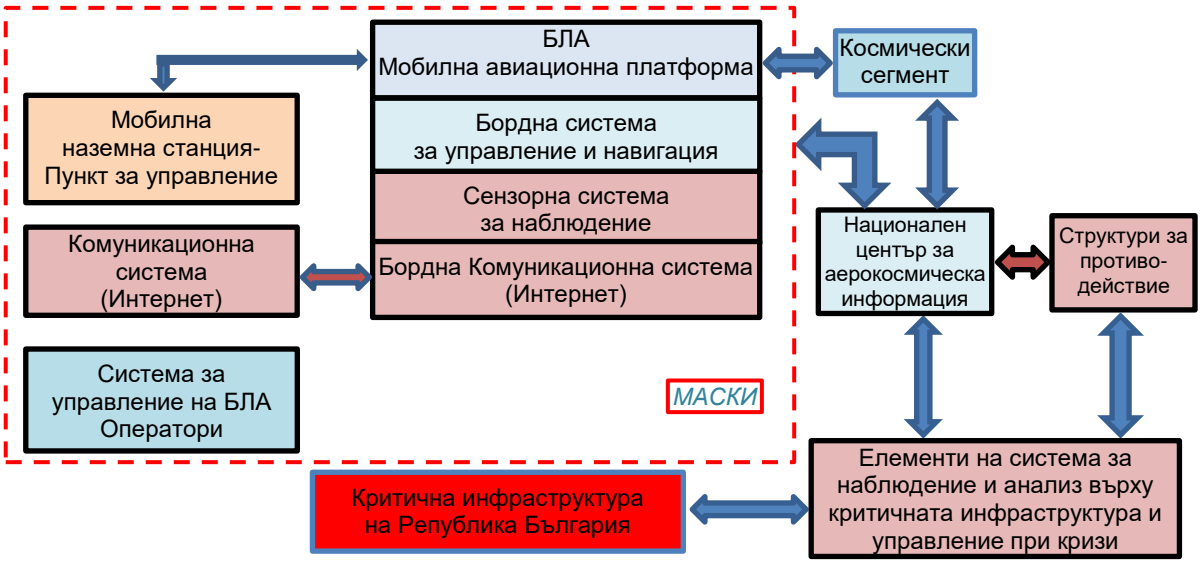
Оценка на риска - решаващ елемент при управлението на риска за критичната инфраструктура.

Процесът на управление на риска за критичната инфраструктура в резултат на бедствия, аварии и кризи е цикличен (Наблюдение – Оценка – Решение – Действие), но едва след изпълнение на инициращия цикъл ще може да се изпълнят дейностите по планиране на защита на критичната инфраструктура, формиране на защитата и оценка на нейната ефективност [3, 4]. Схемата с цикъла за управление на риска е представена на Фиг. 1.



Фиг. 1. Цикъл на управление на риска

В хода на научната разработка по задача 1.1.6 е изследвана възможността за разработване на Функционален модел на мобилна авиационна система за мониторинг на критичната инфраструктура (МАСКИ) от въздействие на природни бедствия и техногенни аварии [5]. Общата структура на такава система е показана на Фиг. 2.



Фиг. 2. Функционален модел на мобилна авиационна система за мониторинг на критичната инфраструктура

Постигнати резултати през първата година от изпълнение на дейностите по Работна задача 1.1.6

Екипът за научната разработка по задача 1.1.6 от работния план за изпълнение на Национална научна програма „Сигурност и отбрана“ взе участие в първото изложение „Интер Дрон Експо“, което даде възможност на професионалната и широката публика да се запознае с възможностите на Dron & Anti Dron и безпилотни системи за различни приложения. Екипът участва със специален щанд, на който бяха изложени самолет със съчленено крило, безпилотен коптер с продължително време на полета и трикоптер с борден компютър с управление и предаване на данни по 5G мрежа.

В процеса на работа на екипа по Работна задача 1.1.6 бяха разработени и подадени в Патентното ведомство на Република България 6 заявки за полезни модели и 5 заявки за патенти [6–11]. От тях 3 вече са признати.

За периода от стартирането на програмата по Задача 1.1.6. са публикувани тринадесет научни статии и доклади [12–25].

Предстоящи дейности

През следващия етап основните насоки за работа са следните:

1. Синтезиране на основните стратегически обекти и дейности за функциониране на критичната инфраструктура. Определяне на възможните признаци за възникване на поне едно природно бедствие и една техногенна авария, въздействащи върху критичната инфраструктура и изследване на тяхното идентифициране чрез мониторинг от БЛА.

2. Синтезиране на определения в първия етап функционален модел на мобилна авиационна система за мониторинг на критичната инфраструктура от избраните въздействия на природни бедствия и техногенни аварии и детайлизиране на предложената в първия етап на Задачата концепция за нейната реализация.

3. Структуриране на основните раздели на методиката за управление на риска на обекти от критичната инфраструктура на Република България.

4. Синтез на топология и структура на информационната система, избор на решенията за формиране на информационни обекти на база на географски данни от сензори и избор на технологии за мониторинг и презентиране в реално време. Моделиране и разработка на структура и топология за IP виртуална частна мрежа със защита на данните и транспорт през мобилни мрежи за предаване на данни (4G/5G), базирана на мобилни носители (транспортни средства, дронове, БЛА).

5. Изследване на концепцията за структуриране и оптимизация на изчислителните ресурси за елементите на изкуствен интелект в комуникационната среда на мобилните мрежи за осигуряване на управлението на системата и транспорта и агрегирането на потоци от сензорни данни с висока скорост и в реално време.

6. Теоретично изследване на работоспособността и ефективността на синтезирания функционален модел на предложената мобилна авиационна система за мониторинг на критичната инфраструктура от избраните въздействия на природни бедствия и техногенни аварии и детайлизиране на предложената в първия етап на Задачата концепция за нейната структура.

Очаквани резултати през втората година

Очакваните резултати от работата през втората година от изпълнение на дейностите по Работна задача 1.1.6 са следните:

- подготовка и подаване на заявки за патенти и полезни модели в Патентно ведомство на Република България;
- изготвяне и представяне на 4 научни публикации в издания, реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация;
- изготвяне и представяне на четири научни публикации в издания, включени в Националния референтен списък на съвременни български научни издания с научно рецензиране;
- изготвяне на една научна публикация- монография, статия, студия или др.;
- изготвяне и представяне на седем стратегически анализа и синтезирани научни заключения и съобщения по проблемите на сигурността и отбраната;
- осъществяване на осем участия в международни и национални научни форуми и прояви (конференции, симпозиуми, семинари и др.;
- успешно защитаване на една докторска теза;
- подобряване на две магистърски и образователни програми;
- осъществяване на четири участия в рамкови програми и консорциуми;
- осъществяване на три участия в международни научноизследователски екипи;
- организиране на две тематични събития (семинари, конференции и др.);
- привличане за участие в програмата до пет бизнес-партньори;
- разработване и апробиране в практиката на три прототипа;
- разработване на четири модела, свързани със сигурността и отбраната.

Благодарности: Настоящият доклад е изготвен в рамките на проект по т.1.1.6 от Национална научна програма „Сигурност и отбрана” (приета с РМС № 731 от 21.10.2021 г.) и съгласно Споразумение № Д01-74/19.05.2022 г. между МОН и Институт по отбрана „Професор Цветан Лазаров“.

Литература:

1. Национална научна програма „Сигурност и отбрана“, https://web.mon.bg/upload/27319/PR_NNP_Otbrana-Sigurnost_06082021.pdf
2. Постановление № 181 от 20 юли 2009 г. за определяне на стратегическите обекти и дейности, които са от значение за националната сигурност, Обн. ДВ. бр.59 от 28 юли 2009 г., посл. изм. и доп. ДВ. бр. 97 от 6 декември 2022 г.
3. Димитров, Н. Системен подход към критичната инфраструктура, Монография, ВВМУ "Н. Й. Вапцаров", Варна, 2019, ISBN 978-619-7428-40-7; ISBN 978-619-7428-41-4 (pdf), 132 с.
4. Гецов, П. Национална аерокосмическа система за мониторинг и защита о природните екокатастрофи. Академично издателство „Проф. Марин Дринов“. София. 2014. 231 с.
5. Гецов, П., Б. Рангелов, Г. Мардиросян, Г. Сотиров, Д. Недялков, Д. Зафиров, З. Хубенова, П. Пенев, П. Граматиков, Евг. Хубенов, Н. Загорски. Анализ на риска и заплахите върху критичната инфраструктура при природни бедствия, аварии и кризи на територията на Република България, Eighteen International Scientific Conference SPACE, ECOLOGY, SAFETY SES 2022, 19–21 October 2022, Sofia, Bulgaria, Proceedings, ISSN p-ISSN 2603–3313; e-ISSN 2603–3321, pp. 251–260.
6. Мардиросян, Г., Б. Рангелов, П. Гецов, Св. Забунов, Г. Желев. Кинематична система за ранно предупреждение за земетресение към обекти на критична инфраструктура. Заявка за регистрация на Полезен модел № 5663/ 09.02.2023 г. Патентно ведомство на Република България.
7. Мардиросян, Г., Б. Рангелов, П. Гецов, Св. Забунов, Г. Желев. Система за ранно предупреждение по поречието под язовирна стена. Заявка за регистрация на Полезен модел № 5672/17.02.2023 г. Патентно ведомство на Република България.
8. Забунов, Св., Г. Мардиросян, Г. Желев. Мултикоптер с вграден геофизичен прибор за откриване на сухопътни мини чрез честотно изместване. Заявка за регистрация на Полезен модел № 5683/17.02.2023 г. Патентно ведомство на Република България.

9. Мардиросян, Г., Св. Забунов, Г. Желев. Мултикоптер с вграден георадар. Заявка за регистрация на Полезен модел № 5686/06.03.2023 г. Патентно ведомство на Република България.
10. Мардиросян, Г., Св. Забунов, Г. Желев. Мултикоптер с вграден импулсен електромагнитен геофизичен прибор. Заявка за издаване на патент № 113668/02.03.2023 г. Патентно ведомство на Република България.
11. Граматиков, П., Р. Тодоров, Г. Мардиросян, П. Гецов. Развойна система за безаварийни полети и обучение на пилоти. Заявка за регистрация на Полезен модел № 4335/20.10.2022 г. Патентно ведомство на Република България.
12. Гецов, П. Моделиране и изследване разпределение на вниманието на оператора при управление на надлъжното движение на безпилотен летателен апарат, Eighteen International Scientific Conference SPACE, ECOLOGY, SAFETY SES 2022, Proceedings, pp. 89–93.
13. Йорданов, Д., П. Гецов, Проблеми с устойчивост и управляемост на самолета при въздушен старт на наноспътници Eighteen International Scientific Conference SPACE, ECOLOGY, SAFETY SES 2022, Proceedings, pp. 94–99.
14. Сотиров, Г., Евг. Хубенов, З. Чифлиджанова. Агрегиране на услуги, базирани на изкуствен интелект, в интегрирани мобилни системи за мониторинг в интернет среда, Eighteen International Scientific Conference SPACE, ECOLOGY, SAFETY SES 2022, Proceedings, pp. 127–133.
15. Граматиков, П., Р. Тодоров Проектиране и параметри на работещ при екстремални условия електрически квадрокоптер, Eighteen International Scientific Conference SPACE, ECOLOGY, SAFETY SES 2022, Proceedings, pp. 108–114.
16. Граматиков, П., Р. Тодоров, Летателни и електрически параметри на x8 октокоптер с излитане и кацане от водни басейни, Eighteen International Scientific Conference SPACE, ECOLOGY, SAFETY SES 2022, Proceedings, pp. 115–120.
17. Рангелов, Б., Г. Мардиросян, П. Гецов, Св. Забунов, Концепция и реализация за кинематична система за ранно предупреждение за земетресение към обекти от критичната инфраструктура, списание на БАН „Научен дял“, 2023, бр. № 2, ISSN 0007-3989, с. 3–7.
18. Ranguelov, B., G. Mardirossian, P. Getsov, Sv. Zabunov, J. Krumova, Ed. Spassov. Algorithm for a kinematic early warning system of earthquakes for critical infrastructure, Days of Physics'2023, TU Sofia, 6-8 april 2023, Proceedings (In print), ISSN 1313-9576, pp. 80–89.
19. Граматиков, П. Дж. Тахов. Моторно-витлови групи и акумулаторни батерии за хексакоптер, Годишна университетска научна конференция на НВУ „Васил Левски“ 08–09 юни 2023 г., гр. Велико Търново, Сборник доклади, с. 139–149.
20. Мардиросян, Г., П. Гецов, Г. Желев, Б. Рангелов, Юл. Крумова. Концепция на система за ранно предупреждение за наводнение по поречието под язовирна стена. Сборник Доклади от Годишна университетска научна конференция 2023, 1, Издателски комплекс на НВУ "Васил Левски", 2023, ISSN 1314-1937, с. 85–94.
21. Ranguelov, B., G. Mardirossian Methodology for a kinematic model of seismic early warning system about critical infrastructure. Ecological Engineering and Environment Protection, 1, Национално дружество "Екологично инженерство и опазване на околната среда", 2023, ISSN 1311-8668, pp. 54–61.
22. Рангелов, Б., Г. Мардиросян, П. Гецов, С. Забунов. Концепция и реализация на кинематична система за ранно предупреждение за земетресение към обекти от критична инфраструктура. Списание на БАН, 2, Академично издателство "Проф. Марин Дринов", 2023, ISSN 0007-3989 (print); 2683-0302 (on line), с. 3–7.
23. Рангелов, Б., Г. Мардиросян, П. Гецов, Г. Желев, Юл. Крумова. Модел на система за ранно предупреждение за земетресение - обект от критична инфраструктура, АЕЦ „Козлодуй“, Сборник доклади. НВУ „В. Левски“ – Велико Търново, Сборник доклади.
24. Ranguelov, B., G. Mardirossian, P. Getsov, Sv. Zabunov, J. Krumova, E. Spassov. 2023. Algorithm for a kinematic early system of earthquakes for critical infrastructure. Proc. "Days of Physics", TU, Sofia 6-8 April, 2023. pp. 80–89.
25. Zabunov, Sv., G. Mardirossian.Two innovations for critical infrastructure protection from natural disasters. Comptes rendus de l’Acad´emie bulgare des Sciences, Tome 76, No 10, 2023, pp.1554–1561.

Special Session

АФТЪРШОКОВА АКТИВНОСТ СЛЕД КАТАСТРОФАЛНОТО ЗЕМЕТРЕСЕНИЕ (M_W7.8) ОТ 6 ФЕВРУАРИ 2023 Г

Димчо Солаков, Стела Симеонова, Пламена Райкова, Мила Атанасова

Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на Науките
e-mail: dimos@geophys.bas.bg; ssimeonova@geophys.bas.bg; plamena.raikova@gmail.com; mila_at_zl@abv.bg

Ключови думи: *земетресения, афтършокова активност, югоизточна Турция, SAR данни*

Резюме: *Земетресението е уникално природно явление, определящо се от голям брой фактори, които не могат непосредствено да бъдат наблюдавани и трудно се контролират. В сеизмично активните райони на планетата, включително и територията на Турция, земетресенията и техните последствия са едни от най-катастрофалните природни явления. В началото на февруари 2023 г. югоизточна Турция и северна Сирия бяха засегнати от серия разрушителни земетресения, като главният трус е с магнитуд Mw=7.8. Основното земетресение е последвано от изявена афтършокова активност - в рамките на 10 минути е реализиран вторичен трус с Mw=6.7, а около 10 часа по-късно по същата разломната система на разстояние 100 km е генерирано най-силното афтършоково събитие с магнитуд Mw=7.5. Сеизмичният клъстер (главно земетресение-афтършокови събития) е реализиран по основни трансформни разломи и свързаните с тях системи, формиращи границите между арабската, африканската и анадолската тектонични плочи.*

В настоящото изследване, е представена информация за процесите по време и след главното земетресение (M_W7.8), резултати от пространственото разпределение на афтършоковата поредица, наблюдавани ускорения в засегнатата зона и обработени SAR данни от мисията Sentinel-1 на Европейската космическа агенция.

AFTERSHOCK ACTIVITY AFTER CATASTROPHIC EARTHQUAKE (M_W7.8) OF THE FEBRUARY 6TH 2023

Dimcho Solakov, Stela Simeonova, Plamena Raykova, Mila Atanasova

National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: dimos@geophys.bas.bg; ssimeonova@geophys.bas.bg; plamena.raikova@gmail.com; mila_at_zl@abv.bg

Keywords: *earthquakes, aftershocks, SE Turkey, SAR data*

Abstract: *An earthquake is a unique natural phenomenon, determined by a large number of factors that cannot be directly observed and are difficult to control. In the seismically active regions of the planet, including the territory of Turkey, earthquakes and their consequences are one of the most catastrophic natural phenomena. In early February 2023, southeastern Turkey and northern Syria were hit by a series of devastating earthquakes, the main one is with magnitude Mw=7.8. The main earthquake was followed by pronounced aftershock activity - within 10 minutes, an aftershock with Mw=6.7 was realized, and about 10 hours later, along the same fault system at a distance of 100 km, the strongest aftershock event with a magnitude of Mw=7.5 was generated. The seismic cluster (mainly earthquake-aftershock events) is realized along major transform faults and their associated systems forming the boundaries between the Arabian, African and Anatolian tectonic plates.*

In the present study, information on the processes during and after the main earthquake (M_W7.8), results of the spatial distribution of the aftershock series, observed accelerations in the affected area and processed SAR data from the Sentinel-1 mission of the European Space Agency are presented.

Въведение

Сред природните бедствия, земетресенията доминират по своето въздействие върху околната среда. По обстойното разглеждане на земетресенията показва, че афтършоците на главното събитие, въпреки че са смятани за малки събития, могат допълнително да нанесат

големи поражения. Афтършоковата активност е израз на вискозоеластична релаксация на напреженията в средата, натрупани като резултат от процесите на разрушение в огнищната зона на главното земетресение. Изследване на пространственото разпределение на събитията е от съществено значение за разбиране физиката на сеизмогенезиса.

Типичен пример за зона с висок сеизмичен риск е територията на Турция. Страната е разположена между три тектонични плочи и наблюдаваните земетресения са резултат на сблъсъка на Арабската и Африканската плоча с Евразия. Основно значение за пространственото разпределение на сеизмичността има взаимодействието между тези плочи. Анадолската плоча, върху която е разположена Турция, е оградена на юг от Африканската и Арабската плочи, а на север от Евразийската. Анадолската плоча включва Северноанадолската, Източноанадолската и Югоизточната анадолска разломни зони, които формират границите на плочата и маркират основните активни разломни сегменти за цялата Западна Анадола [1].

За Източноанадолската разломна зона има данни, че е формирана между късния миоцен и ранния плиоцен [2]. Продължаващата миграция на Арабската плоча на север към стабилна Евразия от миоцена насам е довела до изтласкване на Анадолската плоча на запад по протежение на Северната и Източната анадолска разломни зони [3]. За първи път тази структура е дефинирана през 1969 [4]. Източноанадолската разломна система, разширяваща се над 500 km, представлява южната граница на Анадолската плоча и е разлом, простиращ се между Карлиова на север, където се свързва с Северната анадолска разломна зона, и Антакия, където се среща с разлом идващ от Мъртво море ([5]; [6]). Наблюдаваното движение на плочата със скорости на приплъзване, вариращи от 6 до 10 mm/годишно, е довело до генериране на разрушителни земетресения в източна Турция, както е документирано от исторически записи.

Историческите и инструменталните записи показват големи различия между историческата и настоящата сеизмичност в зоната. През миналия век по структурата е регистрирано само едно силно земетресение - на 4 декември 1905 г.; M = 6.8 [7]. Най-силните известни земетресения в района са генерирани, съответно на 29 ноември 1114 г. (M > 7.8), 28 март 1513 г. (M > 7.4) и 2 март 1893 г. (M > 7.1) [8]. Разглеждайки сеизмичното затишие в цялата зона някои автори изказват предположение, че Източно анадолският разлом е заключен до момента на реализиране на разрушителните земетресения от 6 февруари 2023 г. [9].

Двете разрушителни земетресения, реализирани в Югоизточна Турция на 6 февруари 2023 г., локализирани по протежение на Източноанадолската разломна зона, са усетени на територията на Турция и съседните страни ([10], [11]). Главното събитие с M_W=7.8 е последвано от изявена афтършокова активност - в рамките на 10 минути е реализиран вторичен трус с Mw=6.7, а 10 часа по-късно по същата разломната система на разстояние 100 km е генерирано следващо силно земетресение с магнитуд Mw=7.5. Земетресенията причиняват обширни първични и вторични ефекти върху околната среда, включително повърхностни разкъсвания, пукнатини на земята, явления на втечняване и хидрологични аномалии, предизвиквайки големи въздействия върху мрежите и инфраструктурата [12].

В настоящата работа е анализирано пространственото разпределение на събитията от афтършоковата поредица 6 месеца след земетресението от 6 февруари 2023 г, с M_W7.8, генерирано в Турция. Създадените карти са комбинирани данни от няколко източника с цел получаване на информация за процесите по време и след главното земетресение.

Теория на метода

За получаване на по-добра количествена представа за разпределението на афтършоковите събития е приложен подход, подобен на метода “изгладена“ сеизмичност [13]. Всяко земетресение е разгледано като реализация на двумерна случайна величина със средно определените координати, стандартни отклонения по двете координати съответно σ_x и σ_y и корелация между координатите σ_{xy}. Тогава вероятността *E* дадено събитие да попадне в област *Q* се дава от релацията:

$$P(E \in Q) = \iint_Q f(x,y)dxdy \quad (1)$$

където *f(x,y)* е плътностната функция със съответните средни - дисперсия и корелация. В настоящото изследване е избрано двумерно нормално разпределение със стандартни отклонения σ_x=σ_y=10 km и σ_{xy}=0. Дефинира се функцията:

$$\Phi(x,y) = \sum_i P(E_i \in Q(x,y)) \quad (2)$$

където E_i е i-тото събитие, а $Q(x,y)$ е квадрат с център (x,y) и площ 400 km^2. Нормирана по време, тази функция дава брой събития за единица време на 400 km^2 и по същество представлява плътностна функция.

Друг метод приложен в изследването е метод DInSAR, чрез който са отразени промени на земната повърхност. При този метод чрез повторно преминаване на сателита се откриват и количествено се определят земните премествания настъпили между различни периоди от време. Данните са под формата на предварително обработени и калибрирани продукти и включват изображения със сложни стойности, включително амплитудни и фазови сигнали, които заедно с метаданните съставят изображение наречено диференциална интерферограма (растерно интерферометрично изображение), от което а след допълнителни изчисления е възможно да бъдат определени земните премествания по посока запад-изток и вертикална равнини, които са настъпили между регистрирането на данните със сантиметрова точност [14].

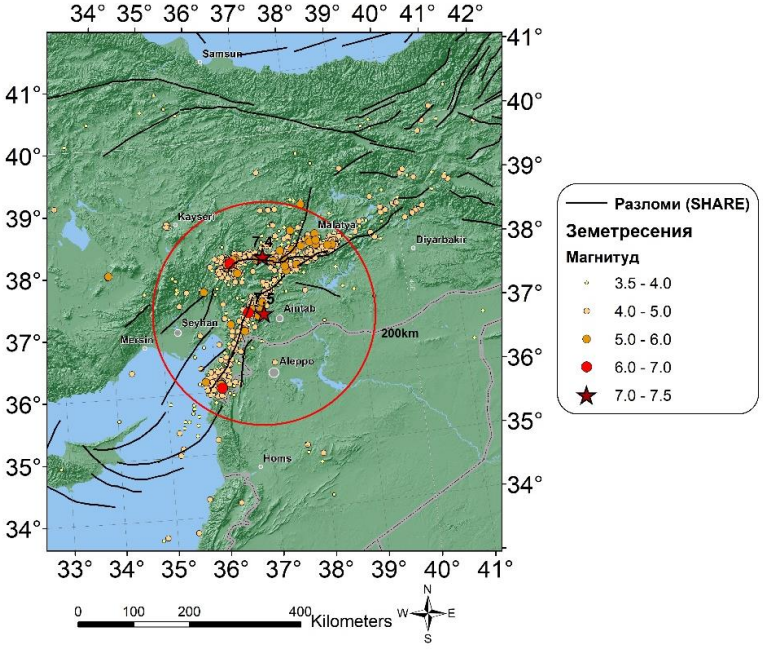
Данни

Данните за земетресенията, използвани в изследването са от B.U. KOERI-RETMC (Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute - Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center, налични в [11]). Съставена е извадка от 3386 вторични труса с магнитуд $M_L \geq 3{,}0$, за период от 176 дни. Използваните данни за активните разломи в разглеждания регион са дефинирани от европейския проект SHARE [15]).

Информацията за стойностите на деформацията се основава на SAR свободни данни от сателита Sentinel-1, поддържан от Европейската космическа агенция [16] и [17]. Периодът на повтаряемост от сателите при регистрирането на деформациите след земетресението на 6 февруари е 12 дни. Основният режим за регистриране на SAR данни е наблюдението на терена чрез прогресивно сканиране. В това изследване интерферограмата получена чрез обработка на DInSAR данните от орбита 21 обхваща периода от 29 януари 2023 г. - 10 февруари 2023 г.

Резултати

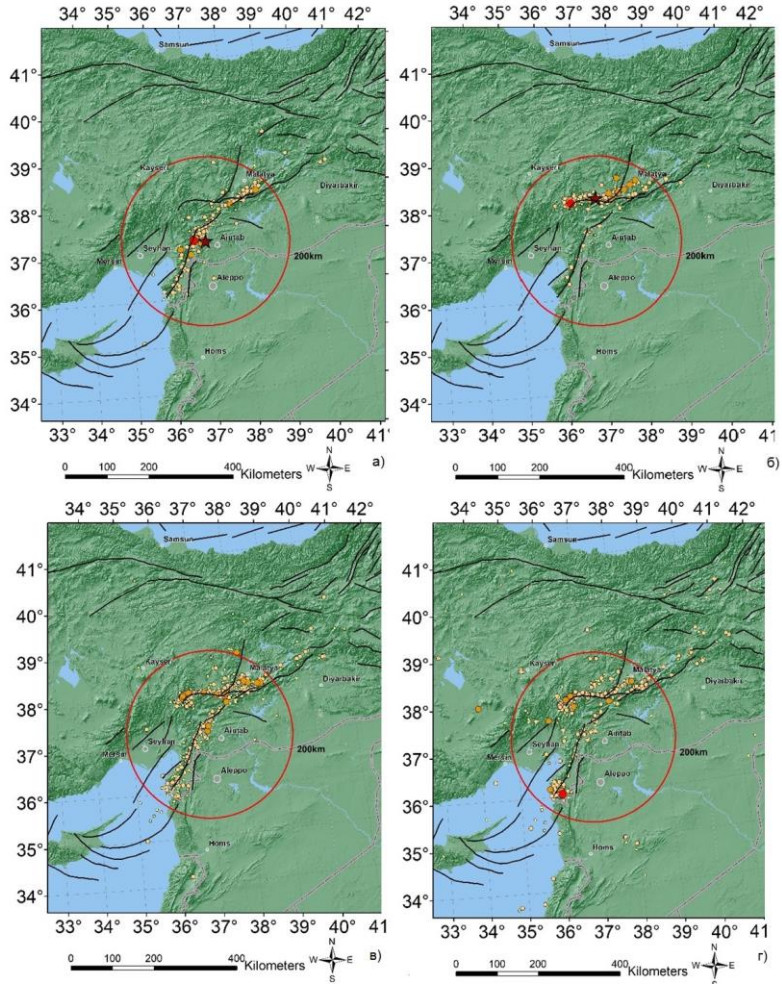
На Фиг. 1 е дадено пространственото разпределение на земетресенията по Източноанадолската разломна система от 6.02.2023 г. до 01.08.2023 г. На фигурата са дадени разломните структури с максимално очакван магнитуд над 7.1, дефинирани в Европейската база данни на активните разломи [14]. От фигурата се вижда, че събитията са разположени по разломи в две направления изток-запад и североизток-югозапад-запад. Размерът на афтършоковата област е с радиус около 200 km.



Фиг. 1. Епицентрална карта

Пространственото разпределение на афтършоковите събития на Фиг. 2 е в последователни не покриващи се интервали от време. Между двете най-силни земетресения

(времеви интервал от 9.12 часа, Фиг. 2а) афтършоците са разположени по разлом с направление североизток-югозапад. В следващите 9.12 часа (Фиг. 2б) в това направление почти липсват събития. Афтършоквите събития са разположени в направление изток-запад. И в следващите два интервала (Фиг. 2в и Фиг. 2г) преобладават събитията в същото направление.



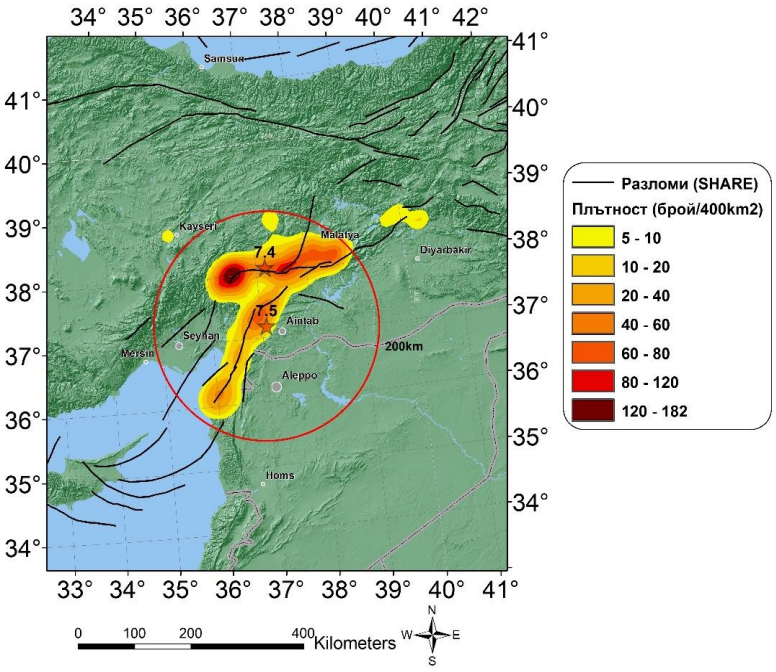
Фиг. 2. Разпределение на събитията във времето: а) между двете най силни земетресения (9.12 часа), б) 9.12 часа след второто по сила, в) между 18.42 часа и 10 дни след главното земетресение, г) след 10-ти ден до края (легендата е в съответствие с легендата на Фиг. 1)

На Фиг. 3 е представена плътността (брой/година за 400 km^2), получена на базата на мрежа 0.2°x0.2°. Голяма плътност на епицентрите има около краищата на разломите и около разломните възли. Функцията е с най-голяма стойност в западния край на разлома, генерирал най-силното афтършоково събитие. Там стойността на функцията е двойно по-голяма от тази в останалата част от разглежданата област и е 3–4 пъти по-висока от стойностите на функцията около епицентрите на двете най-силни земетресения.

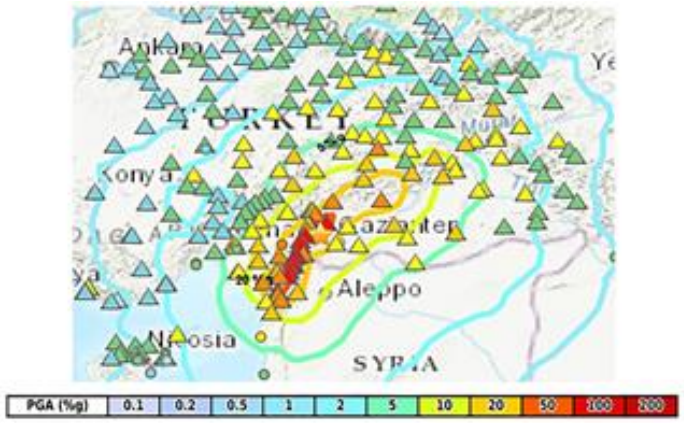
Фиг. 2 и 3 дават основание да се предположи, че вторичната афтършокова серия след земетресението с магнитуд 7.4 е по-интензивна от основната.

На Фиг. 4 е представено разпределението на наблюдаваните ускорения от главното събитие (Mw=7.8). Там където са регистрирани най-високите ускорения плътността на епицентрите (Фиг. 3) е сравнително ниска (около 8–10 пъти по ниска от максималната и 1.5–2 пъти по ниска от средната), което предполага, че в тази област са най-интензивните разрушения по разлома.

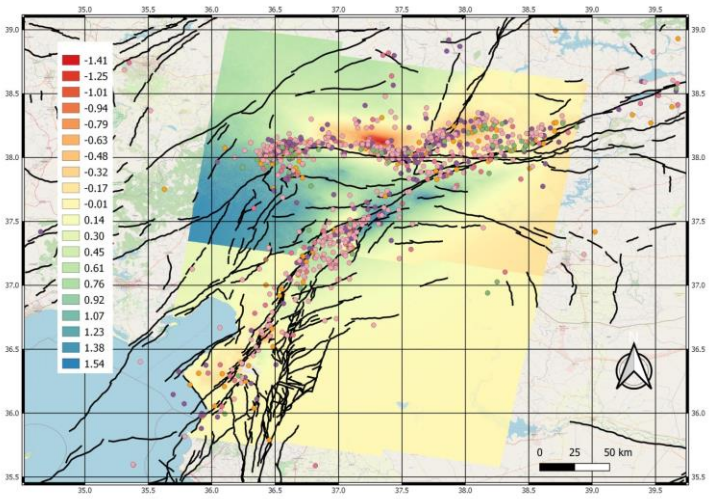
Фигура 5 показва вертикалните премествания (цветната скала е в метри), които очаквано са в зоните около основните разломи в района. Установено е, че дължината на разкъсването на повърхността е повече от 350 km.



Фиг. 3. Плътностна функция на събитията до 01.08.2023 г.



Фиг. 4. Разпределение на ускоренията, регистрираните след главното събитие (https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000jllz/shakemap/pga



Фиг. 5. Вертикалните премествания, регистрирани след земетресенията на 6 февруари

Заключение

В заключение може да се отбележи, че там където се наблюдават най-високите ускорения плътността на епицентрите е сравнително ниска. В тази област са най-интензивните разрушения по разлома, което се потвърждава и от оценените деформации от SAR данни.

Литература:

1. Kalafat, D., Zulfikar, A., Akcan, S. Seismicity of Turkey and Real-Time Seismology Applications in Determining Earthquake Hazard. Academic Platform Journal of Natural Hazards and Disaster Management 2(2), 96–111, 2021, DOI:10.52114/apjhad.1039670
2. Sengor, A.M.C. and Gorür, N. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in Strike-Slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation, edited by K. T. Biddle and N. Christie-Blick, Spec. Publ. Soc. Econ. Paleontol. Mineral., 37, 227–264, 1985
3. Şengör, A. M. C., O. Tüysüz, C. İmren, M. Sakınç, E. Eyidoğan, N. Görür, X. Le Pichon, and C. Rangin), The North Anatolian Fault: A new look, Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 33, 37–112, 2005, doi:10.1146/annurev. earth.32.101802.120415
4. Allen, C. R. Active faulting in northern Turkey, Rep. 1577, 32 pp., Div. of Geol. Sic., Calif. Inst. of Technol., 1969
5. Barka, A., Kadinsky-Cade K. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. Tectonics, 7, 663–684, 1988
6. Duman, Y., and Emre, Ö. The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics, Geological Society, London, Special Publications, Vol. 372, 495–529, 2013, https://doi.org/10.1144/SP372.14
7. Nalbant, S. S., J. McCloskey, S. Steacy, and A. A. Barka. Stress accumulation and increased seismic risk in eastern Turkey, Earth Planet. Sci. Lett., 195, 291–298, 2002, doi:10.1016/S0012-821X(01)00592-1.
8. Ambraseys, N. and Jackson, J. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. Geophysical Journal International, 133, 2, 390–406, 1998, doi:10.1046/j.1365-246X.1998.00508
9. Çetin, H., H. Güneyli, and L. Mayer. Paleoseismology of the Palu- Lake Hazar segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey, Tectonophysics, 374, 163–197, 2003, doi:10.1016/j.tecto.2003.08.003
10. Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute - Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center, that is available at http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/en/
11. USGS NEIC 2023, https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000jllz/executive
12. Frankel, A. Mapping seismic hazard in the central and eastern United States. Seismol. Res. Lett. 1995, 66, 8–21.
13. Lekkas, E., Carydis, P., Vassilakis, E., Mavroulis, S., Argyropoulos, I., Sarantopoulou, A., Mavrouli, M., Konsolaki, A., Gogou, M., Katsetsiadou, K.-N., Kotsi, E., Spyrou, N.-I., Diakakis, M., Kranis, H., Skourtsos, E., Lozios, S., Soukis, K.The 6 February 6 2023 Turkey-Syria Earthquakes. Newsletter of Environmental, Disaster and Crises Management Strategies, 29, ISSN 2653-9454, 2023, DOI: 10.13140/RG.2.2.17643.82726
14. Massonnet, D., K. Feigl. Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface", Rev. Geophys., 36 (4) ,1998, pp. 441–500,
15. Basili, R, Kastelic V, Demircioglu M, Garcia Moreno D, Nemser E, Petricca P, Sboras S, Besana-Ostman G, Cabral J, Camelbeeck T, Caputo R, Danciu L, Domac H, Fonseca J, Garca-Mayordomo J, Giardini D, Glavatovic, Gulen,L, Ince Y, Pavlides S, Sesetyan K, Tarabus iG, Tiberti,M, Utkucu M, Valensise G, Vanneste K, Vilanova S, Wssner, J. The European Database of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of 538 the Project SHARE, 2013, http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/, http://doi.org/10. 539 6092/INGV.IT-SHARE-EDS
16. https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home
17. InSAR product by ASF DAAC HyP3 2023, (contains modified Copernicus Sentinel data 2023, processed by ESA).

COMPARATIVE SEISMIC RISK ANALYSIS. EATHQUAKES M7.8 (1904- BULGARIA) AND (2023-TURKEY)

Boyko Ranguelov[1], Memet Salih Bayraktutan[2], Fathimath Shadiya[3], Edelvays Spassov[4], Julia Krumova[5], Garo Mardirossian[6]

[1]Maining and geology University – Sofia
[2]Technical University – Igdir
[3]Maldives National University – Male
[4]Kinemetrics – LA
[5]National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
[6]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: branguelov@gmail.com

Keywords: *Earthquakes, Turkey, Bulgaria, Seismic risk*

Abstract: *The remarkable strong earthquakes occurred on 6th February 2023, attracted the whole world. Many victims and damages created worldwide wave of sympathy and help for the affected people and countries – Turkey and Syria. A lot of investigations have been done in all aspects of these tremendous events – seismological, geological, geodetic, geodynamic, social, economic, etc. The same magnitude seismic event struck a neighbor country – Bulgaria in 1904. Both events except of their magnitudes (M7.8) are also similar in the behavior of the strongest accompanying event – a foreshock (M7.2) in Bulgaria 20 minutes before the main event and the Turkish aftershock (M7.6), 9 hours after the main shock in Turkey thus giving the reason to consider these seismic events as "doublets" (by definition "doublets" are very strong seismic events in close time and space domain). The main focus of this research is to compare all possible similarities and differences of such doublets, thus giving the public a topic for discussion why, where and how we can learn our lessons and consider all details for the people protection and infrastructure safety.*

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА СЕИЗМИЧНИЯ РИСК. ЗЕМЕТРЕСЕНИЯТА С М7.8 (1904 г.- БЪЛГАРИЯ) И (2023 г.-ТУРЦИЯ)

Бойко Рангелов[1], Мемет Салих Байрактутан[2], Фатима Шадия[3], Еделвайс Спасов[4], Юлия Крумова[5], Гаро Мардиросян[6]

[1]Минно геоложки Университет – София
[2]Технически университет – Игдир
[3]Малдивски Национален Университет – Мале
[4]Кинеметрикс – Лос Анджелис
[5]Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките
[6]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: branguelov@gmail.com

Ключови думи: *Земетресения, Турция, България, сеизмичен риск*

Резюме: *Забележителните силни земетресения, настъпили на 6 февруари 2023 г., привлякоха вниманието на целия свят. Многото жертви и щети създадоха световна вълна от съпричастност и помощ към засегнатите хора и страни – Турция и Сирия. Извършени са много изследвания във всички аспекти на тези грандиозни събития – сеизмологични, геоложки, геодезически, геодинамични, социални, икономически и др. Сеизмично събитие със същия магнитуд става в България през 1904 г. И двете събития, имат сходни магнитуди (М7.8), но се отличават в поведението на най-силното съпътстващо събитие – форшок (М7.2) в България (20 минути преди основното събитие) и вторичен трус (афтершок) в Турция (М7.6), 9 часа след основния трус в Турция, което дава основание тези сеизмични събития да се разглеждат като „дублети" (по дефиниция „дублетите" са много силни сеизмични събития в близка времева и пространствена област). Основният фокус на това изследване е да се сравнят всички възможни прилики и разлики на такива дублети, като по този начин се даде на обществеността тема за дискусия защо, къде и как можем да научим нашите уроци и да разгледаме всички подробности за защитата и безопасността на хората и инфраструктурата.*

Introduction

The terrible and devastating earthquakes (M7.8 and M7.5) on 6th February 2023 demonstrate the power of the nature and weakness and fragility of the human society to fight against powerful natural hazards. Affecting more than 20 million people in Turkey, the death poll reaches about 60 000 deaths and about three times more injured, 120 000 buildings destroyed and more than 60 billion economic losses in Turkey and Syria, this tremendous seismic event at the same time gave the possibility to study and extract the lessons learned and to prevent such heavy consequences when next similar event occurred. Following the context of the specific behavior of the seismic process this event can be attributed to the terminology using the word “doubles” of such a combination of two very strong earthquakes occurred in close space and time window – near Gaziantep and Kahramanmaraş. The two strong earthquakes of 6th February demonstrated all peculiarities of the seismic process and its geophysical, seismological and social consequences. The similar effects have been observed also in 1904 in Bulgaria. On 4th of April, 1904 two very strong earthquakes (M7.2 and M7.8) occurred in a very close time and space domain. These seismic events can also be classified as a “doublet”. So the comparative analysis of such very strong earthquakes can help to understand better the seismic process and the following risks for the population, infrastructure and the affected countries as a whole. This paper is targeted to the comparison of the case studies to the seismic doublets in Bulgaria and Turkey and their peculiarities with a focus on the seismic process, destructions, negative social consequences and the specifics if they exist and to extract knowledge which can be useful for the prevention of all possible negatives.

Geology conditions and tectonic setting

The investigated areas– Krasna-Kroupnik seismic source (Bulgaria-BG) and Gazientep-Kahramanmaraş (Turkey-TR) seismic zones are located in SW Bulgaria and SW Turkey respectively – as presented on Fig. 1. [1, 2]

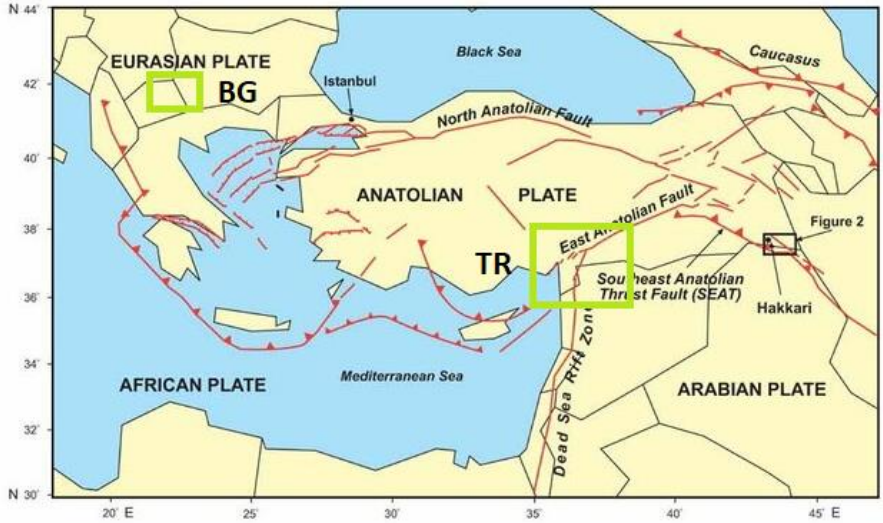


Fig. 1. Location of the investigated sites (green quadrangles) in Bulgaria (BG) and Turkey (TR)

Gazientep – Kahramanmaraş, Turkey earthquakes

The East Anatolian Fault (EAF) is positioned to the NE of Iskenderun bay of Aegean Sea and has more than 700 km long major strike-slip fault zone running from eastern to south-central Turkey. It forms the transform type tectonic boundary between the Anatolian Plate and the northward-moving Arabian Plate. The difference in the relative motions of the two plates is manifest in the left-lateral motion along the fault. The East and North Anatolian faults together accommodate the westward motion of the Anatolian Plate as it is squeezed out by the ongoing collision with the Eurasian Plate.

The East Anatolian Fault runs in a northeasterly direction, starting from the Maras Triple Junction at the northern end of the Dead Sea Transform, and ending at the Karlıova Triple Junction where it meets the North Anatolian Fault (NAF).

Triassic and cretaceous old metamorphic rocks, covered by Eocene limestones and younger sediments and an ophiolite belt of the ancient obduction of the continental crust over the oceanic of Thetis are the main geologic units developed in the area. The fault zone produced several large M~7 earthquakes during the last centuries. The average rate is about a large earthquake in every

20–25 years. This means very high seismic activity and the EAF is recognized as a primary unit dominating the seismic hazard in Turkey, together with the North Anatolian fault. Both fault zones are under compression and the dominant mechanisms of earthquakes are the strike-slip type. The Anatolian microplate surrounded by the both main fault zones is squeezed and moved in general to the west – Fig. 2.

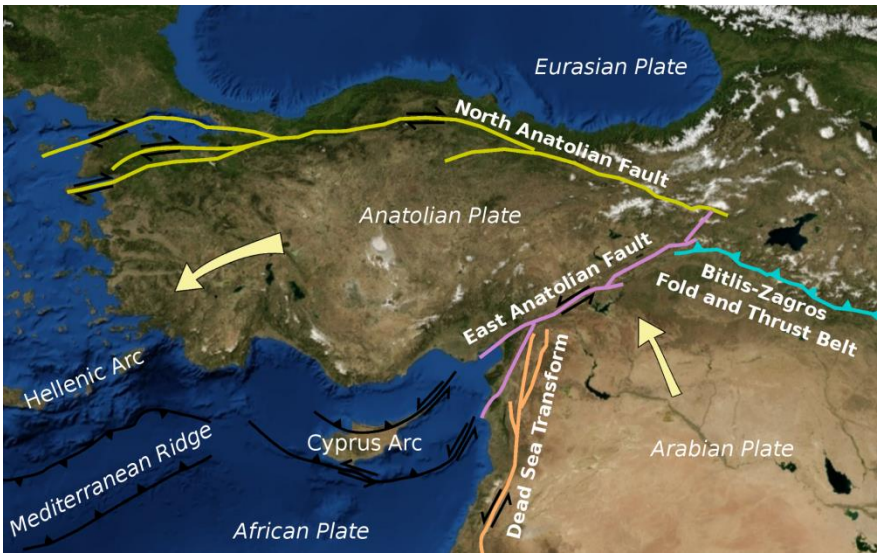


Fig. 2. Tectonic sketch (CSEM-EMSC) and main tectonic units dominating the geodynamic environment in Turkey

The active seismogenic faults are well studied in Turkey – Fig. 3 [3].

Aftershock activity is another parameter outlining the source zones of both events. Just for the statistics is important to mention that the aftershock process is not yet finished and will continue at least several years. This is a process of relaxation of the earth's crust substance generated the strong events.

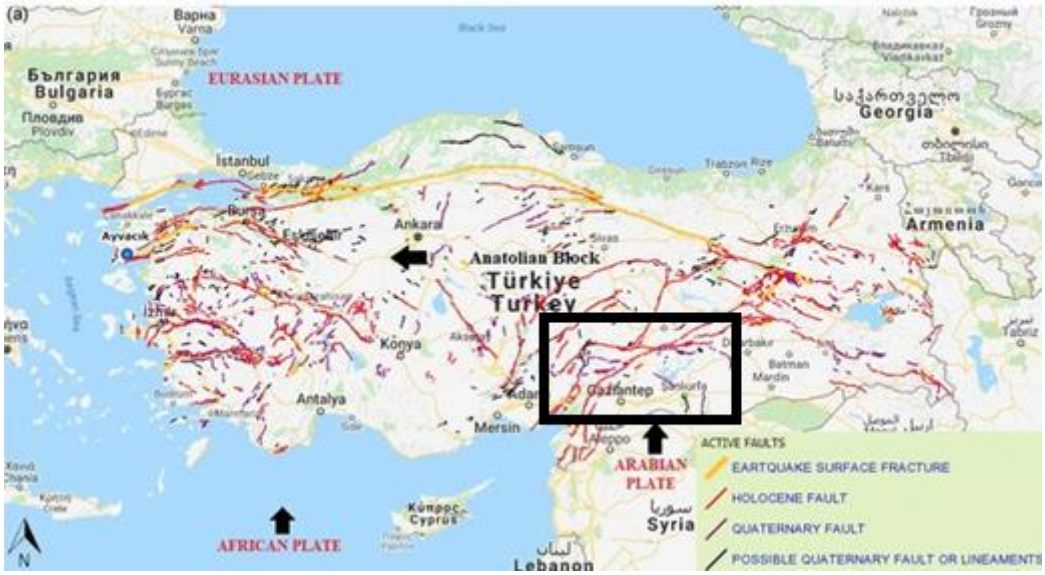


Fig. 3. Active faults map of Turkey and area of 6th Feb. 2023 earthquakes (black polygon)

Kresna-Kroupnik Bulgaria earthquakes

The geology of the Kresna-Kroupnik seismic zone (the most recently active area in Bulgaria) is dominated by Late Cretaceous intrusive rocks and Neogene sediments [3]. The tectonics is formed by the recent extension geodynamic regime due to the protrusion of the north branches of NAF. The area of the Kresna-Kroupnic earthquakes (M7.1 and M7.8) is located at the triple junction of the main three tectonic units – Rila-Rhodopean and Pirin, Ograzden and Struma – Fig. 4. They outlined typical block structures limited by grabens and faults sometimes seismically active [4]. As the main

geodynamic regime is extension the most mechanisms of the stronger events are normal type. Due to the complicated structure and the earth's crust fragmentation in the area frequently the low magnitude seismic events demonstrate variety of mechanisms and combinations of strike-slip, normal and trust type. The general neotectonic setting in the area is the block structure. This means that the Earth's crust is consistent with different sizes of blocks separated by vertical (large) and listric (mostly smaller) faults inclining to horizontal lineaments. The active faults have sparse distribution and demonstrate seismic activity, creep and sliding effects. – Fig. 5.

Fig. 4. Tectonic sketch (according [4]) and main tectonic units in Bulgaria.
Red polygon indicated the area of 4th April, 1904 earthquakes

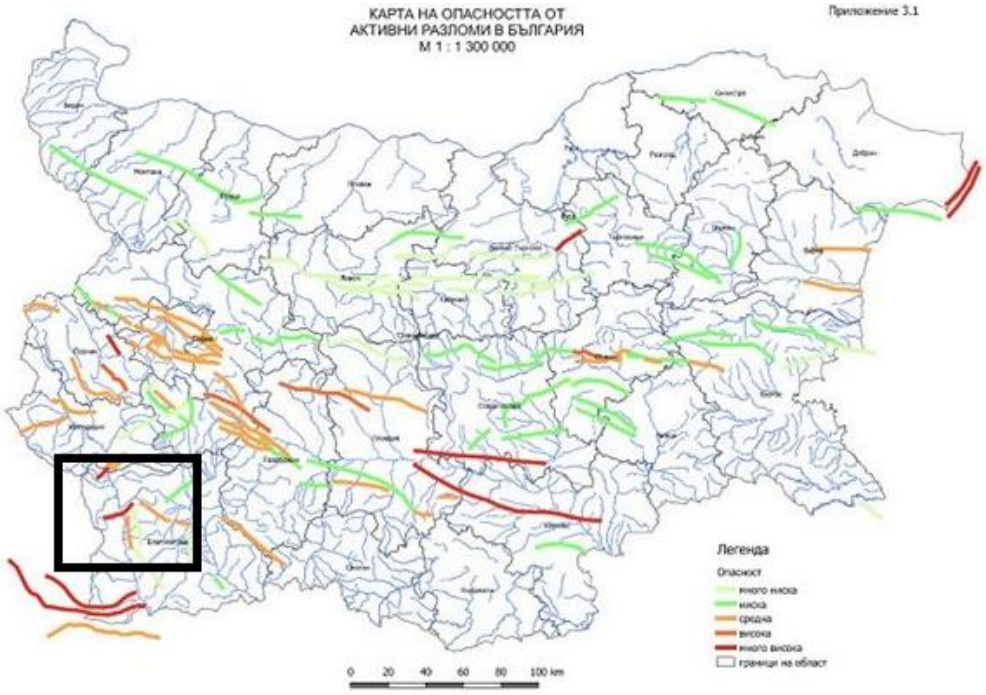


Fig. 5. Active faults map of Bulgaria and area of 4th April 1904 earthquakes (black polygon)

Data and comparison

Gazientep and Kahramanmaraş (Turkey) earthquakes

The strongest earthquakes (M7.8 and M7.5) shaken Turkey and Syria on 6th February 2023 are rather well studied and documented with all recent possibilities of the different sciences – seismology, geodynamics, geodesy, social sciences, remote sensing and space technologies, etc. Data about the earthquakes, mechanisms and geodynamics of the shocks, co-seismic displacements,

surface deformations, aftershock distributions, landslides and rock falls, tsunami and other primary and secondary effects are collected and published widely [5]. The intensive collapses and destructions of buildings, roads, dams, infrastructure, deaths, injured and homeless people, all these data are much more exact and correct in comparison with previous earthquakes, affected this area. The EAF produced many very strong seismic events in the past times. They were historically described and documented in the catalogues of the local and regional seismicity [5]. Recent technologies permit us to use remote sensing, satellite interferometry and other techniques which were not available in the previous times. This approach enrich our possibilities to study and investigate the processes and consequences of events with rather more efficiency.

Only for illustration two pictures are presented. Fig. 6a. shows the developments of the aftershock process after the first (M7.8) and prior the second (M7.5) earthquakes and Fig. 6b. presented approximately same time interval after the second seismic event. It is clearly visible that the aftershock sequence of the M7.8 event is strictly linked to the EAF, but the source of the M7.5 outlined by its aftershocks has mainly E-W direction [6].

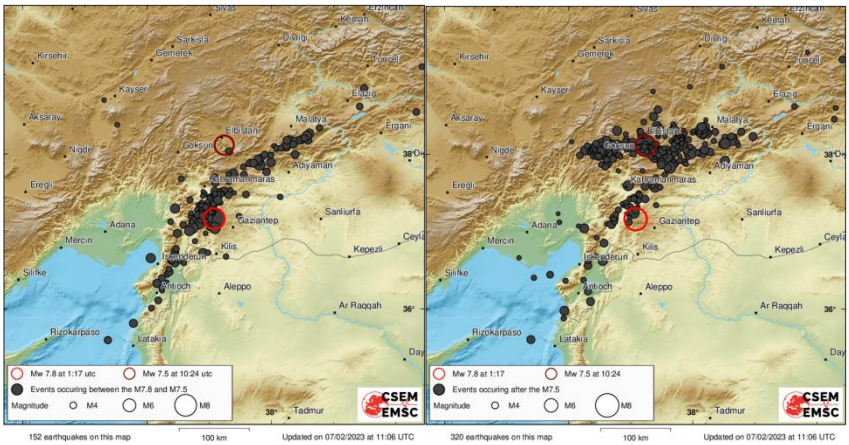
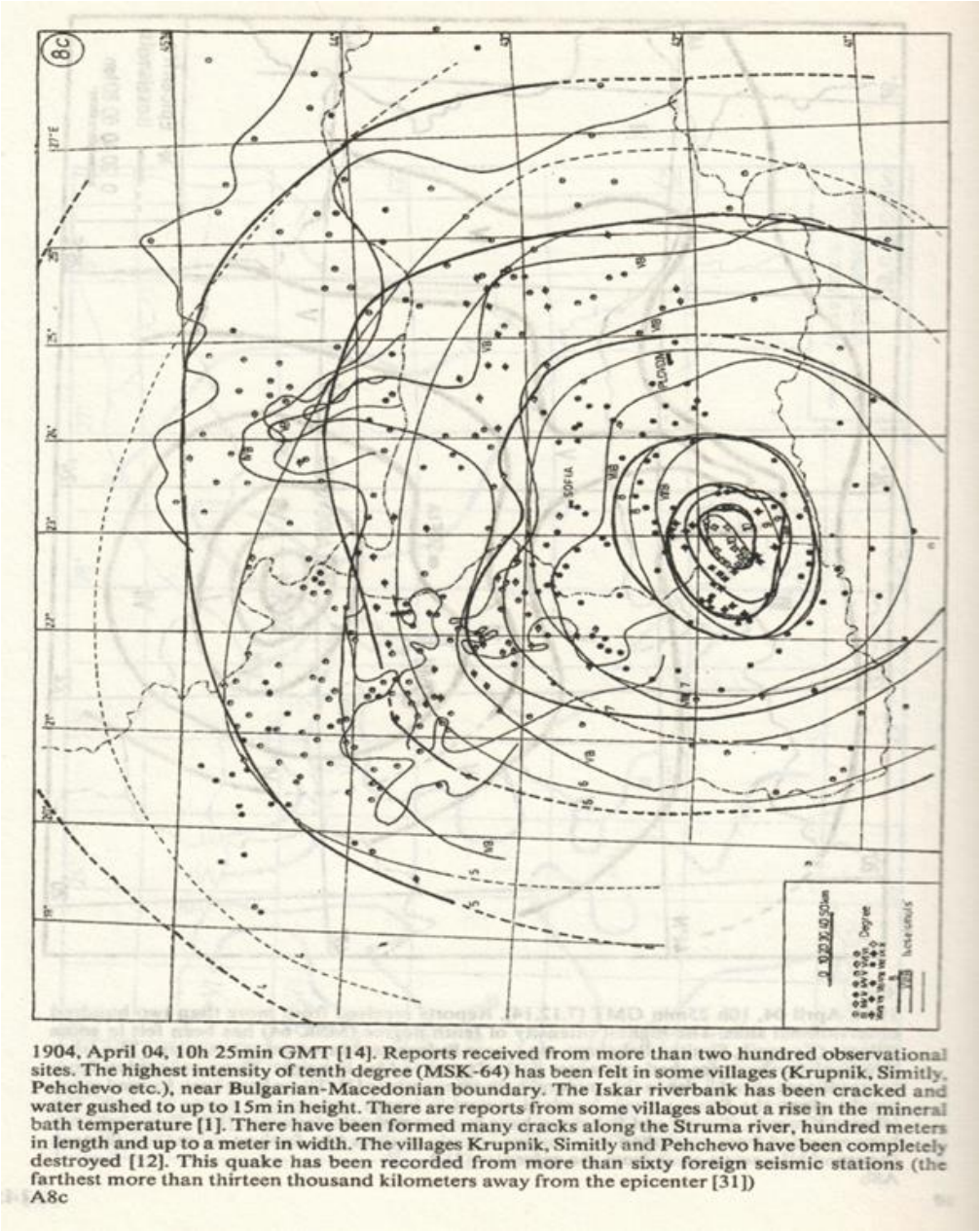


Fig. 6a (left) and 6b (right). Aftershocks after first (a) and second (b) shocks – 6th Feb.2023.

Kresna-Kroupnik (Bulgaria) earthquakes

The strongest earthquakes occurred on 4th April, 1904. M7.1 (considered foreshock) and M7.8 (main event) occurred in a time domain of about 20 minutes during the day time – around 10 o'clock AM. Most people were outdoor that's why the number of victims and injured were surprisingly low – several tens. The destructed buildings are estimated about several hundreds. It is important to mention that the epicenter was in a low populated mountain region. The felt aftershocks reported between the two strong shocks are about 20 (the strongest ones – 2 with magnitudes around 5.0) [7]. The immediate strongest aftershock of the sequence was reported about 8 hours later with magnitude 5.5 (intensity VII) and 1.5 year later the strongest aftershock of the whole sequence with magnitude 6.4. A set of more than 50 updated macroseismic maps related to these strong seismic events and their aftershocks have been prepared and published in 2001 [7]. A catalogue of historical earthquakes in the area (more than 100 events – years 890-1899) and more than 3 000 seismic events (1900-1975) has been created. All catalogue parameters of the investigated seismic events are extracted from the local reports and estimated magnitudes from the macroseismic information. A facsimile presents the macroseismic map of the M7.8 earthquake of 4th April, 1904 – Fig. 7. Twenty five macroseismic maps related to these strong events and their aftershocks have been created and published in 2001 [7]. For the transformation of the macroseismic map to Peak Ground Acceleration (PGA) specialized seismic hazard modelling was performed. The results might be useful for the comparative analysis. The obtained PGA values of the model are compatible with the macroseismic observations. The important issue is the partial location of the village Kroupnik on the trace of the observed fault dislocation due to the M7.8 earthquake – Fig. 8. The modelled values of the PGA reach 0.5–0.55 g.

To be able to study and compare both – Bulgaria and Turkey doublets several tables were created reflecting the main parameters (similarities and differences) of these earthquakes.



1904, April 04, 10h 25min GMT [14]. Reports received from more than two hundred observational sites. The highest intensity of tenth degree (MSK-64) has been felt in some villages (Krupnik, Simitly, Pehchevo etc.), near Bulgarian-Macedonian boundary. The Iskar riverbank has been cracked and water gushed to up to 15m in height. There are reports from some villages about a rise in the mineral bath temperature [1]. There have been formed many cracks along the Struma river, hundred meters in length and up to a meter in width. The villages Krupnik, Simitly and Pehchevo have been completely destroyed [12]. This quake has been recorded from more than sixty foreign seismic stations (the farthest more than thirteen thousand kilometers away from the epicenter [31])
A8c

Фиг. 7. A facsimile of the macroseismic map of the 1904 (M7.8) earthquake [8]

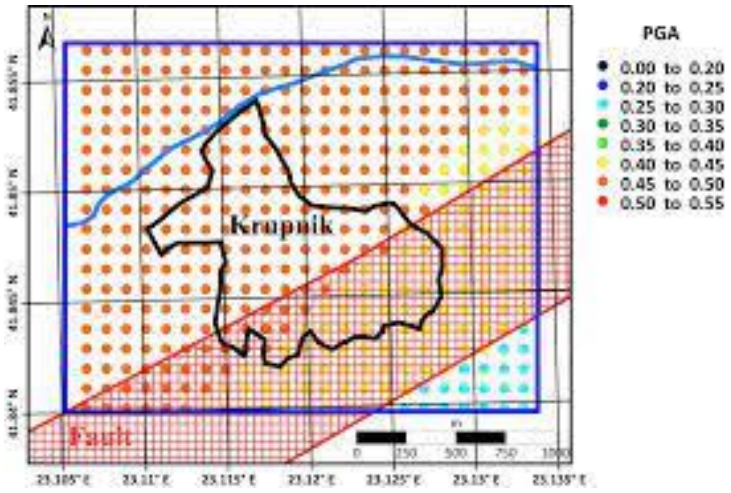


Fig. 8. Map of the PGA values modeling results [8]

Table 1. General parameters of the investigated main seismic events in Bulgaria (4th April, 1904) and Turkey (6th February, 2023)

Earthquake "doublet"	Time	Coordinates	Magnitude	Intensity (max)	Depth [km]	Time difference	Distance difference
Bulgaria (BG-Kresna-Kroupnik)	Day				In Earth's crust	~20 min	~20 km
First event- BG1- (foreshock)	10h 02 min	41.78N 22.98E	7.2	IX-X EMS	15		
Second event- BG2 (main)	10h 26 min	41.80N 23.10E	7.8	X EMS	18		
Turkey (TR-Gaziantep - Kahramanmaraş)	Night/ Day				In Earth's crust	~9 hours	~100 km
First event - TR1 (main)	01h 17 min	37.22N 37.02E	7.8	XI-XII EMS	10		
Second event- TR2- (aftershock)	10h 24min	38.02N 37.20E	7.5	X-XI EMS	15		

Table 2.Characteristic parameters and geodynamic environment

Events	BG1	TR1	BG2	TR2
Secondary effects:				
Faults	Normal	Strike-slip	Normal	Strike-slip
Geodynamic environment	Extension	Compression	Extension	Compression
Coseismic deformations	Vertical displacement up to 1-2m	Extremely large deformations up to 20m width and 10^2 – 10^3 m length. 7m horizontal displ.(-5 to +4 m) – vertical.	Large displacement (~5-10m), 40km (E-W) length	Large deformations up to 10m width and 10^2 – 10^3 m length. (~5m) horizontal displacement. (-4 to +4 m) – vertical.
Cracks	Many cracks – Up to 1m width.	400 km surface ruptures	Many cracks, 1perpendicular to the river bed. Length ~40 km.	60-80 km total surface ruptured cracks
Foreshocks	3 felt (M~3)	1 felt (M~5)	n/a	n/a
Aftershocks	10^2-10^3 (7 years)	10^3-10^4 (expected)	10^2-10^3 (7 years)	10^3-10^4 (expected)
Tsunamis	River flow	(1-2m Alexandreta)	River flow	n/a
Intensity areas	60 000 km^2 – felt 100 km^2–IX-EMC	200 000 km^2-felt 3 000 km^2 - XEMC	80 000 km^2-felt 300 km^2- X EMC	150 000 km^2 – felt 2 000 km^2- X EMC
Max felt distance	More than 200 km	More than 2000km	More than 300 km	More than 1000km
Max acceleration:	No records	Very rich collection of records ~150	No records	Very rich collection of records ~160
measured	No data	0.5-1.2(2.2)g	No data	0.6g
calculated	0.45-0.5g (model)	1-1.2g modelled	0.5g (model)	0.7-0.8g
"Unusual" observations	Rumbling, 5 m water rise	Strong sounds. Lack of destructions in Erzin (30-50 km from the fault – Intensity IX) Earthquake prediction by Frank Hoogerbeets -NL	Mineral water temperature rise, Dam formed like lake on Struma river bed (tsunami ?).	Strong sounds. Lack of destructions in Erzin (50-80 km from the fault – Intensity IX-VIII). Earthquake prediction by Frank Hoogerbeets - NL

Total losses and Social effects

Deaths – 60 000 (~50 000TUR) (10 000 SYR), Injured ~120 000, homeless, buildings collapsed – TR 67 209, buildings damaged-111 120, cities and villages affected, losses –primery-secondary about 100 bil (TUR) and about - 11 bil in Syria, infrastructure `fires and dam collapse (Syria), roads disruption, etc.[9]. Data extracted from [12].

The extensive study has been performed by different authors of the GPS, satellite and on-land measurements of the co-seismic deformations. Similar results have been obtained by the Bulgarian team [10].

Conclusions

A comparative study of the very strong earthquakes in Kresna-Kroupnik (Bulgaria, 1904 [11]) and Gazientep – Kahramanmaraş (Turkey, 2023) has been done considering the geophysical, seismological and social parameters and sequences in the context of the geological and tectonic environment of the shocks.

The comparison shows that these similar in power events have very significant differences in many aspects. Even their seismological parameters are close; the produced effects are completely incompatible [12].

The main conclusion about these differences are revealed and the dependencies discovered – larger area of destruction for the Turkish case, huge number of fatalities, incredible economic losses are due to the very much specifics outlined in the paper – low quality of buildings, extended infrastructure, high density of population, etc. are the main factors for such huge negative effects.

On the other side – Bulgaria case – low density of population, day time of occurrence, much smaller area of high intensities, stable wood flexible constructions of the buildings and lack of industries leads to extremely low number of victims, destructions and economic losses.

Acknowledgements

This work has been carried out in the framework of the National Science Program "Environmental Protection and Reduction of Risks of Adverse Events and Natural Disasters", approved by the Resolution of the Council of Ministers № 577/17.08.2018 and supported by the Ministry of Education and Science (MES) of Bulgaria (Agreement № Д01-271/09.12.2022) and supported by the scientific program of the Bulgarian Academy of Science and Arts (BANI – http://basa.bg/en/) and its Centre of Natural and Engineering Science (https://basa.bg/index.php/otdeleniq-na-bani/nauka/314) and National scientific program “Security and Defence”, task 1.1.6 „Analysis of the risk and threats, design and development of conceptual generating models and software for efficiency increase of the control of forces and means for influence on natural disasters, accidents and crises of the critical infrastructure in the territory of Republic of Bulgaria“, according to Agreement № Д01-74/19.05.2022 between Ministry of Education and Science and The Bulgarian Defence Institute “Prof. Tsvetan Lazarov” for fulfilment of National Scientific Program “Security and Defence” accepted with decree of the Council of Ministers № 731 from 21.10.2021.

References:

1. https://www.mindat.org/photo-1187573.html
2. https://www.researchgate.net/publication/265077593_SEISMIC_HAZARD_ASSESSMENT_FOR_PHASE-I_DESIGN_HAKKARI_DAM_TURKEY/figures?lo=1
3. https://www.hurriyetdailynews.com/fault-lines-crisscrossing-turkey-23606
4. Sesetyan, K., M. Stucchi, V. Castelli and A.A. Gomez Capera, 2023, Kahramanmaraş - Gaziantep Türkiye M7.7 Earthquake, 6 February 2023 (04:17 GMT+03:00). Large historical earthquakes of the earthquake-affected region: a preliminary report., (Ed. Boğaziçi University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Department of Earthquake Engineering 12 pp.
5. https://www.emsc-csem.org/Earthquake/
6. Ranguelov, B., Rizhikova S. and Toteva T., 2001. The earthquake (M7.8) source zone (South-West Bulgaria), (Sofia: Bulgarian Academy of Sciences Pres) 279 pp.
7. Ranguelov, B, Kisiov At, Dimovsky S, Spassov E, Krumova Y., SEISMIC HAZARD ASSESSMENT OF HIGH SEISMIC RISK LOCATED SETLEMENTS., Proc. SES 2022, 18th Int. Sci. Conf, SPACE, ECOLOGY,SAFETY, 19th – 21st October 2022, Sofia, Bulgaria
8. Lekkas, E., Carydis, P., Vassilakis, E., Mavroulis, S., Argyropoulos, I., Sarantopoulou, A., Mavrouli, M.,Konsolaki, A., Gogou, M., Katsetsiadou, K.-N., Kotsi, E., Spyrou, N.-I., Diakakis, M., Kranis, H., Skourtsos, E., Lozios, S., Soukis, K. (2023).The 6 February 6 2023 Turkey-Syria Earthquakes. Newsletter of Environmental, Disaster and Crises Management Strategies, 29, ISSN 2653-9454,DOI: 10.13140/RG.2.2.17643.82726 https://www.preventionweb.net/news/preliminary-report-february-6-2023-earthquakes-turkiye
9. Atanasova, M. Pl. Raykova, H. Nikolov., 2023, DETERMINING THE DEFORMATIONS OF THE EARTH’S SURFACE AFTER THE EARTHQUAKES IN TURKEY-SYRIA OF 06 FEBRUARY 2023 – INITIAL RESULTS. Compt. Rend. de l’Acad.Bulg.Sci.*Tome 76, No 4, 2023.*
10. Watzof, S. 1905. Tremblements de terre en Bulgarie, N0 5, Sofia, 280pp.
11. Grigorova, E. and B. Grigorov. 1964 Epicentres and seismic lineaments in Bulgaria. (In Bulgarian with a French summary)
12. https://www.worldvision.org/disaster-relief-news-stories/2023-turkey-and-syria-earthquake-faqs

Session 1

Space Physics

Chairmen: Prof. Tsvetan Dachev
Corr. Member Peter Velinov
Secretary: Assoc. Prof. Daniela Boneva

OVERVIEW OF THE OUTER RADIATION BELT DOSE RATES, OBSERVED AT SPACE STATION "MIR" AND AT THE INTERNATIONAL SPACE STATION BY LIULIN TYPE INSTRUMENTS

Tsvetan Dachev[1], Borislav Tomov[1], Yuriy Matviichuk[1], Plamen Dimitrov[1], Yordanka Semkova[1], Malina Yordanova[1], Nikolay Bankov[1], Mityo Mitev[1], Vyacheslav Shurshakov[2], Viktor Bengin[2]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]Institute for Biomedical Problems – Russian Academy of Sciences
e-mail: tdachev59@gmail.com

Keywords: *Earth's radiation belts, International Space Station, Space radiation dose*

Abstract: *Cosmic radiation doses from relativistic electrons from the outer radiation belt (ORB) outside the International Space Station (ISS) and the Photon M2/M3 satellites were first reported [1] by a team from SRTI-BAS in 2009. This paper aims to analyze the dose rates from the ORB of the manned stations "MIR" and the ISS, to confirm their constant presence and to emphasize the significance of these studies.*

Special attention is paid to the dose variations in two features in the ORB: precipitation bands of relativistic electrons and relativistic electrons penetration from the ORB at low L-values and in the inner radiation belt.

АНАЛИЗ НА МОЩНОСТИТЕ НА ДОЗИТЕ ОТ ВЪНШНИЯ РАДИАЦИОНЕН ПОЯС, НАБЛЮДАВАНИ НА СТАНЦИЯ „МИР" И НА МЕЖДУНАРОДНАТА КОСМИЧЕСКА СТАНЦИЯ С ПРИБОРИ ОТ ТИПА ЛЮЛИН

Цветан Дачев[1], Борислав Томов[1], Юрий Матвийчук[1], Пламен Димитров[1], Йорданка Семкова[1], Малина Йорданова[1], Николай Банков[1], Митьо Митев[1], Вячеслав Шуршаков[2], Виктор Бенгин[2]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]Институт за медико-биологически проблеми – Руска академия на науките
e-mail: tdachev59@gmail.com

Ключови думи: *Радиационни пояси на Земята, Международна космическа станция, доза космическа радиация*

Резюме: *Дозите космическа радиация от енергетичните електрони от външния радиационен пояс (ВнРП) извън Международната космическа станция (МКС) и спътниците Фотон М2/М3 са докладвани за първи път в статия [1] на колектив от ИКИТ-БАН през 2009 г. Настоящата статия цели да анализира мощностите на дозите от ВнРП на пилотируемите станции „МИР" и МКС; да потвърди тяхното постоянно наличие и подчертае значимостта на този тип изследвания.*

Специално внимание се обръща на вариациите на дозата в две характеристики в ВнРП: лентите от релативистични електрони и на проникването на релативистични електрони от ВнРП в ниски L-стойности и във вътрешния радиационен пояс.

Introduction

The dominant radiation component in near the Earth space environment are the galactic cosmic rays (GCR), modulated by the solar activity. The GCR are charged particles that originate from sources beyond our solar system. These particles are accelerated by high energetic sources like neutron star, black holes and supernovae within our Galaxy. GCR are the most penetrating of all

major types of ionizing radiation. The energies of GCR particles range from several tens up to 10^{12} MeV nucleon^{-1}.

Radiation belts are the regions of high concentration of energetic electrons and protons trapped within the Earth's magnetosphere. The inner radiation belt (IRB), located between about 0.1 to 2 Earth radii, consists of both electrons with energies up to 10 MeV and protons with energies up to ~400 MeV. The protons from the inner radiation belt contribute to the main absorbed dose inside the ISS. The outer radiation belt (ORB) starts from about 4 Earth radii and extends to about 9-10 Earth radii in the anti-sun direction. It consists mainly of high-energy (0.1–10 MeV) electrons. The electron flux may cause problems for components located outside a spacecraft (e.g. solar cell degradation). These electrons do not have enough energy to penetrate the heavily shielded spacecraft as is the case with the ISS wall, but they may give large additional doses to astronauts during extra vehicular activity (EVA) [1-4].

The solar energetic particles (SEP) are mainly produced by solar flares, sudden sporadic eruptions of the chromosphere of the Sun. High fluxes of charged particles (mostly protons, some electrons and helium and heavier ions) with energies up to several GeV are emitted by processes of acceleration outside the Sun. The time profile of a typical SEP starts with a rapid exponential increase in flux, reaching a peak in minutes to hours. The energy emitted are up to few hundred MeV nucleon^{-1} and the intensity can reach 10^4 cm^{-2} s^{-1} sr^{-1}.

Instruments description

The data from four different Liulin type instruments were used in this study.

LIULIN instrument [2] (pls. look Fig. 1, panel 1.1) was designed in 1986-1988 and used on "MIR" space station from April 1988 till August 1994. Its measurements were based on a single silicon detector followed by a charge-sensitive shaping amplifier (CSA) AMPTEK A225 type (https://www.amptek.com/internal-products/a225-charge-sensitive-preamplifier-shaping-amplifier). The number of the pulses at the output of the CSA above a given threshold was proportional to the particle flux hitting the detector. The amplitude of the pulses at the output of the CSA was proportional to the particles' deposited energy. The integral of the energy depositions of the particles accumulated in the detector during the measurement interval allowed the calculation of the dose rate.

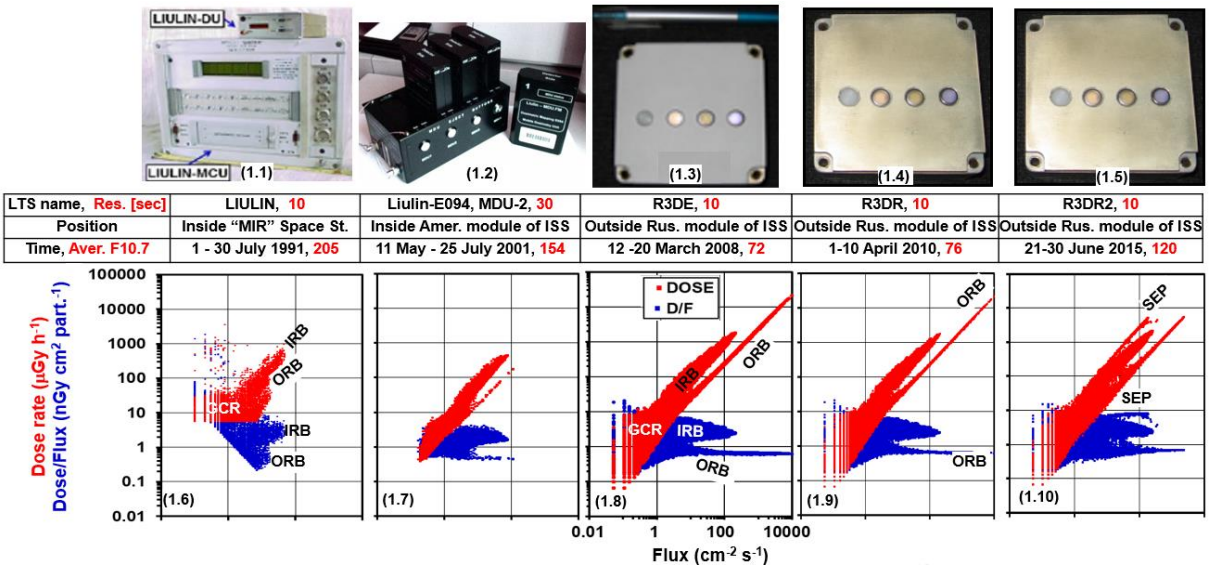


Fig. 1. Comparison of data obtained by five experiments on "MIR" and ISS in the period July 1991-June 2015

The Mobile Radiation Exposure Control System Liulin-E094 [3] (Fig. 1, panel 1.2) was a part of the experiment Dosimetric Mapping E094. The latter was placed in the US Laboratory module as a part of the Human Research Facility of Expedition Two Mission 5A.1, STS-102 Space Shuttle Flight. The system consists of four Mobile Dosimetry Units (MDU) and one Control and Interface Unit (CIU). Data from MDU number 2 (MDU-2) are used in this study. The MDU contains: one semiconductor detector with 0.3 mm thickness and 2.0 cm^2 area Canberra RF-14*14- 300-EB type; one low noise, hybrid, charge-sensitive preamplifier A225 type of AMPTEK Inc.; a fast 12 channel ADC; 2 microcontrollers and an 0.5 MB flash memory. The unit is managed by through specially developed software. The pulse amplitudes are proportional by a factor of 240 mV/MeV according to the AMPTEK A225F preamplifier specifications (A225 Specs for pdf (fastcomtec.com). The amplitudes are digitized

and organized in a 256-channel spectrum. Using the System International (SI) definition, the dose D (in Grey) is calculated from the sum of 256 channels amplitudes in MeV divided by the mass of the detector in kilograms.

The European Space Agency (ESA) EXPOSE-E, EXPOSE-R and EXPOSE-R2 facilities accommodated three Bulgarian-German Radiation Risk Radiometer-Dosimeters (R3D). R3DE instrument [4] (pls. look Fig. 1, panel 1.3) was used inside the EXPOSE-E facility on the Columbus module of the ISS in 2008-2009. R3DR spectrometer [5] (Fig. 1, panel 1.4) worked inside the EXPOSE-R facility from 2009 to 2010. R3DR2 is the same instrument as R3DR. It was part of EXPOSE-R2 facility on the ISS from 2014 until 2016 [6]. The extension "R2", same as for the EXPOSE-R2 facilities, is used to distinguish its data from the data from the previous mission. The two R3D spectrometers were built, applying the same schematics as that described in the previous paragraph for Liulin-E094, MDU-2 instrument. The detectors in the R3D spectrometers are Hamamatsu S2744-08 silicon PIN photodiodes (Si PIN photodiode S2744-08 | Hamamatsu Photonics).

Identification of energetic electrons from ORB during analyzed experiments on "MIR" and ISS

Fig. 1 compares data from "MIR" and ISS from the period 1991 – 2015. It has five columns and three rows. Each column presents the data got by the Liulin type spectrometers (LTS), illustrated on the first row. The second row includes a table giving information for: LTS name, the resolution in seconds, the position on the station, the time resolution of the measurements in seconds and the averaged in the observed time interval solar radio flux (F10.7) in solar flux units (Solar Cycle Progression | NOAA / NWS Space Weather Prediction Center). The third row contains graphics of the variations of the Dose rate and Dose to Flux ratio in dependence by the Flux.

Historically during the analysis of the LTS data, it was found that the graphics of the variations of the Dose rate and Dose to Flux ratio in dependence by the Flux have a similar feature as those depicted in panels (1.6)-(1.10) of Fig. 1. These five similar graphics are our major proof that we have observed fluxes of energetic electrons from the ORB in all experiments.

The explanation of the graphics in the Panels (1.6)-(1.10) is as follows: On the horizontal axis is the flux in cm^{-2} s^{-1}, while on the vertical axes are two parameters: the dose rate in μGy h^{-1} (in red points) and the dose to flux ratio in nGy cm^2 $particle^{-1}$ (in blue points). These type of graphics allows visualizing the four different radiation sources components expected in the stations altitudes in the range 390-450 km. They are GCR particles, protons with more than 15.8 MeV energy in the (South Atlantic Anomaly) SAA region of the IRB, relativistic electrons with energies above 0.78 MeV in the ORB and solar energetic particles (SEP) [6].

The large number of experimental points in the diagonal of the figures is responsible for the dose rate values, which, as expected, are linearly dependent on the flux, while the number of points lying almost horizontally represent the dose to flux ratio (D/F) ratio. Both graphics are with a form of large area in the small values and two maxima in the high values. The large number of the measured points are in the range 0.03–30-μGy h^{-1} and for a fixed flux, a wide range of doses is observed. These two features could be explained only by GCR particles, which, being relatively less abundant and having high linear energy transfer (LET), deposit, varying doses for the same flux. The smallest dose rates (0.03–0.430-μGy h^{-1}) are observed close to the magnetic equator, while the largest ones are observed at high latitudes. In the horizontal graphic, this part of the data is represented with a similarly large number of points, which in bigger part overlaps the dose rate diagonal points.

The lower maxima is in the dose rate range 9–22,000-μGy h^{-1} and takes the form of a straight line. Its representation in the horizontal graphic is a maxima extending up to 10,000 cm^{-2} s^{-1}, with dose to flux values below 1 nGy cm^2 $particle^{-1}$. This maximum is based on low LET particles and could be formed only by relativistic electrons [1] in the outer radiation belt.

The upper maximum in the diagonal graphic has a different source than the previous two. A high range of doses for a fixed flux characterizes it but the dose rates are in the range 30–1900-μGy h^{-1}. This number of points could only represent protons from the IRB (in the region of the SAA) whose dose depositions depend on the energy. The lower energy protons deposit higher doses. In the horizontal graphic, this maximum has a similar form and is situated in the range 1.2–8-nGy cm^2 $particle^{-1}$. In Panel (1.6) a third maximum appears in both graphics. This maximum is generated by SEP protons.

Straight lines can approximate both IRB and ORB maxima. From these approximations, we calculate that one proton in the IRB deposits, on average, a dose of 1.4 nGy in the silicon detector, while one electron in the ORB deposits a dose of 0,33 Gy. This is in good agreement with Heffner's formulae [6, 8].

The conclusion, which can be drawn from of the graphics in the Panels (1.6)-(1.10) is that the data can be simply split in two parts by the requirements for the ratio *D*/*F*<1 and *D*/*F*>1-nGy cm^2 particle^{-1} [6, 8]. This will generate results that will split the IRB and ORB sources. Looking on the graphics in the Panels (1.6)-(1.10) it is seen that the D/F maxima corresponding to the ORB energetic electrons are situated in region of lover than 1-nGy cm^2 particle^{-1}, while the IRB D/F maxima are seen in the region higher than 1-nGy cm^2 particle^{-1}.

GCR protons in equatorial and low latitude regions have very small fluxes of less than 1 nGy cm^2 particle^{-1}. That is why the D/F ratio is not stable and varies in the range from 0.03 to 30 nGy cm^2 particle^{-1}. This large variation makes the *D*/*F* ratio inapplicable for the characterization of the GCR radiation.

Peculiarities of ISS ORB

The result of the separation of the four radiation sources (including SEP) is seen in Fig. 2. It presents the latitudinal distribution of the dose rates against McIlwain's L values [7]. The L value is plotted on the x-axis. On the y-axis, the absorbed dose rate, measured by the R3DR2 instrument, is depicted. Fig. 2 demonstrates the data from 1st to 10th of June 2015. The picture contains 86,400 points at a 10 s resolution (10 days × (360 × 24 (h)). Four different primary radiation sources separated by the heavy black lines are seen. These sources are illustrated in Fig. 2 with different colours, i.e. IRB (green), ORB (blue), GCR (red) and SEP (magenta). From one 10 s independent measurement of the dose rate (D) and flux (F), we were able to calculate one dose to flux ratio (D/F). Using this, we were able to decide only what the predominant radiation sources were, but we were unable to extract the exact doses of each source. The black line in Fig. 2 are generated by the operator and the interactive separation software [6].

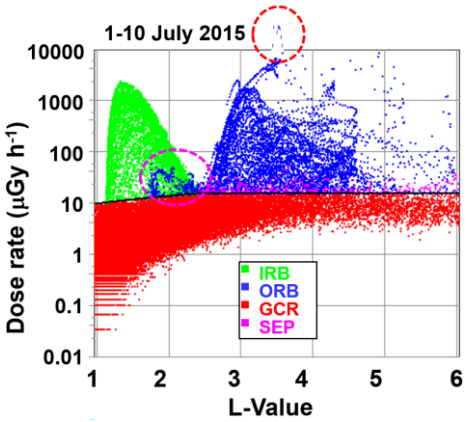


Fig. 2. The two peculiarities in the ORB: The dashed red oval line in the upper part of the figure marks the relativistic electron precipitations (REP), while the dashed magenta oval in the middle-left part of the figure displays the penetration of relativistic electrons in low L-values and in the IRB

The above data are from R3DR2 instrument on the ISS. R3DR2 studies two features of the ORB in the period 2014-2016. They are (1) the precipitation bands (PB), seen in the red oval at the top of Fig. 2, and (2) the penetration of relativistic electrons from the ORB to the low L-values and the IRB (PRE), marked in the magenta oval in the left central part of the figure.

The GCR source are the majority of the measurements in Fig. 2. The latter are seen as the area with many red points in the bottom part of the figure over the L value range between 1 and 6. The dose rates in the GCR region vary between 0.03 and 15-μGy h^{-1}. The second permanent source of radiation corresponds to the protons in the SAA region of the IRB, which are situated as a large maximum (green points) in the upper left corner of Fig. 2, with a total of 5,876 points. They cover L values between 1.2 and 2.6.

Fig. 2 presents the most dynamic 10 days of the ORB source distribution in L-values for the entire period of observations between November 2014 and January 2016. High dose rate patches are seen. The largest penetration of relativistic electrons below L=2 is observed in the dashed magenta oval. Also, in the dashed red line oval in the top part of the figure points with dose rate values larger than 10,000-μGy h^{-1} are seen. This according to our classification in [9] is indication of precipitation bands [10].

Long-term variations of the ORB peculiarities, registered at the ISS

Fig. 3 contains two 3D L and time graphics with different maximal flux ranges as seen by the two color code bars in the right and left side of the panels. The Panel (3.1) presents the variations of the maximal observed, in the bin, relativistic electron flux data (in cm^{-2} s^{-1}) against the colour bar in the left-upper part of the figure. The bins with size of 0.02 L value units are organized in a 442 daily vertical bars. They extend between L equal to one and six against the horizontal date axes. The ISS maximal flux bins cover the whole L values range from 1 to 6 in the Southern hemisphere, while in the Northern hemisphere the flux data bins are extended only up to L= 4.7, because of the Earth magnetic field hemisphere asymmetries. This explains the borderline seen in Panel (3.1) at L=4.7 and the smaller population of bins in the L range between 4.7 and 6.

The white line curve in the panel (3.1) presents the variations of the Dst-index in nanotesla (http://wdc.kugi.kyoto-uac.jp/index.html). Well-seen is the correlation between the Dst-index and the ORB maximal flux and the equatorialward boundary [6].

The magenta circles spread at different L-values show the position of the PB in the outer belt. The PB is identified as rapid (10–40-s) dose rate enhancement from the normal (20–200 μGy h^{-1}) outer radiation belt (ORB) level and similar fast return to the same low level. Only PBs that have in the time profile dose rates larger than 10,000-μGy h^{-1}, identical to flux larger than 4000 cm^{-2} s^{-1}, for 10 or more seconds were selected. Sixteen PBs were studied. The largest selected PB was registered by the R3DR2 instruments. R3DR2 detector was behind 0.3 g cm^{-2} shielding. The dose of the PB was 464 μGy for 70 s. The later is larger than the ORB daily average dose rates for 366 days, based on 442 days measurements during the analysed period. The daily average doses inside of the ISS were measured, using the DOSTEL instrument, at an average level of 194-μGy d^{-1} [11]. This indicates that only for 70 s, the cosmonaut/astronaut, being on extra vehicular activity (EVA), where they are shielded only by their space suits, will accumulate the equivalent of about 2.5-days dose inside of the ISS.

The green-blue points seen in panel (3.1) at L-values below 2.4 are the locations of the penetrations of relativistic electrons identified in the colour bar of panel (3.1).

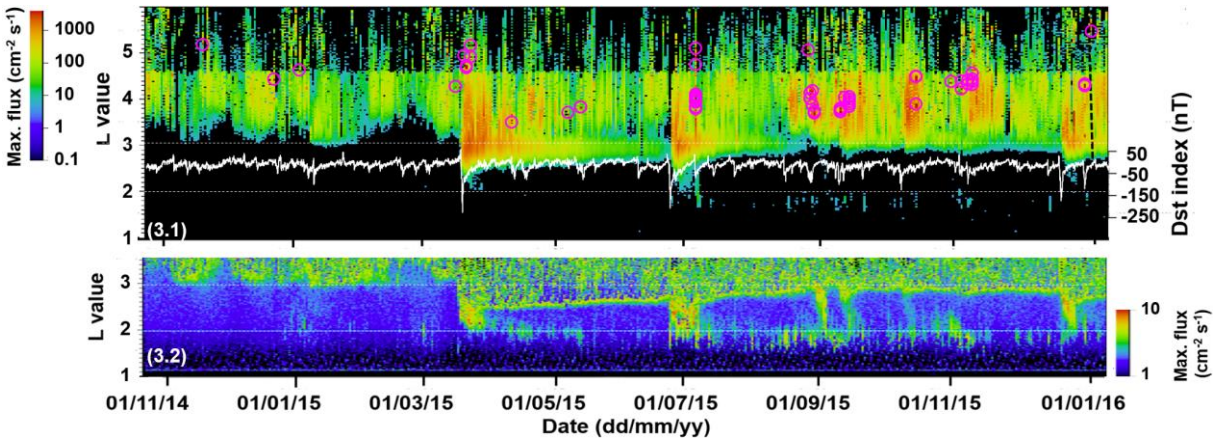


Fig. 3. The two panels are dedicated to the long-term variations in the ISS ORB features: Panel (3.1) illustrates the precipitation bands (seen with magenta circles); Panel (3.2) shows the penetration of relativistic electrons in the low L-values and the IRB.

The Panel (3.2) in the L range from 1.2 to 3.6 presents the whole dynamics of the penetrations of relativistic electrons between 24 October 2014 and 16 January 2016. The color bar on the right side of Fig. 3.2 allows much better identification.

Similarly to Claudepierre et al. [12], we recorded the first strong penetration of the relativistic electrons below L=2.5 on March 18, 2015. In the period March 18–28 2015 the lowest boundary of L=1.7 was reached. Then the relativistic electrons at low L disappeared on March 28, 2015. The storm on June 25, 2015 moved again the fluxes of the ORB relativistic electrons at L-values below two. They are well seen in the lower part of Panel (3.2). The ORB enhancement on July 4, 2015 emphasized them again but at this case the minimal L-values reached was L=1.6. Almost all disturbances in the Dst-index from July 11, 2015 until January 1, 2016 generated a new portion of relativistic electrons in the range of L-values between 1.6 and 2. They existed for few days and disappeared until the next Dst-index disturbance and magnetic substorm.

Conclusions

The main conclusion of the presented data is that the ORB enhancements, the PBs events and the penetrations of relativistic electrons at low L-values and in the IRB are common on the manned “MIR” and ISS space stations. Although the obtained doses do not pose extreme risks for the astronauts, being on EVA, they have to be considered as a permanently detected radiation source, which requires additional comprehensive investigations.

Acknowledgements

The authors thank to all Bulgarian and foreign specialists and organizations that participated in the development of the Liulin instruments; to our international partners for the financing of projects related to the creation of Liulin equipment; to the astronauts and cosmonauts aboard the manned space stations “Mir” and ISS for conducting experiments with Liulin equipment.

Data availability

The data, used in this paper, are part of the “Unified web-based database with Liulin-type instruments” that are available online, free of charge at the following URL: http://esa-pro.space.bas.bg/database.

The database contains data from nine Liulin type experiments around the Earth and Liulin-MO data in the path to Mars (2016–2017) and in Mars orbit (Since 2017) [13]. Each data point comprises up to 256 parameters, which except the measured values, listed the time and space parameters of the carrier, which characterize the data.

References:

1. Dachev, T. P., B. T. Tomov, Yu. N. Matviichuk, P. G. Dimitrov, N. G. Bankov, Relativistic Electrons High Doses at International Space Station and Foton M2/M3 Satellites, Adv. Space Res., 44, 1433–1440, 2009. http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2009.09.023
2. Dachev, T. P., Yu. N. Matviichuk, J. V. Semkova, R. T. Koleva, et al., Space radiation dosimetry with active detections for the scientific program of the second Bulgarian cosmonaut on board the Mir space station, Adv. Space Res., 9, 10, 247–251, 1989. http://dx.doi.org/10.1016/0273-1177(89)90445-6
3. Reitz, G. R. Beaujean, E. Benton, S. Burmeister, Ts. Dachev, S. Deme, M. Luszik-Bhadra, and P. Olko, Space radiation measurements on-board ISS—the DOSMAP experiment, Radiat Prot Dosimetry, 116, 374–379, 2005. http://rpd.oxfordjournals.org/cgi/content/abstract/116/1-4/374
4. Dachev, T. P., G. Horneck, D.-P. Häder, M. Lebert, P. Richter, M. Schuster, R. Demets, Time profile of cosmic radiation exposure during the EXPOSE-E mission: the R3D instrument, Journal of Astrobiology, 12, 5, 403–411, 2012. http://dx.doi.org/10.1089/ast.2011.0759
5. Dachev, T. P., G. Horneck, D.-P. Häder, M. Schuster, and M. Lebert, EXPOSE-R cosmic radiation time profile, Journal of Astrobiology, 14, 17–25, 2015. http://dx.doi.org/10.1017/S1473550414000093
6. Dachev, T. P., N. G. Bankov, B. T. Tomov, Y. N. Matviichuk, P. G. Dimitrov, D.-P. Häder, G. Horneck, Overview of the ISS radiation environment observed during the ESA EXPOSE-R2 mission in 2014–2016. Space Weather, 15, 1475–1489, 2017. https://doi.org/10.1002/2016SW001580
7. McIlwain, C.E. (1961). Coordinates for mapping the distribution of magnetically trapped particles. Journal of Geophysical Research, 66, 3681–3691. https://doi.org/10.1029/JZ066i011p03681
8. Heffner, J., 1971. Nuclear Radiation and Safety in Space. M. Atomizdat, p.115 (in Russian).
9. Dachev, T.P., Relativistic electron precipitation bands in the outside radiation environment of the international space station. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 177, pp. 247–256, 2018). https://doi.org/10.1016/j.jastp.2017.11.008
10. Blake, J.B., Looper, M.D., Baker, D.N., Nakamura, R., Klecker, B., Hovestadt, D., 1996. New high temporal and spatial resolution measurements by SAMPEX of the precipitation of relativistic electrons. Adv. Space Res. 18 (8), 171–186.
11. Reitz, G., Beaujean, R., Benton, E., Burmeister, S., Dachev, T., Deme, S., … Olko, P. 2005. Space radiation measurements on-board ISS-the DOSMAP experiment. Radiation Protection Dosimetry, 116, 374–379.
12. Claudepierre, S.G., et al., 2017. The hidden dynamics of relativistic electrons (0.7-1.5 MeV) in the inner zone and slot region. J. Geophys. Res. Space Phys. 122. https://doi.org/10.1002/2016JA023719.
13. Semkova, J., Koleva, R., Benghin, V., Krastev, K., Matviichuk, Y., Tomov, B., Maltchev, S., Dachev, T., Bankov, N., Mitrofanov, I. and Malakhov, A., 2023. Observation of the radiation environment and solar energetic particle events in Mars orbit in May 2018-June 2022. Life Sciences in Space Research. https://doi.org/10.1016/j.lssr.2023.03.006.

RESULTS FROM THE BULGARIAN-RUSSIAN PROJECT ON INVESTIGATION OF THE GEOMAGNETIC DISTURBANCES PROPAGATION TO MID-LATITUDES AND THEIR INTERPLANETARY DRIVERS IDENTIFICATION FOR THE DEVELOPMENT OF MID-LATITUDE SPACE WEATHER FORECAST

Veneta Guineva[1], Rolf Werner[1], Irina Despirak[2], Natalya Klejmenova[3], Andris Lubchich[2], P. Setsko[2], Atanas Atanassov[1], Rumiana Bojilova[4], Lyubomira Raykova[1], Dimitar Valev[1]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia
[3]Schmidt Institute of the Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[4]National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography (NIGGG) - Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria
e-mail: v_guineva@yahoo.com

Keywords: *Magnetospheric substorms, Midlatitude positive bays (MPB), Statistical studies of the substorm activity*

Abstract: *The main goal of the project is to implement a complex analysis of the spatio-temporal features of magnetospheric substorms and their effects at mid-latitudes depending on space weather conditions. For this purpose, studies of various phenomena related to the development of substorm disturbances and their propagation to mid-latitudes were carried out.*

For the first time, an original catalog of the variations of the magnetic field at midlatitudes at the Bulgarian station Panagjurishte (PAG) was created for the period 2007 - 2022. A methodology was developed and universal programs were created for processing data from European stations, obtaining maps of the spatial distribution of magnetic variations, and for calculating the midlatitude positive bay (MPB) index.

The relationships between the statistical distributions of the MPB index and widely used geomagnetic indices and solar wind parameters were established.

Analyses of events during quiet and disturbed geomagnetic conditions, during slow flows in the solar wind or high speed streams from coronal holes, were performed.

Some cases of supersubstorms have been studied in detail. The hypothesis of the development of an additional substorm current wedge during supersubstorms was confirmed. The morphological features of the polar substorms were also studied. Catalogs of supersubstorms and polar substorms for the past 20 years have been created.

Cases of occurrence of intense geomagnetically induced currents (GIC) during several strong magnetic storms were identified and analyzed.

This study was supported by the National Science Fund of Bulgaria (NSFB) (project number КП-06-Русия/15) and by the RFBR (project number 20-55-18003Болг_а).

РЕЗУЛТАТИ ОТ БЪЛГАРО-РУСКИЯ ПРОЕКТ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАЗПРОСТРАНЕНИЕТО НА ГЕОМАГНИТНИТЕ СМУЩЕНИЯ ДО СРЕДНИ ШИРИНИ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ НА ТЕХНИТЕ МЕЖДУПЛАНЕТНИ ДРАЙВЕРИ ЗА РАЗРАБОТКА НА ПРОГНОЗА НА КОСМИЧЕСКОТО ВРЕМЕ НА СРЕДНИ ШИРИНИ

Венета Гинева[1], Ролф Вернер[1], Ирина Деспирак[2], Наталия Клейменова[3], Андрис Любчич[2], Павел Сецко[2], Атанас Атанасов[1], Румяна Божилова[4], Любомира Райкова[1], Димитър Вълев[1]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]Полярен Геофизически Институт, Апатити, Русия
[3]Институт по физика на земята „О.Ю. Шмид“, Руска Академия на науките, Москва, Русия
[4]Институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките
e-mail: v_guineva@yahoo.com

Ключови думи: *магнитосферни суббури, магнитни максимуми на средни ширини (MPB), статистически изследвания на суббуревата активност*

Резюме: *Основната цел на проекта е да се проведе комплексен анализ на пространствено-времевите особености на магнитосферните суббури и проявата им на средни ширини в зависимост от условията на космическото време. За целта бяха проведени изследвания на различни явления, свързани с развитието на суббуреви смущения и разпространението им до средни ширини.*

За първи път е създаден оригинален каталог на вариациите на магнитното поле на средни географски ширини на българската станция Панагюрище (PAG) за периода 2007 - 2022 г. Разработена е методика и са създадени универсални програми за обработка на данни от европейски станции, получаване на карти на пространственото разпределение на магнитните вариации и за изчисляване на индекса на магнитните максимуми на средни ширини (MPB).

Установени са връзките между статистическите разпределения на индекса MPB и широко използваните геомагнитни индекси и параметрите на слънчевия вятър.

Извършени са анализи на събития по време на спокойни и възмутени геомагнитни условия, по време на бавни потоци в слънчевия вятър или високоскоростни потоци от коронални дупки.

Проучени са подробно някои случаи на суперсуббури. Беше потвърдена хипотезата за развитието на допълнителен суббурен токов клин по време на суперсуббури. Изследвани са и морфологичните особености на полярните суббури. Създадени са каталози на суперсуббурите и полярните суббури за последните 20 години.

Бяха идентифицирани и анализирани случаи на възникване на интензивни геомагнитно индуцирани токове (GIC) по време на няколко силни магнитни бури.

Изследването е подкрепено от ФНИБ (номер на проект КП-06-Русия/15) и от RFBR (номер на проект 20-55-18003Болг_а).

Introduction

Magnetospheric substorms are important feature of the space weather. The main magnetic disturbances in the earth's magnetosphere are caused precisely by the development of substorms. It is known that magnetic disturbances during a substorm are associated with the formation and development of jet ionospheric currents – auroral electrojets, in the east and west direction. The dynamics, intensity and location of electrojets have been studied since 1970s [e.g. 1, 2, 3]. The magnetic substorms are observed at the earth surface as sharp negative bays in the X component of the magnetic field. Although substorms are a typical phenomenon of auroral latitudes (from ~60° to ~71° geomagnetic latitude), depending on the conditions in the solar wind and the geomagnetic activity substorm disturbances can reach both very high latitudes (polar cap latitudes > 70° GMLAT) [2, 4, 5], as well as medium (~50° GMLAT) and even low latitudes (< 20° GMLAT). In contrast to the auroral latitudes, at midlatitudes magnetic substorms are observed as positive bays in the X field component, the so-called midlatitude positive bays (MPB) [e.g. 6]. At first it was assumed that the maximum in X is created by the low latitude reverse currents of the western electrojet [7], then the occurrence of maxima was explained by the outflowing field-aligned currents [8, 9]. Later it was found that the midlatitude positive bays usually observed during the expansion phase of the substorm are related to the substorm current wedge (SCW) [6, 10, 11, 12]. It was found that during substorms, the azimuthal (Y) component of the magnetic field at midlatitudes, is positive to the west of the electrojet center, and negative to the east from it. The X and Y variations at the Earth surface have been used in a number of studies of the magnetospheric substorms. For example, the MPB's are a good indicator of the substorm onset [13, 14], the sign of Y component was used to estimate whether the field aligned currents flow into the ionosphere or out of it at a given longitude [9]. A special index has been developed - the midlatitude positive bay index (MPB index) [13, 15, 16] as an indicator of substorm current wedge characteristics.

The different effects of magnetospheric substorms at midlatitudes, the determining of the interplanetary drivers of substorm midlatitude geomagnetic and ionospheric disturbances, i.e. the conditions under which auroral geomagnetic disturbances will be able to spread to middle and even to low latitudes, are actual tasks of the analysis of sun-earth connections, which need further clarification.

The project "Investigation of the geomagnetic disturbances propagation to mid-latitudes and their interplanetary drivers identification for the development of mid-latitude space weather forecast" is a bilateral project Bulgaria – Russia 2019–2020, financed by the National Science Fund (project number КП-06-Русия/15). The project was directed to one of the topical tasks of the solar-terrestrial physics: study of the midlatitude effects of the magnetospheric substorms as a key element of the space weather. Its main goalwas to investigate substorms in Europe at low, mid- and auroral latitudes and their relationships with structures in the solar wind as an element of Space weather, applying the MBP-index concept to a network of European stations.

The present work aims to report briefly the results of the work on the project. The results are grouped in three sections, following the work packages of the project: development of a catalog of the magnetic variations at the Panagjurishte station, study of midlatitude substorms, and analysis of events of extreme intensity and related phenomena.

Catalog of the magnetic variations at the Panagjurishte station

For the first time, an original catalog of magnetic field variations at the midlatitude Bulgarian magnetic station Panagjurishte (PAG) (~37° GMLat, ~97° GMLon) has been created. The catalog covers data from 2007 to the end of 2022. It is located on the website of the Institute for Space Research and Technology, BAS, and is available at: http://space.bas.bg/Catalog_MPB/. A concept was worked out for the type, structure and content of the catalog, which developed as we were getting into the swing of the work [17, 18, 19]. In the current version, the catalog consists of three main sections: Magnetic field data, Data about MPB and Catalog publications. In the section Magnetic field data the processed X and Y magnetic components and the calculated horizontal power of the magnetic field at PAG (Data Files subsection) are stored as well as their plots (Graphs subsection). The second section, Data about MPB, consists of four subsections: Fast Look Daily Graphs, Yearly Lists, MPB Parameters, and MPB Graphs. Fast Look Daily Graphs are composite plots including the IL index calculated for the IMAGE PPN-SOR and PPN-NAL station chains, X-component variations, and horizontal power of the magnetic field. The Yearly lists include data on cases where significant variations (midlatitude positive bays - MPB) are observed during substorms, verified by the IL index. The MPB parameters and MPB graphs sections present the defined main MPB parameters for the cases from the Yearly MPB lists and graphs representing the MPB maximum and the minima indicating the start and end of the MPB. The Catalog Publications section provides access to articles describing the catalog or using data from it for some research. Fig.1 illustrate the graphics, included in the Catalog.

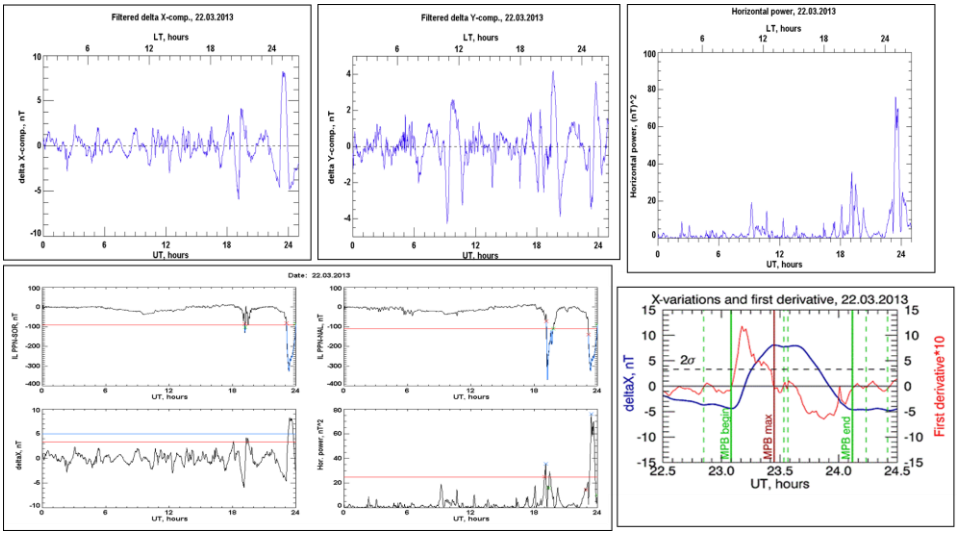


Fig. 1. Example of the graphics, included in the Catalog of magnetic variations at PAG, for 22.03.2013: upper row panels, from left to right: daily X variations, Y variations and horizontal power of the magnetic field; bottom panels: to the left – fast look daily graph, to the right – MPB and some of its parameters.

A methodology was developed and original programs were created for processing data from ground-based magnetic observations and calculating the midlatitude positive bays index (MPB index), which were used to analyze data from geomagnetic observations at more than 50 European stations at mid- and auroral latitudes, including from the Bulgarian station Panagjurishte [17-24].The processing tools to build the catalog and investigate the substorm disturbance scan be grouped in three data processing and visualization modules. The first two modules are related to building the catalog. The first module involves processing the raw magnetic field data, the second module includes processing tools to obtain the data about MPB. The third module comprises programs, related to the spatial distribution of the magnetic disturbances.

Study of midlatitude substorms

To study the spatial distribution of the magnetic field components variations during substorms, chosen cases of isolated substorms have been used. Different kinds of substorms have been examined, namely usual, expanded and polar substorms, during different interplanetary conditions: quiet or disturbed [19, 22-28]. For the studies purposes, the X and Y variations due to the substorms were computed for more than 40 stations based on the developed programs.

Basic parameters of the substorm appearance at midlatitudes can be derived from the variations distributions and the profiles. Maps of the X magnetic component in the range 38°÷73° LAT, 10°÷ 32° LON and of the Y component in the range 38° ÷ 55° LAT, -10° ÷ 35° LON and longitudinal and latitudinal profiles for the time of the maximal substorm developments at Panagjurishte (PAG) and some other moments of the substorm development have been constructed. In Fig.2 the map of the used stations and an example of the X and Y distributions at chosen times of the substorm development on 22.03.2013 are presented.

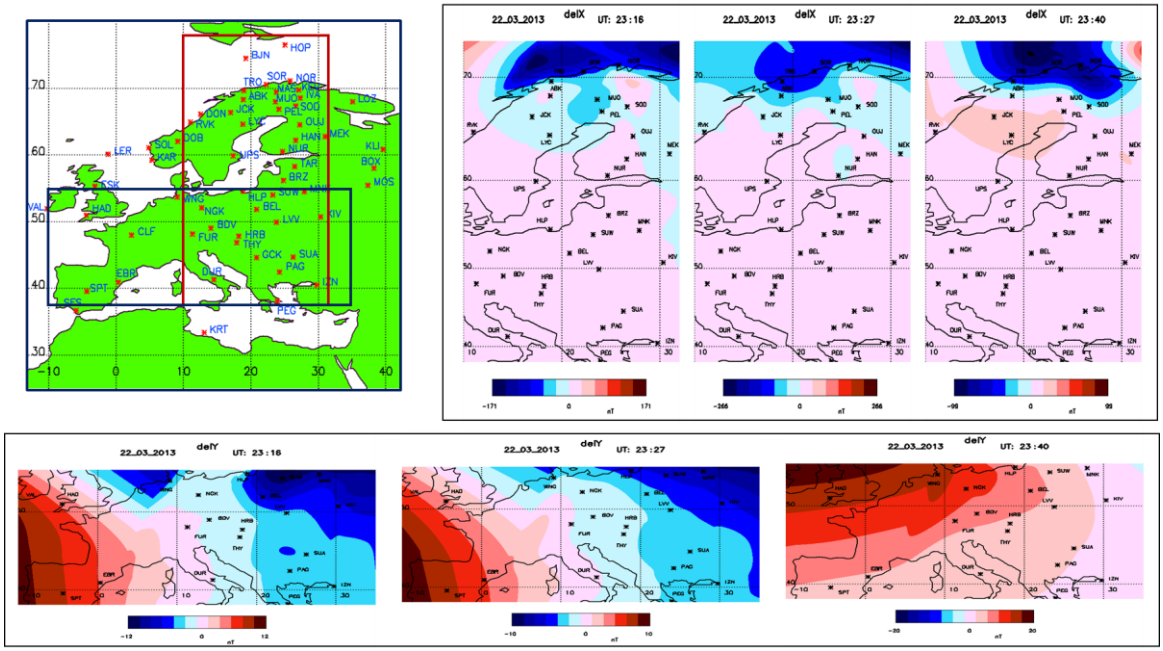


Fig. 2. Examples of maps of the X and Y distributions. Upper left panel: Stations, used to compute the distribution of the magnetic variations on the Earth surface. The rectangular frames in the figure indicate the regions for which maps of the spatial distribution of X (red line) and Y (blue line) are constructed. Upper right panel: Maps of the X magnetic variations at three typical moments during the substorm development on 22.03.2013: at 23:16 UT, 23:27 UT (maximal development), and at 23:40 UT. The sign conversion boundary is clearly seen. Bottom panel: Maps of the Y magnetic variations at the same three moments during the substorm development. The central meridian of the substorm arises in the Y-maps, close to the sign conversion in Y.

Some characteristics as the line of sign conversion latitude, the central meridian, the longitudinal and latitudinal extent of the positive bays and the latitudinal and longitudinal dependence of the variations have been estimated. The latitudinal dependence of the X variations in all examined cases is as follows: after the sign conversion latitude X increases, reaches a maximum close to it, and decreases gradually. The sign conversion latitude during expanded substorms is higher (~60-67°MLAT) than during usual substorms (~53-60°MLAT), and it is highest for polar substorms (~68-70°MLAT).

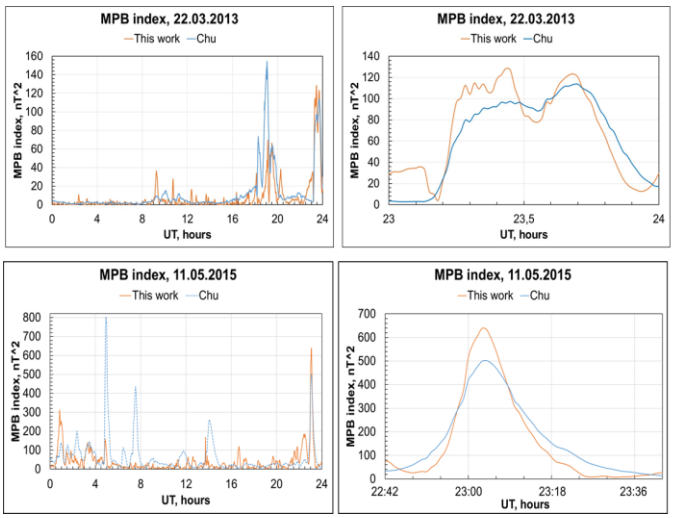
The maximal midlatitude positive bay amplitude in latitudinal direction is very small for the polar substorms, higher for the usual substorms, and greatest for the expanded substorms. The same result is obtained for the horizontal power of the magnetic field.

The obtained MPB duration for the studied substorms is the shortest for the polar substorms, it appears some longer for the usual substorms, and most continued are the expanded substorms.

The latitudinal and longitudinal extent increase up to the maximal substorm development.

At the maximal development, the longitudinal and latitudinal extent are higher for expanded substorms.

For the first time, European MPB index was introduced, which reflects the substorm appearance at European midlatitudes. The obtained results coincide very well with the results about the global MPB index for the same substorms by Chu et al. [29] (Fig.3)



Comparison of our results with the results of Chu et al. [29]

Date	Quantity	This work	Chu et al. (2015)
22.03.2013	MPB_{max1}, nT^2	128.4	97.47
	UT_{max1}	23:27	23:28
	MPB_{max2}, nT^2	123.18	113.77
	UT_{max2}	23:41	23:42
11.05.2015	MPB_{max}, nT^2	639	502
	UT_{max}	23:03	23:02

MPB_{max} – maximum of the MPB index
UT_{max} – time of the obtained maximum

Fig. 3. MPB index obtained by Chu et al. [29] and us for 22.03.2013 (upper left panel) and 11.05.2015 (bottom left panel). The middle panels display the MPB index during the substorms developed over Europe (noticeable maxima in MPB indices) in the same days. The table to the right shows some numerical results about the MPB index maxima.

Analysis of events of extreme intensity and related phenomena

Statistical studies

For the first time we statistically analyzed the substorm activity at auroral latitudes for 2007–2020 and its relationship with the magnetic disturbances at middle latitudes based on the IL index (similar to the AL index, but according to IMAGE data). INTERMAGNET, SuperMAG, and IMAGE magnetometer data have been used [30].

We selected events near the meridian of the IMAGE network, in the night sector (21-03 MLT). Two samples of events were used: (1) IL < –200 nT for at least 10 min, with an additional criterion for the presence or absence of positive bays at the Panagjurishte station in Bulgaria, and (2) isolated substorms observed on the IMAGE meridian according to the list of Ohtani and Gjerloev (2020).

The distributions of the IL index, as well as the empirical and theoretical cumulative distribution functions, are obtained, and the occurrence of extreme events is also estimated.

It is shown that, in general, the IL distributions are described well by exponential functions, and out of all events, events accompanied by midlatitude positive bays were observed in ~65% of cases while their fraction increased with increasing disturbance intensity.

Events accompanied with MPB and isolated substorms were better described by the Weibull distribution for extreme events (Fig.4a).

The intensity of the flow of events was determined: the frequency of occurrence of events with IL < –1500 nT is ~0.35 events/year (Fig. 4b).

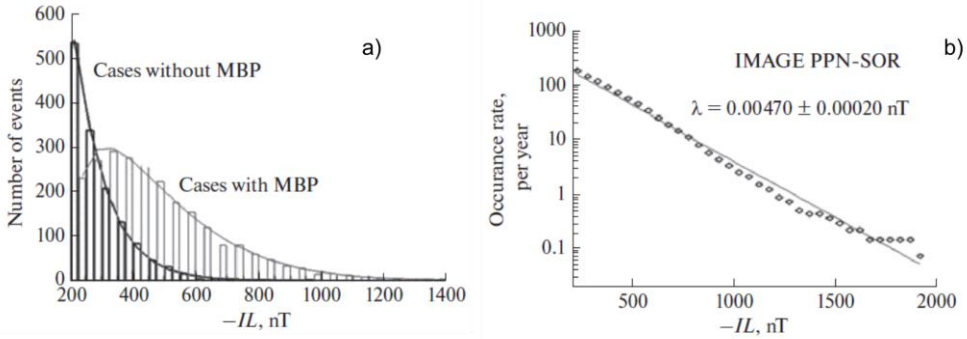


Fig. 4. IL index distribution histograms for events with a positive bay (MPB) in Panagjurishte (grey) and without a positive bay (black). The solid lines show the histograms approximation by the Weibull distribution (a). Rate of events per year for PPN-NAL. The empirical dependence is shown by circles, and the theoretical approximation is shown by a solid line. It is seen that the occurrence of extreme events with IL < –1500 nT is ~0.35 events/year (b).

From both distributions, annual and semi-annual variations were identified: annual variations have a summer minimum and a winter maximum, and semiannual variations have maxima near the equinoxes, which is most likely due to the Russell-McPherron effect.

The semi-annual variation is also shown to be more pronounced for events with accompanying midlatitude positive bays.

Statistical studies allow probability statements about the frequency of certain events.

The occurrence of magnetic substorms and their activity have been described with the help of extreme value distributions.

Statistical studies of the substorm occurrence in the following time sectors: morning (3–9 MLT), day (9–15 MLT), evening (15–21 MLT), and night (21–3 MLT) sectors for the auroral zone (PPN-SOR IMAGE chain) and for high latitudes (BJN-NAL chain) have been performed [31].

The histograms, the empirical cumulative distributions and the occurrence rates were computed. It was shown that the empirical distributions could be well approximated with exponential distributions. The distribution parameters were determined from the occurrence rates.

Three classes were discovered, which differ significantly by the respective distribution parameters.

Structural changes in the distributions were found in the morning sector at both auroral and high latitudes.

The relationship between the occurrence rate of magnetic disturbances with IL < −1000 nT and the frequency of occurrence of geomagnetic induced currents was highlighted. It was found out that in Scandinavia events (totaled across all sectors) which could induce currents (GICs) in gas pipelines stronger than 10 A do occur about seven times a year. In contrast, such events are to be expected only half as often at Svalbard.

The statistical distributions of various geomagnetic indices (MPB, SML, SYM/H, ASY/H, AL, AE and PC(N)) and solar wind parameters (BT, BX, BY, BZ, V, T, P_{dyn}) are obtained. for the period from 1991 to 2019. It was found that the MPB index, which characterizes the intensity of geomagnetic disturbances at midlatitudes, increases with an increase in the level of geomagnetic activity, as well as with an increase in the interplanetary magnetic field, the speed of the solar wind and the dynamic pressure, but to a lesser extent depends on its density and temperature [32].

Study of supersubstorms

A kind of very intensive substorm disturbances, the so called “supersubstorms”, when the index AL< -2000 nT, and their manifestation at midlatitudes have been studied. Usually supersubstorms develop during magnetic storms.

A catalog of supersubstorms recorded at the global network of ground stations over the past 20 years (1999–2019) has been compiled.

Several of the most striking events - April 5, 2005, May 28, 2011 (Fig. 5a) and December 20, 2015 have been examined in detail [33–37].

Study of the spatial-temporal dynamics of the supersubsorms was performed by means of analysis of ground-based magnetograms, instantaneous maps of magnetic field vectors constructed using data from the SuperMAG network, and maps of the global distribution of magnetic field variations and longitudinal electric currents in low Earth orbit obtained from simultaneously operating 66 ionospheric satellites of the AMPERE project.

It is shown that the peculiarity of the planetary distribution of ionospheric currents during supersubstorms is that the western and eastern electrojet develop on a global scale, surrounding the Earth from different sides.

The development of these global currents was accompanied by intense midlatitude positive bays and significant leaps in the MPB index (~ 4000–6000 nT^2).

At the same time, a significant strengthening of the eastern electrojet occurred in the evening sector (~15–18 MLT), i.e. in the same sector where the appearance of an additional ring current was observed, which confirms the hypothesis of an additional substorm current wedge arising during supersubstorms on the evening side (Fig. 5b).

Additionally, rare supersubstorm events that were recorded in non-storm conditions (SYM/H>-50 nT) were studied. It is shown that these events are also characterized by the development of ionospheric currents on a global scale and the formation of a strong eastern current in the evening sector. The interplanetary conditions for the occurrence of such non-storm supersubstorm events have been determined.

It is shown that such events were observed either at the very beginning of a storm caused by a coronal mass ejection (SHEATH or MC storm), or in the late recovery phase of a moderate magnetic storm caused by the CIR region of high-speed solar wind flow, or in the absence of a magnetic storm, but at high solar wind speeds ~600–700 s.

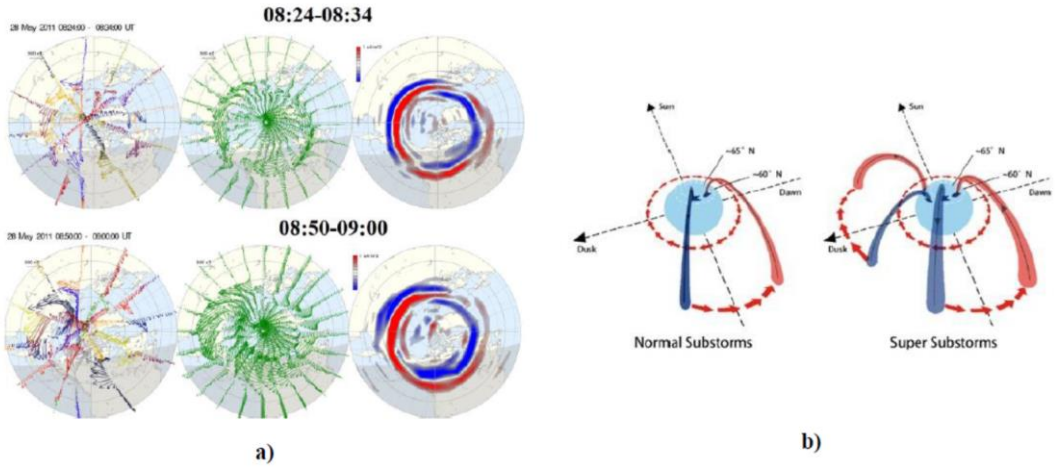


Fig. 5. Distribution of magnetic disturbance vectors, their spherical harmonic analysis and field-aligned current distribution for two moments (at ~ 08:30 UT and ~ 08:55 UT) on May 28, 2011 according to AMPERE data (a); models of substorm current wedge (SCW) for normal substorm and for supersubstorm (b).

Study of geomagnetically induced currents (GIC)

Development of of intense (>20A) geomagnetically induced currents (GIC) on a meridional profile from subauroral to high latitudes (from ~60º to ~ 69º) was traced out using two systems for recording GIC in ground networks: at substations of main electrical networks in the North-West of Russia, located in the auroral zone, and on a gas pipeline near the city of Mantsala (Finland), located in the subauroral zone.

Several cases of the appearance of intense GICs were studied in detail: during the magnetic stormsin March 2012 and 2013, and during a complex space weather event in September 2017 [38, 39]. Several moderate to very intense substorms (supersubstorms) have been recorded against the background of these magnetic storms.

Comparing data from IMAGE magnetometers, maps of equivalent currents of the MIRACLE system with data from GIC registration systems, it was possible to show that the appearance of intense GICs at different latitudes occurred in accordance with the development of the fine spatiotemporal structure of the substorm, corresponding to the poleward movement of individual substorm activations.

It has been established that the main sources of GIC growth at auroral latitudes are the intensification and poleward movement of the westward electrojet during the expansion phase of the substorm, as well as Pc5 pulsations, usually observed during the recovery phase of the substorm.

A good relationship was found between the appearance of GIC and an increase in the geomagnetic indices IL and Wp, which characterize the substorm activity.

Summary

The goal of the project was to conduct a comprehensive analysis of the spatiotemporal characteristics of magnetospheric substorms and their effects at midlatitudes depending on space weather conditions.

For the first time, an original catalog of the variations of the magnetic field at midlatitudes at the Bulgarian station Panagyurishte (PAG) was created for the period 2007–2022. Methods, algorithms and programs for processing the results of the observations were developed. The variations of the horizontal components of the magnetic field were obtained and the main characteristics of the maxima associated with substorm disturbances (midlatitude positive bays - MPB) were determined. The catalog is available on the Internet (http://space.bas.bg/Catalog_MPB/).

A methodology was developed and universal programs were created for processing data from European stations, obtaining maps of the spatial distribution of magnetic variations, and for calculating the MPB index. For the first time, a Central European MPB index has been introduced, which provides information on the development of substorms over Europe.

An analysis of several bright events during quiet and disturbed conditions in the solar wind, against the background of slow flows and high speed streams from coronal holes, was performed. Substorms observed during high-speed streams (so-called “extended” substorms observed at the latitudes of the extended oval) are shown to be accompanied by MPBs.

Distributions of simultaneous geomagnetic disturbances at the Bulgarian station Panagjurishte and on the IMAGE meridian were obtained for the first time, and it was shown that the shape of these distributions is best described by the Weibull distribution for extreme events.

The relationships between the statistical distributions of the MPB index and widely used geomagnetic indices and solar wind parameters are established.

A special type of very intense substorm disturbances, so-called "supersubstorms," has been studied in detail. The spatio-temporal dynamics of several important events are analyzed. The hypothesis of the development of an additional substorm current wedge during supersubstorms is confirmed.

The morphological features of the "polar" substorms were also studied. Catalogs of supersubstorms and polar substorms for the past 20 years have been created.

Cases of occurrence of intense geomagnetically induced currents (GIC) in transformers installed on a high-voltage power line in northwestern Russia during several strong magnetic storms were identified and analyzed. The main sources of GIC are shown to be strong magnetic disturbances in auroral latitudes and the associated midlatitude positive bays. Such studies are of great practical importance.

The created catalogs are useful for further studies of magnetospheric substorms.

The results are presented at 18 conferences with 48 presentations and 39 papers on the subject of the project have been published. Research on the project is topical and will be continued based on the results obtained.

References:

1. McPherron, R. L., C. T. Russell, M. G. Kivelson, P. J. Coleman, Jr., (1973). Substorms in space: The correlation between ground and satellite observations of the magnetic field, Radio Sci., Vol.8. No.11, pp. 1059–1076, DOI: 10.1029/RS008i011p01059.
2. Kisabeth, J. L., G. Rostoker, (1974). The expansive phase of magnetospheric substorms: 1. Development of the auroral electrojets and auroral arcs configuration during substorm, J. Geophys. Res., Vol.79, No7, pp.972–984, DOI: 10.1029/JA079i007p00972.
3. Troshichev, O. A., B. M. Kuznetsov, M. I. Pudovkin, (1974). The current systems of the magnetic substorm growth and explosive phase, Planet. Space Sci., Vol. 22, pp. 1403–1412, DOI: 10.1016/0032-0633(74)90037-3.
4. Pudovkin, M. I., O. A. Troshichev, (1972). On the types of current patterns of weak geomagnetic disturbances at the polar caps, Planet. Space Sci., Vol. 20, pp. 1773-1779, DOI: 10.1016/0032-0633(72)90197-3.
5. Despirak, I. V., A. A. Lubchich, H. K. Biernat, A. G. Yahnin, (2008). Poleward expansion of the westward electrojet depending on the solar wind and IMF parameters, Geomagn. Aeron., Vol.48, pp. 284–292, DOI: 10.1134/S001679320803002X.
6. McPherron, R. L., C. T. Russel, M. Aubry, (1973). Satellite studies of magnetospheric substorms on August 15, 1968, 9: phenomenological model for substrms, J. Geophys. Res., Vol. 78, No16, pp. 3131–3149, DOI: 10.1029/JA078i016p03131.
7. Akasofu, S.-I., S. Chapman, C.-I. Meng, (1965). The polar electrojet, J. Atmos. Terr. Phys., Vol.27, pp.1275–1305, DOI: 10.1016/0021-9169(65)90087-5.
8. Akasofu, S.-I., C.-I. Meng, (1969). A study of polar magnetic substorms, J. Geophys. Res., Vol.74, pp.293–313, DOI: 10.1029/JA074i001p00293.
9. Meng, C.-I., S.-I. Akasofu, (1969). A study of polar magnetic substorms: 2. Three-dimensional current system, J. Geophys. Res., Vol.74, pp.4035–4053, DOI: 10.1029/JA074i016p04035.
10. Sergeev, V. A., R. J. Pellinen, T. I. Pulkkinen, (1996). Steady magnetospheric convection: review of recent results, Space Sci. Rev., Vol. 75, pp. 551–604, DOI: 10.1007/BF00833344.
11. Chu, X. N., T. S. Hsu, R. L. McPherron, V. Angelopoulos, Z. Y. Pu, J. J. Weygand, K. Khurana, M. Connors, J. Kissinger, H. Zhang, O. Amm, (2014). Development and validation of inversion technique for substorm current wedge using ground magnetic field data, J. Geophys. Res. Space Phys., Vol. 119, pp.1909–1924, DOI: 10.1002/2013JA019185.
12. Kepko, L., R. L. McPherron, O. Amm, S. Apatenkov, W. Baumjohann, J. Birn, M. Lester, R. Nakamura, T.I. Pulkkinen, V. Sergeev, (2014). Substorm current wedge revisited, Space Sci. Rev., Vol.190, pp. 1–46, DOI: 10.1007/s11214-014-0124-9.
13. McPherron, R.L., X. Chu, (2017). The midlatitude positive bay and the MPB index of substorm activity, Space Sci. Rev., Vol. 206, pp. 91–122, DOI: 10.1007/s11214-016-0316-6.
14. Rostoker, G, S. Akasofu, J. Foster, R.A. Greenwald, Y. Kamide, K. Kawasaki, A.T.Y. Lui, R.L. McPherron, C.T. Russell, (1980). Magnetospheric Substorms: Definition and Signatures, J. Geophys. Res., Vol. 85(A4), pp. 1663–1668, DOI: 10.1029/JA085iA04p01663.
15. Chu, X. (2015). Configuration and generation of substorm current wedge. Los Angeles: University of California Los angeles.
16. McPherron, R. L., X. Chu, (2018). The midlatitude positive bay index and the statistics of substorm occurrence, J. Geophys. Res.: Space Physics, Vol.123, pp.2831–2850, DOI: 10.1002/2017JA024766.

17. Guineva, V., R. Werner, A. Lubchich, A. Atanassov, R. Bojilova, L. Raykova, D. Valev, I. Despirak, (2021). Development of a substorms catalog including the MPB observed at Panagjurishte station, Bulgaria, EPJ Web of Conferences, v.254, 01002, DOI: 10.1051/epjconf/202125401002, https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/pdf/2021/08/epjconf_strpep2021_01002.pdf
18. Guineva, V., R. Werner, A. Atanassov, R. Bojilova, L. Raykova, D. Valev, I. Despirak, N. Kleimenova, (2021). Construction of a catalog of the magnetic variations by data of the Bulgarian station Panagjurishte, Proceedings of the Seventeenth International Scientific conference SES2021, 20-22.10.2021, Sofia, Bulgaria, pp.39–44, http://space.bas.bg/SES/archive/SES%202021_DOKLADI/1_Space%20Physics/4_Guineva.pdf
19. Guineva, V. H., R. Werner, A. M. Atanassov, R. Ts. Bojilova, L. N. Raykova, D. T. Valev, (2023). Determination of the parameters of midlatitude positive bays caused by magnetospheric substorms, Proceedings of the Fifteenth Workshop “Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere”, Primorsko, Bulgaria, 05 - 09 June 2023, pp.47-54, DOI: 10.31401/ws.2023.proc, https://www.spaceclimate.bas.bg/ws-sozopol/pdf/Proceedings2023.pdf
20. Werner, R., V. Guineva, A. Atanassov, R. Bojilova, L. Raykova, D. Valev, A. Lubchich, I. Despirak, (2021). Calculation of the horizontal power perturbations of the Earth surface magnetic field, Proceedings of the Thirteenth Workshop “Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere”, Primorsko, Bulgaria, 13-17 September 2021, pp.159-164, DOI:10.31401/WS.2021.proc, https://www.spaceclimate.bas.bg/ws-sozopol/pdf Proceedings2021Final.pdf
21. Werner, R., V. Guineva, A. Lubchich, I. Despirak, R. Bojilova, D. Valev, A. Atanassov, L. Raykova, (2021). Determination of power perturbations of the horizontal magnetic field on the Earth surface, Proceedings of the Seventeenth International Scientific conference SES2021, 20-22.10.2021, Sofia, Bulgaria, pp.34–38, http://space.bas.bg/SES/archive/SES%202021_DOKLADI/1_Space%20Physics/3_Werner.pdf
22. Guineva, V., R. Werner, R. Bojilova, A. Atanassov, L. Raykova, D. Valev, (2023). Spatial distribution of the magnetic disturbances at European midlatitudes during substorms: case study, Proc. Sci. (PoS), https://pos.sissa.it/427/ (in S10-MG Meteorology and Geophysics, PoS(BPU11)188)
23. Guineva, V., R. Werner, R. Bojilova, A. Atanassov, L. Raykova, D. Valev, (2022). Maps of the spatial distribution of the variations in the X and Y components of the magnetic field at European midlatitudes during substorms: a case study, Proceedings of the Fourteenth Workshop “Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere”, Primorsko, Bulgaria, 06 - 10 June 2022, pp. 22–28, DOI: 10.31401/ws.2022.proc, https://www.spaceclimate.bas.bg/ws-sozopol/pdf/Proceedings2022.pdf
24. Guineva, V., R. Werner, A. Atanassov, R. Bojilova, L. Raykova, D. Valev, (2022). Assessment of some substorm parameters based on the midlatitude positive bays and the MPB index maxima, Proceedings of the Eighteenth International Scientific conference SES2022, 19-21.10.2022, Sofia, Bulgaria, pp. 33–38, http://space.bas.bg/SES/archive/SES%202022_DOKLADI/1_Space%20Physics/5_Guineva.pdf
25. Guineva, V., R. Werner, I. Despirak, R. Bojilova, L. Raykova, (2021). Mid-latitude positive bays during substorms by quiet and disturbed conditions, C. R. Acad. Bulg. Sci., Sci., v.74(8), pp.1185–1193, DOI: 10.7546/CRABS.2021.08.10, http://www.proceedings.bas.bg/index_old.html
26. Guineva, V., I. Despirak, R. Werner, R. Bojilova, L. Raykova, (2021). Mid-latitude effects of “expanded” geomagnetic substorms: a case study, EPJ Web of Conferences, v. 254, 01004, https://doi.org/10.1051/epjconf/202125401004,, https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/pdf/2021/08/ epjconf_strpep2021_01004.pdf
27. Guineva, V., I. Despirak, R. Werner, R. Bojilova, L. Raykova, (2021). Study of midlatitude positive bays during substorms over Scandinavia – a case study, Proceedings of the XLIV Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”, 15-19.03.2021, Apatity, Russia, pp.28-31, DOI: 10.51981/2588-0039.2021.44.006, http://pgia.ru/seminar/archive/
28. Guineva, V., R. Werner, A. Atanassov, R. Bojilova, L. Raykova, D. Valev, (2021). Characteristics of the midlatitude effects of different substorms, Proceedings of the Thirteenth Workshop “Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere”, Primorsko, Bulgaria, 13 - 17 September 2021, pp. 135–140, DOI: 10.31401/WS.2021.proc, https://www.spaceclimate.bas.bg/ws-sozopol/pdf/Proceedings2021Final.pdf
29. Chu, X. N., T. S. Hsu, R. L. McPherron, V. Angelopoulos, (2015). Solar cycle dependence of substorm occurrence and duration: Implications for onset, J. Geophys. Res. Space Physics, Vol.120, No4, pp.2808-2818, DOI: 10.1002/2015JA021104
30. Werner, R., V. Guineva, I.V. Despirak, A.A. Lubchich, P.V. Setsko, A. Atanassov, R. Bojilova, L. Raykova, D. Valev, (2023). Statistical studies of the auroral activity and the magnetic field variations at midlatitudes, Geomagn. Aeron., Vol..63, No4, pp.473–485, DOI: 10.1134S0016793223600303
31. Werner, R., V. Guineva, I. Despirak, A.A. Lubchich, R. Bojilova, L. Raykova, A. Atanassov, D. Valev, (2023). Statistical study of geomagnetic disturbances at European auroral and high latitudes, C. R. Acad. Bulg. Sci., Vol.76, No4, pp.571–579, DOI: 10.7546/CRABS.2023.04.09, https://www.proceedings.bas.bg/index.php/cr/article/view/295/285
32. Lubchich, A. A., I. V. Despirak, R. Werner, (2023). Intense mid-latitude magnetic disturbances and solar wind conditions, Proceedings of the Fifteenth Workshop “Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere”, Primorsko, Bulgaria, 05 - 09 June 2023, pp. 61–66, doi: 10.31401/ws.2023.proc, https://www.spaceclimate.bas.bg/ws-sozopol/pdf/Proceedings2023.pdf
33. Despirak, I. V., N. G. Kleimenova, L. I. Gromova, A. A. Lubchich, V. Guineva, and P. V. Setsko, (2022). Spatial features of a super substorm in the main phase of the magnetic storm of April 5, 2010, Bull. Russ. Acad. Sci.s: Phys., Vol.86, No3, pp. 249–255, DOI: 10.3103/S106287382203008X

34. Despirak, I. V., N. G. Kleimenova, A. A. Lyubchich, P. V. Setsko, L. I. Gromova, R. Werner, (2022). Global Development of the Supersubstorm of May 28 2011, Geomagn. Aeron., Vol.62, pp. 199–208, DOI: 10.1134/S0016793222030069
35. Despirak, I. V., N. G. Kleimenova, A. A. Lubchich, P. V. Setsko, R. Werner, (2021). Supersubstorm on 28 May 2011–geomagnetic effects in the global scale, Proceedings of the XLIV Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”, 15-19.03.2021, Apatity,Russia, pp.12–15, DOI:: 10.51981/2588-0039.2021.44.002, http://pgia.ru/seminar/archive/
36. Любчич, А. А., И. В. Дэспирак, Н. Г. Клейменова, Р. Вернер, (2021). Суперсуббуря 20 декабря 2015 года: магнитные эффекты на разных широтах, Proc. XXXXIV Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”, Apatity, 2021, pp. 36–41, DOI: 10.51981/2588-0039.2021.44.008, http://pgia.ru/seminar/archive
37. Despirak, I. V., A. A. Lubchich, N. G. Kleimenova, P. V. Setsko, R. Werner, (2022). Supersubstorm on 20 December 2015: spatial geomagnetic effects, Proceedings of the Fourteenth Workshop “Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere”, Primorsko, Bulgaria, 06 - 10 June 2022, pp. 10-15, DOI: 10.31401/ws.2022.proc, https://www.spaceclimate.bas.bg/ws-sozopol/pdf/Proceedings2022.pdf
38. Despirak, I. V., P. V. Setsko, YA.A. Sakharov, A. A. Lyubchich, V. N. Selivanov, D. Valev, (2022). Observations of geomagnetic induced currents in north western Russia: Case studies, Geomagn. Aeron., Vol.62, pp.711–723, DOI: 10.1134/S0016793222060032
39. Setsko, P. V., I. V. Despirak, Ya. A. Sakharov, A. A. Lubchich, V. A. Bilin, V. N. Selivanov, (2023). Geoinduced currents on Karelian-Kola power line and finnish gas pipeline on September 12–13, 2017, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Vol.247, 106079, DOI: 10.1016/j.jastp.2023.106079

VERIFICATION OF THE LONG-TERM STABILITY OF OZONE MEASUREMENTS WITH THE GUV 2511 INSTRUMENT IN STARA ZAGORA

Rolf Werner[1], Boyan Petkov[2], Veneta Guineva[1], Andrey Kirillov[3], Atanas Atanassov[1], Rumiana Bojilova[4], Dimitar Valev[1], Lyubomira Raykova[1]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]Institute of Polar Sciences – National Research Council, Italy
[3]Polar Geophysical Institute, Russia
[4]National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: rolwer52@yahoo.co.uk

Keywords: *Total ozone column, Measurements stability, Bias, Irradiance ratios, Linear regression*

Abstract: *After the installation of the GUV-2511 instrument in February 2015 at Stara Zagora, the instrument is operating continuously and measures the sky Solar irradiance at different wavelengths in the spectral range from 305 nm to 395 nm. In the past years the total ozone content (TOC) was determined by Stamnes look up tables (LUT), in which were modelled the ratios of irradiances for the 313 nm and 340 nm spectral bands for the Stara Zagora location as function of the zenith angle, the cloud optical depths and a mean albedo of 0.03 for different TOC, using the Tropospheric Ultraviolet and Visible (TUV) model version 4.1. developed by Madronich (1993). The instrument was calibrated versus satellite OMI-Aura ozone values by a shift of the GUV 2511 313 nm filter central wavelength to 313.7 nm. For the calibration ozone time series from 2015/2016 was used minimizing the standard ozone deviation in comparison to the OMI-AURA ozone values. The main goal of the present study is to check the long-time stability of the original calibration based on the examination of the mean biases, their ratios and the regression coefficients in two control groups. One group from 2015 to 2018 and the other one from 2019 to 2022. It was found that the absolute bias increases slightly by 1.8 DU. The increase is significant at the level of 0.05. However, the parameters of the linear regressions are not statistically different. The results let us conclude that the stability in time is acceptable.*

ПРОВЕРКА НА ДЪЛГОСРОЧНАТА СТАБИЛНОСТ НА ИЗМЕРВАНИЯТА НА ОЗОНА С УРЕДА GUV 2511 В СТАРА ЗАГОРА

Ролф Вернер[1], Боян Петков[2], Венета Гинева[1], Андрей Кирилов[3], Атанас Атанасов[1], Румяна Божилова[4], Димитър Вълев[1], Любомира Райкова[1]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]Институт за полярните науки – Национален съвет за изследвания, Италия
[3]Полярен геофизически институт, Апатити, Русия
[4]Институт по Геофизика, Геодезия и География – Българска академия на науките

Ключови думи: *Общо съдържание на озон, стабилност на измерванията, средно отместване, отношение на интензивности, линейна регресия*

Резюме: *След инсталирането на уреда GUV-2511 през февруари 2015 г. в Стара Загора уредът работи непрекъснато и измерва слънчевата радиация на небето при различни дължини на вълните в спектралния диапазон от 305 nm до 395 nm. През изминалите години общото съдържание на озон (ОСО) се определяше чрез Look up tables (LUT) на Stamnes, при които се моделираха съотношенията на интензивностите на спектралните ивици при 313 nm и 340 nm за местоположението на Стара Загора като функция на зенитния ъгъл, оптичната дълбочина на облаците и средно албедо 0.03 за различни ОСО, като се използва моделът Tropospheric Ultraviolet and Visible (TUV) версия 4.1., разработен от Madronich (1993). Инструментът е калибриран спрямо сателитните стойности на озона от OMI-AURA чрез отместване на централната дължина на вълната на филтъра GUV 2511 313 nm на 313,7 nm. За калибрирането е използван времевия ред на озона от 2015/2016 г., свеждащ до минимум стандартното отклонение на озона в сравнение със стойностите на озона на OMI-AURA. Основната цел на настоящото изследване е да се провери дългосрочната стабилност на първоначалната калибровка въз основа на изследване на средните отмествания, техните отношения и коефициентите на регресия в*

две контролни групи. Едната група обхваща периода 2015-2018 г., а другата - периода 2019-2022 г. Установено е, че абсолютното отклонение се увеличава с 1,8 DU. Увеличението е значимо на ниво от 0,05. Параметрите на линейните регресии обаче не се различават статистически. Резултатите ни позволяват да заключим, че стабилността във времето е приемлива.

Introduction

GUV type instruments were designed for measurements of the UV global sky downwelling irradiances. It consists of a cylindrical body. On its upper side, there is a light entrance window consisting of a teflon diffusor on a quartz base with a cosine characteristic. The interior of the instrument is a hollow white chamber with built-in photodiodes, one for each receiving channel in six spectral wavebands with filters centered at 305, 313, 320, 340, 380 and 395 nm. The filter in every band has a filter half width of about 10 nm. The main advantage of the GUV instrument series is that they have not moving components. This, together with stabilization of the photodiodes, filters and amplifiers to a working temperature of 50°C, guarantees long life and high stability [1]. For more details of the GUV 2511 instrument see the publication of Level et al. [2]. The GUV instrument was installed in February 2015 on the roof of the Stara Zagora observatory and measures the UV global sky irradiances continuously up to now. The main goal of this paper is to report the results about our investigation of the time stability of TOC amounts obtained by the GUV 2511 measurements.

Short description of the algorithm to calculate TOC amounts

Based on the measurements, the daily total ozone column (TOC) amount was determined using previously calculated Stamnes Look-up tables (LUT) [3]. They relate TOC to the ratios of the irradiance at 313 nm, a wavelength with significant ozone absorption, to a second irradiance at 340 nm, which is insensitive against ozone absorption in dependence of the zenith angle, the cloud optical depth for the Stara Zagora location and for a mean albedo of 0.03. The Stara Zagora GUV TOC was verified by comparison with the OMI-TOMS TOC from the AURA satellite. To obtain acceptable GUV TOC for the LUT calculation the central wavelength value of the filter at 313 nm was shifted to 313.7 nm. For the verification ozone time series from 2015/2016 was used. The TOC amount was retrieved by interpolation of the LUT's for real measured ratios of the irradiances at 313nm/340 nm. In addition, a LUT was previously calculated to obtain the actual optical depth in dependence of the irradiance at 380 nm depending on the zenith angle [4]. The obtained irradiance at 380nm was used for the determination of almost cloudless days. For more algorithm details see the papers [5,6].

Data used

To study the stability of the GUV 2511 measurements we used coincident TOC values from the OMI-TOMS of the AURA satellite. The OMI TOC values are one of the most intensive studied satellite series. The comparison of OMI data with these from references, mostly Brewer or Dobson instruments, shows typically a correlation of 0.96 to 0.98, a bias of some DU and a standard deviation of about 10 DU [7-12]. We use the OMI TOC data retrieved by an algorithm like the TOMS version 8, level 3 (OMTO3d). The data are available at https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/data/omi. They are gridded in steps of 1°x1°. The TOC OMI values for Stara Zagora are obtained by bilinear interpolation via four immediate grid neighbour points.

Method to verify the time stability

For the calibration the ozone time series observed from 2015/2016 was used. To check the stability of the GUV calibration the observations of the two TOC time series of GUV and of OMI from 2015 to 2022 have been divided in two control groups: from 2015 to 2018 and from 2019 to 2022 (see Fig.1). The true values are mostly not known. Usually, as reference values, accepted as true, TOC from ground based Brewer or Dobson instruments are used. These, in turn, are calibrated with the help of standard lamps. The reason of bias changes may be due to changes in the channel sensitivity (caused by aging of filters, inner reflective surfaces or of electronic elements). We will check the regression of the TOC of GUV 2511 against that of OMI AURA, as well.

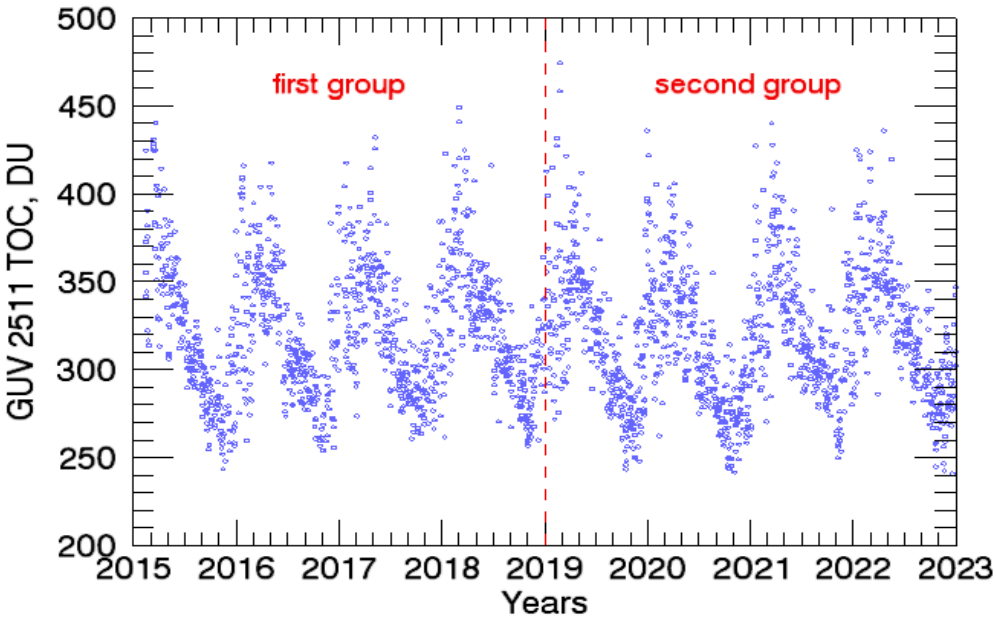


Fig. 1. The observed TOC Stara Zagora time series for the interval 2015-2022. The vertical red dashed line marks the separation line between the two control groups for the study of temporal stability.

The mean bias is defined as:

(1) $$mean\ bias = \frac{1}{n}\sum(x_i - x_i^{true}),$$

The relative mean bias in percent:

(2) $$relative\ mean\ bias = \frac{1}{n}\sum\left(\frac{x_i - x_i^{true}}{x_i^{true}}\right) * 100\%,$$

the standard (mean) bias error:

(3) $$standard\ bias\ error = \frac{1}{n}\sqrt{\sum(x_i - x_i^{true})^2},$$

and its relative value in percent:

(4) $$relative\ standard\ bias\ error = \frac{1}{n}\sqrt{\sum\left(\frac{x_i - x_i^{true}}{x_i^{true}}\right)^2} * 100\%$$

The OMI TOC show biases of only some Dobson units in different locations and at different times. Here we use the TOC OMI values as reference values. Very often, the relative deviations are given instead of relative bias:

(5) $$relative\ deviations = \left(\frac{x_i}{x_i^{true}}\right)$$

It is important that the equations for the relative biases and ratios are related to the true values.
The linear regression is used in the form

(6) $$TOC_{GUV} = \alpha + \beta * TOC_{OMI},$$

where α is the regression constant and β the slope.

Results

The upper panels in Fig. 2 show the obtained biases of the two control groups. In the bottom panels the ratios of the GUV and OMI TOC are presented which are graphically displayed in order to compare easier with graphics in the literature. The biases and ratios do not show dependence from the seasons. The mean bias of the first group is -1.6 DU, the one of the second group is -3.4 DU. Both means are significant at the significance level of 0.05 (see Table 1). The relative deviations are obtained by ratios – 1. Absolute values of biases greater than the 2-sigma level (that means values outside of the confidence band) are related mostly to conditions of high cloudiness.

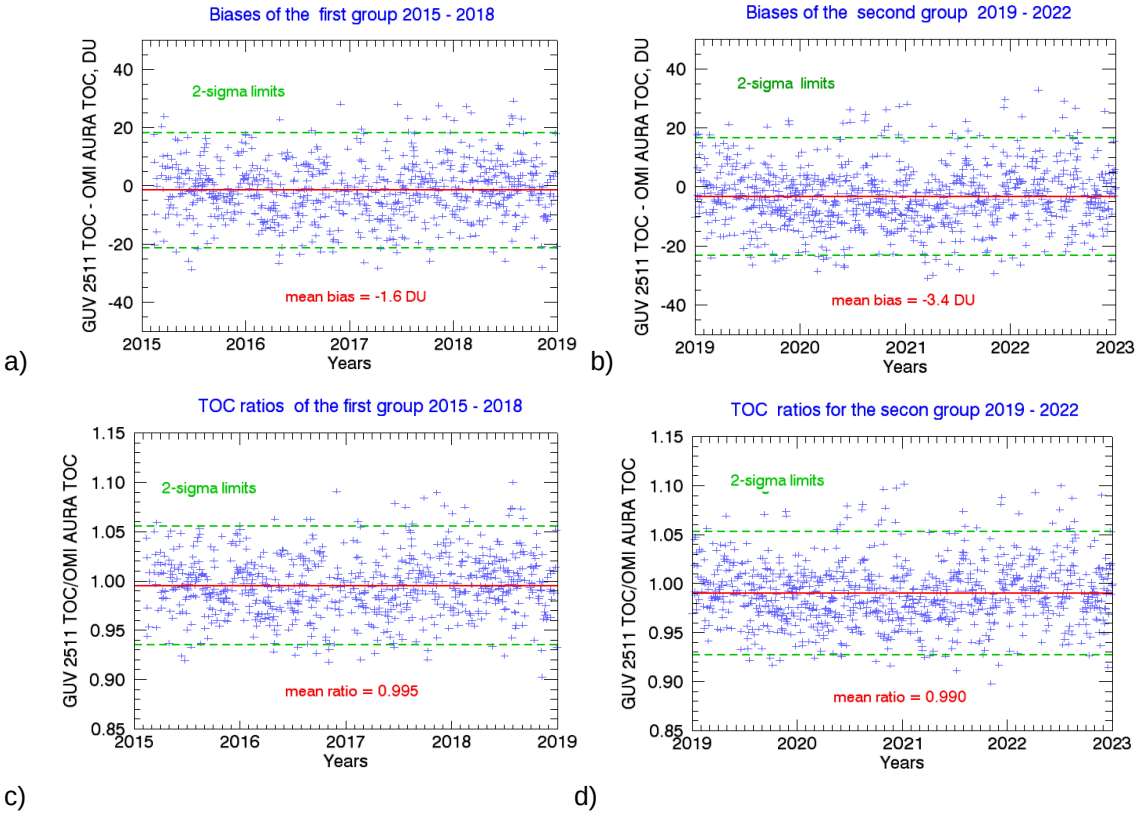


Fig. 2. a) The biases of the GUV TOC related to the OMI TOC for the first control group. b) The same as a) but for the second group. c) The ratios GUV TOC to OMO TOC fort he first control group. d) The same as c) but for the second group.

The absolute value of mean bias of the second group is by 1.8 DU greater in comparison with the one of the first group. The significance of mean bias difference can be tested using the test size

(7) $$z = (\overline{x_2} - \overline{x_1}) \Big/ \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}.$$

With $\overline{x_1} = 1.56$, $\overline{x_2} = 3.35$, $n_1 = 757, n_2 = 894$, $\sigma_1 = 9.91$, $\sigma_2 = 10.7$ we get a z value of 3.5. The quantil of the Normal distribution at the significance level of α = 0.05 is $u_{1-\alpha} = -u_\alpha = -1.64$. Because $z > u_{1-\alpha}$ the hypotheses H_0: $\overline{x_2} - \overline{x_1} \leq 0$ will be rejected and the alternative hypotheses H_1: $\overline{x_2} - \overline{x_1} > 0$ will be accepted. We found a p-value < 0.001. So the significance is very high. Statistic test can be performed for the ratios as well. The significance tests will give the same result as the one discussed for the biases. Fig. 3 displays the GUV TOC values versus the TOC values from OMI for the two control groups and additionally for the pooled data. The TOC values for cloudless days are marked by red symbols and show a much narrow prognosis interval with a standard deviation of 6.2 DU (not shown here). It is seen in Tab.1 the regression constants α of the two groups don't differ statistically. (Their 2-sigma errors are greater than the constants themselves.) The slope differences are of the same order than their double standard deviations. Furthermore, it can be stated that their prognosis bands (their 2-sigma limits are drawn by dashed green lines) almost completely overlap.

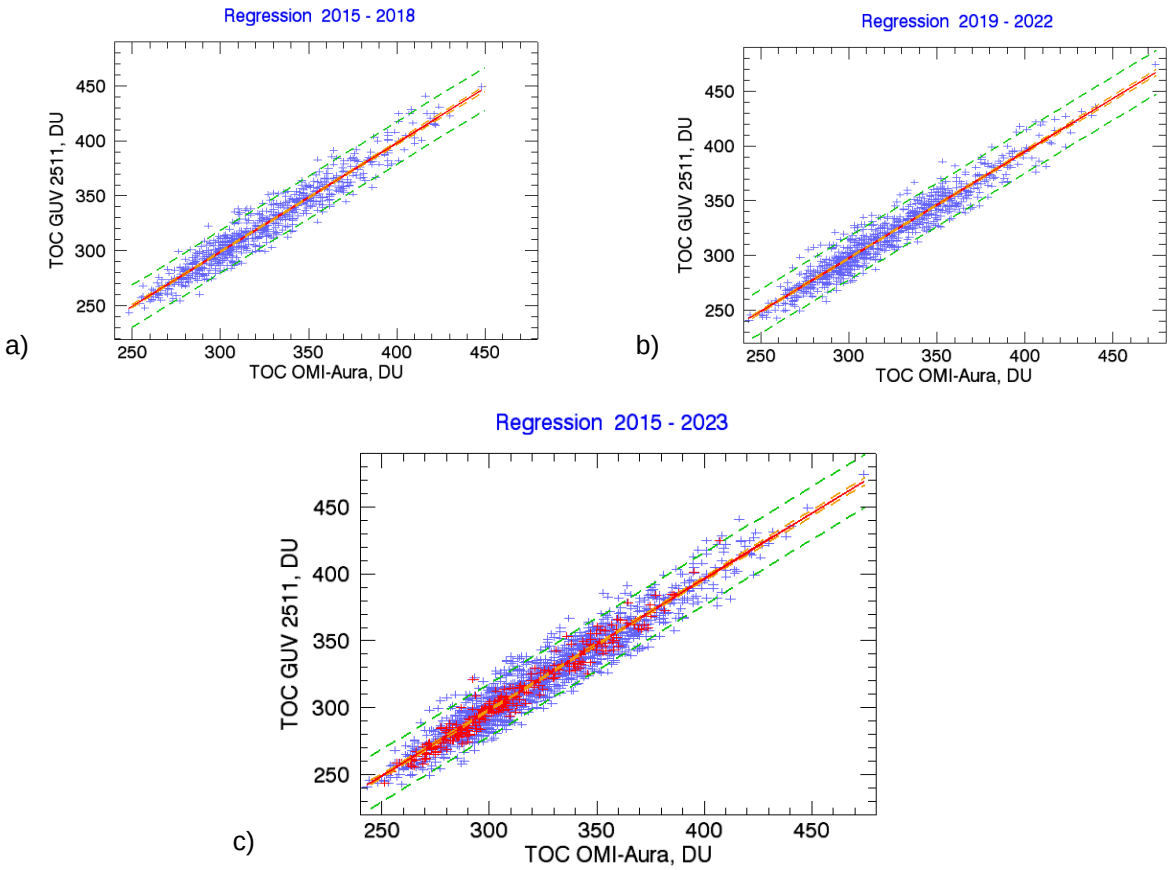


Fig. 3. a) Scatterplot of the TOC GUV versus TOC OMI for the first control group. b) The same as a) but for the second group and c) the same as a) but for the pooled data. In all plots the dashed green lines presented the limits of the prognosis interval at a confidence of p=0.95. By red symbols measurements of TOC GUV under almost cloudless conditions are presented. The dashed yellow lines presented the confidence interval for the expected value of TOC GUV for a certain value of TOC OMI for p=0.95.

Tab. 1. Results of the stability study, related to the bias, TOC ratios and regression equations of the data of the first and second control group and of the pooled data.

		First group 2015-2018	Second group 2019-2022	Pooled data 2015-2022
Bias	**mean bias**	**-1.56 DU**	**-3.34 DU**	**-2.53 DU**
	1-sigma	0.36 DU	0.36 DU	**0.38 DU**
	stddev.	**9.9 DU**	**10.7 DU**	**10.3 DU**
Ratio	**Mean ratio**	**0.9952**	**0.9900**	**0.9923**
	1-sigma	0.0011	0.0011	0.0007
	stddev.	**0.030**	**0.032**	**0.031**
Regr.	**const. -**	**1.2 DU**	**5.5 DU**	**3.5 DU**
	1-sigma$_\alpha$	3.3 DU	3.0 DU	2.2 DU
	slope	**0.9914**	**0.9724**	**0.9814**
	1sigma$_\beta$	0.0093	0.0093	0.0068
	stddev.	**9.8 DU**	**10.1 DU**	**10.0 DU**
	R	**0.9639**	**0.96182**	**0.9624**

So it is evident that data from the first and the second group are members of one and the same statistical population. (Here we did not adopt stability test of the regression equations, because the data samples are very large.) The parameters resulting of our study are summarized in Table 1.

Summary and conclusion

The results of the study of the bias and ratio on one hand and the regression results of the other hand let us conclude that the stability in time is acceptable. The standard deviations obtained by the regression are of order of 10 DU, the biases are some Dobson units and the standard deviations of TOC ratios are about 0.06. All parameters are in good agreement with observations of other authors (see e.g. Svendby et al. [13]). The absolute bias value of the observed GUV TOC increases slightly during the successive intervals of 4 years - by 1.8 DU corresponding to 0.5%, using the OMI-AURA TOC as reference. The increase is significant at the level of 0.05. However, the parameters of the linear regressions of both time series are not statistically different.

References:

1. GUV Data Processing and Quality Control Procedures, Biospherical Instruments Inc., version of 04/13/99.
2. Levelt, P. F., G. H. J. van den Oord, M.R. Dobber, A. Mälkki, H. Visser, J. de Vries, P. Stammes, J, O. V. Lundell, H. Saari, Ozone Monitoring Instrument, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 44, NO. 5, MAY 2000.
3. Stamnes, K., J. Slusser, M. Bowen, Derivation of total ozone abundances and cloud effects from spectral irradiance measurements, Appl. Optics, 30(30), 4418–4426, 1991.
4. Werner. R., B. Petkov , D. Valev , A. Atanassov , V. Guineva , A.S. Kirillov, Determination of the total ozone column with consideration of the cloud optical depth, “Physics of Auroral Phenomena”, Proc. XLI Annual Seminar, Apatity, pp. 172–174, 2018.
5. Werner R., B. Petkov, D. Valev, A. Atanassov, V. Guineva, A. Kirillov, Ozone Determination by GUV 2511 Ultraviolet Irradiation at Stara Zagora, Sun and Geosphere, Vol.12, No.2, 2017. http://www.sungeosphere.org
6. Werner, R., B. Petkov, D. Valev, At. Atanassov, V. Guineva, A. Kirillov, Ozone Determination by GUV 2511 Ultraviolet Irradiation Measurements at Stara Zagora, Proceedings of Eigth Workshop “Solar Influence on Magnetosphere, Ionosphere and Atmsophere”, Sunny Beach, Bulgaria, May 30 – June 3, pp 101–111, 2016.
7. Balis, D., M. Kroon, M. E. Koukouli, E. J. Brinksma, G. Labow, J. P. Veefkind, R. D. McPeters, Validation of Ozone Monitoring Instrument total ozone column measurements using Brewer and Dobson spectrophotometer ground-based observations, J. Geophys. Res., 112, D24S46, 2007. doi:10.1029/2007JD008796.
8. Bogeat, J. A., A. A. Piedehierro, A. Serrano, M. L. Cancillo, M. A. Obregón, 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.
9. Kazadzis, S., A. Bais, A. Arola, N. Krotkov, N. Kouremeti, C. Meleti, Ozone Monitoring Instrument spectral UV irradiance products: comparison with ground based measurements at an urban environment Atmos. Chem. Phys., 9, 585–594, 2009.
10. Ialongo, I., G. R. Casale, 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.
11. Eleftheratos, K. D. Kouklaki, Chr. Zerefos, Sixteen Years of Measurements of Ozone over Athens, Greece with a Brewer Spectrophotometer, Oxygen, 1, 32–45, 2021. https://doi.org/10.3390/ oxygen1010005
12. Diémoza, H. L. Eglic, J. Gröbner, A. M. Siani, F.Diotria, Solar Ultraviolet Irradiance Measurements in Aosta (Italy): an Analysis of Short- and Middle-Term Spectral Variability, AIP Conf. Proc. 1531, 856, 2013. doi: 10.1063/1.4804905
13. Svendby, T. M., B. Johnsen, A. Kylling, A. Dahlback, G. H. Bernhard, G. H. Hansen, B. Petkov, V. Vitale, GUV long-term measurements of total ozone column and effective cloud transmittance at three Norwegian sites, Atmos. Chem. Phys., 21, 7881–7899, 2021.

.

NEW BULGARIAN-AUSTRIAN PROJECT 'JOINT OBSERVATIONS AND INVESTIGATIONS OF SOLAR CHROMOSPHERIC AND CORONAL ACTIVITY'

Rositsa Miteva[1], Werner Pötzi[2], Astrid Veronig[2], Kamen Kozarev[1], Momchil Dechev[1], Robert Jarolim[2], Mohamed Nedal[1], Nikola Petrov[1], Stefan Purkhard[2], Christoph Schirninger[2], Tsvetan Tsvetkov[1], Yovelina Zinkova[1]

[1]Institute of Astronomy with National Astronomical Observatory – Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria
[2]Institute of Physics and Kanzelhöhe Observatory for Solar and Environmental Research, University of Graz, Austria
e-mail: rmiteva@nao-rozhen.org

Keywords: *Solar physics, space weather*

Abstract: *We present the bilateral collaboration between Bulgarian and Austrian solar and space weather researchers on the topic of chromospheric and coronal activity. This new project will focus, on one hand, on the technical setup and calibration of the new Rozhen chromospheric telescope at the National Astronomical Observatory (NAO) by means of establishing optimal observational programs for different quiet-Sun and activity phenomena, automating the data collection and storage, implementing machine/deep learning models for feature recognition. The second aim is to carry out joint scientific analyses of solar phenomena using observations from ground-based instruments in both countries, and supplementary spacecraft data. The successful implementation of solar monitoring at NAO-Rozhen will facilitate the overall visibility of the Bulgarian instrument and generate interest towards astronomy and solar physics not only for PhD students and young scientists but also for the general public.*

НОВ БЪЛГАРО-АВСТРИЙСКИ ПРОЕКТ "СЪВМЕСТНИ НАБЛЮДЕНИЯ И ИЗСЛЕДВАНИЯ НА СЛЪНЧЕВАТА ХРОМОСФЕРА И КОРОНАЛНА АКТИВНОСТ"

Росица Митева[1], Вернер Пьотци[2], Астрид Верониг[2], Камен Козарев[1], Момчил Дечев[1], Роберт Яролим[2], Мохамед Недал[1], Никола Петров[1], Щефан Пуркхард[2], Кристоф Ширнингер[2], Цветан Цветков[1], Йовелина Зинкова[1]

[1]Институт по астрономия с Национална астрономическа обсерватория – Българска академия на науките, София, България
[2]Институт по физика с Kanzelhöhe обсерватория, Университет Грац, Австрия
e-mail: rmiteva@nao-rozhen.org

Ключови думи: *Слънчева физика, космическо време*

Резюме: *Представяме двустранното сътрудничество между български и австрийски изследователи на тема хромосферна и коронална активност. От една страна, този нов проект ще се фокусира върху техническото оборудване и калибровка на новия хромосферен телескоп в Националната астрономическа обсерватория (НАО) - Рожен, по-конкретно чрез установяване на оптимални наблюдателни програми за различни събития на спокойното и активно Слънце, автоматизиране на събирането и съхранението на наблюдателните данни, прилагане на модели за машинно обучение при разпознаването на различни характеристики. Втората цел е да се извърши съвместен научен анализ на слънчеви събития чрез наблюдения от наземни инструменти в двете страни, придружено със спътникови данни. Успешното изграждане на програма за слънчеви наблюдения в НАО-Рожен ще подпомогне цялостната видимост на българския телескоп и ще стимулира интерес към астрономията и слънчевата физика не само от докторанти и млади учени, но и от широката публика.*

Introduction

We present a bilateral project on the topic of solar and space weather research, supported by the Bulgarian National Science Foundation (BNSF, https://bnsf.bg/) and Austria's Agency for Education and Internationalisation (OeAD, https://oead.at/en/) as part of the Austria-Bulgaria scientific and technological cooperation under a competition procedure that took place in 2022. Science teams from the Institute of Astronomy with NAO - BAS (IANAO) in Bulgaria and the Institute of Physics with Kanzelhöhe observatory for solar and environmental research (KSO), University of Graz in Austria will take part in the project which focuses on ground-based observations of the low corona (chromosphere) complemented with coronal data provided by satellites.

A variety of instruments are used to monitor the Sun, both ground-based (in white light, H-alpha (Hα, 6563 Å) and radio wavelengths) and satellite ((extreme) ultraviolet (E)UV), soft X-rays (SXRs), hard X-rays (HXRs), and gamma-rays). Multiwavelength observations have proven to be the norm for operational and scientific investigation of solar activity. The tasks planned under this joint collaboration include research of quiet (sunspots, quescent filaments, spicules) and eruptive processes on the Sun: solar flares, eruptive filaments, coronal mass ejections (CMEs), in situ solar energetic particles (SEPs), based on their chromospheric and coronal signatures. Ground-based imaging of the Sun is complementary to space-bourne monitoring of solar activity. Its main advantages in the era of space-borne instruments are the relatively low cost of implementation and the ability to access the received data immediately with local computer facilities. Furthermore chromospheric observations are normally not part of space based missions, as they focus mainly on wavelengths that are not observable from ground.

Aims

The goals of the proposed project are two-fold:

1. To set up the Rozhen Chromospheric Telescope (RCT), e.g., Petrov (2021), and develop standardized solar observing methodology and products, complementary to the Kanzelhohe Patrol Instrument (KPI), e.g. Pötzi et. al. (2020), by means of strong technical cooperation between the team members. The experience of the Austrian team in solar monitoring and analysis will be invaluable for the timely and successful initiation of the solar observations in Bulgaria (NAO-Rozhen, Fig. 1 left). Training and know-how exchange will be carried out during the entire duration of the project. The new observational data products in NAO-Rozhen will be organized in a complementary way to those in KSO (Fig. 1, right), which will complement and facilitate the combined use of the data products from both observatories. Testing and joint observational campaigns are also planned during the project, in order to provide a proof-of-concept for the selected monitoring programs or optimize them if needed.
2. To carry out combined solar observations with the two instrument suites and external (freely available space-based) resources, in order to study chromospheric signatures of quiet Sun and pre-eruptive active regions (ARs) and multi-wavelength manifestation of solar eruptive phenomena, their morphology and kinematics. These will include studies of the chromospheric magnetic network, solar spicules, the pre-eruptive configurations and dynamics of AR magnetic fields.

To achieve the scientific goal of the proposed project, we will use remote solar observations with high spatial and temporal resolution to characterize the early stages of coronal eruption events in a systematic way by studying the pre-eruptive behavior of filaments and flares during the energy build-up phase, the kinematics and morphology of CMEs and compressive shock waves, and the signatures of high energy non-thermal particles in both remote and in situ observations.

Project structure and timeline

The project is organized under 3 work packages (WPs) consisting of different tasks (Ts):

WP1: Technical support of NAO-Rozhen Chromosphere Telescope and observation campaigns with KSO facilities

- T1.1: Telescope installation

This task comprises the technical and mechanical part of the project. In order to obtain observations of sufficient quality the new 30cm reflector telescope has to be installed and tested.

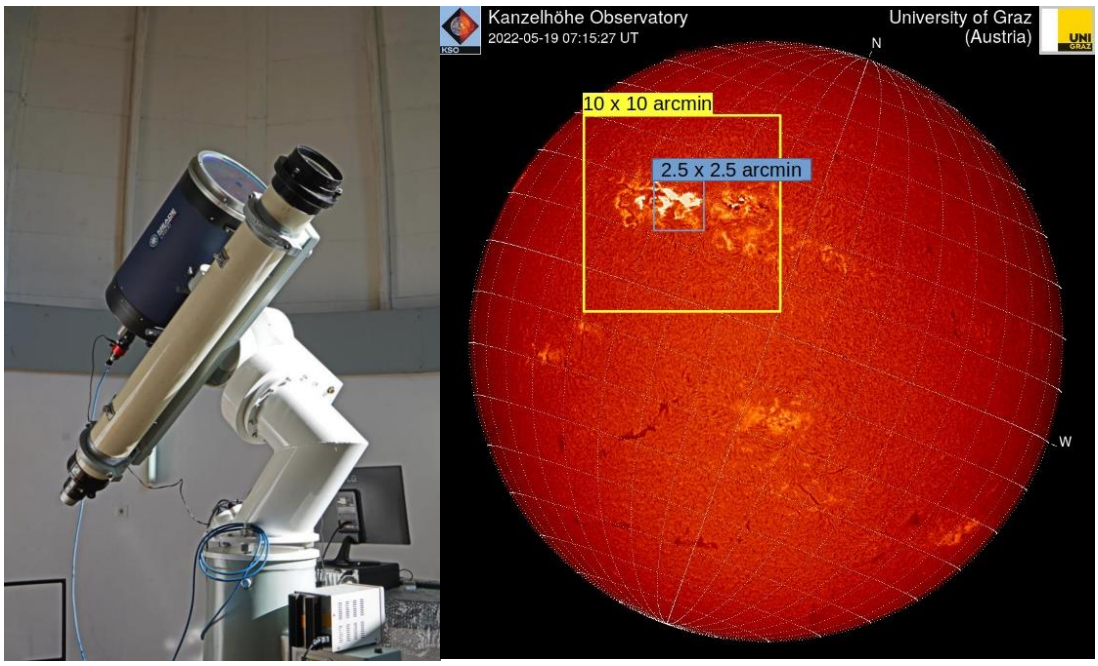


Fig. 1. Left: The 30-cm chromospheric telescope, installed in the solar tower in the National Astronomical Observatory-Rozhen, Bulgaria. Right: A solar observation snapshot made with the Kanzelhöhe Patrol Instrument's Hα telescope showing the full solar disk together with the two fields of view provided by the new Rozhen Chromospheric Telescope, both overlaid on an active region.

- T1.2: Data processing

This task contains the software part of the telescope operation and the data processing. The main goal is the development and documentation of observation modes, data and metadata formats and products, their subsequent (automated) inspection, qualification and storage for the case of NAO-Rozhen solar observations. Databases or catalogs are planned to be developed.

- T1.3: Observation Campaign

This task outlines the observational part of both observatories NAO-Rozhen and KSO. In order to profit from both, the full disk observations at KSO and the high resolution observations at NAO-Rozhen, campaign observations are planned.

- T1.4: Image enhancement

During this task we will develop and apply deep learning algorithms that make use of the short-exposure high frame rate observations (>4/sec) that both KSO and RCT systems can achieve, in order to reconstruct enhanced images from the multi-frame data, with a cadence of a few seconds. The method will be based on the Image-to-Image translation algorithm recently developed by the Graz group (Jarolim et al. 2023).

WP2 - Joint investigations of solar chromospheric and coronal activity

- T2.1: Chromospheric Signatures of Quiet Sun and Pre-Eruptive Configurations

The preliminary plan is to perform observations and data analyses of the morphology, dynamics and evolution of pre-flare activity; dynamics of spicules in polar and equatorial zones; sunspot morphology and evolution.

- T2.2: Multi-wavelength study of solar activity phenomena, their morphology and kinematics

This task includes 3 different types of data analyses:
(1) Single event studies - data analyses of case studies of solar flares and filaments using both ground-based and space-based observations, in particular from NASA's Solar Dynamics Observatory and ESA's Solar Orbiter mission. The team members will investigate the energy release and particle acceleration in solar flares, with propagation either towards the Sun as diagnosed in HXRs (e.g. by Solar Orbiter), or escaping the Sun and observed with radio images and spectra (e.g., Low Frequency Array - LOFAR), as well as measured in-situ as SEPs at various locations in the heliosphere.
(2) Analyses of KSO archive data (e.g., sunspots, filaments) available at KSO will also be explored in terms of occurrences, overall properties, association with other solar activity phenomena.
(3) Other statistical studies, e.g., the analyses on white-light (WL) flares, which are an enhancement of the visible continuum in a solar flare, and are mainly associated with large flares, will also be investigated. The emission mechanism of WL flares has not been well understood yet. Some studies have suggested that their origin is accelerated non-thermal electrons and that a relatively strong

magnetic field exists in the acceleration site (e.g. Watanabe et al., 2017). During the project we will perform literature review of all reported WL flares starting with the time period of the last solar cycle 24. We will collect and analyze data from available ground-based and satellite databases in order to compile a catalog and perform a statistical study of the observed WL flares.

WP3: Dissemination of the project results

- T3.1: Project web-site

In this task, the recently created web-site (https://astro.bas.bg/project-sun/), will be populated with general information, description of activities and results from the project. The maintenance of the web-site will be supported in the future by IANAO.

- T3.2: Scientific dissemination

This task will keep track of all team members' participation in solar/space weather-related conferences, University seminars and other scientific events. Copies and links to the materials will be freely provided via the project web-site.

The project started in mid-August 2023 with a total duration of 2 years. In WP1, T1.1 and T1.2 are scheduled to take part during the first year, whereas T1.3 and T1.4 - during the second year. The activities in the remaining WPs are expected to be carried out during the entire duration of the project.

Expected impact

The proposed work is important and timely, as it will contribute significantly to advancing the research on the topic of early-stage solar eruption evolution and energetic particle acceleration. By making the needed connection between the observational parameters of the onset of eruptive filaments and flux ropes, EUV waves/shocks, and SEP acceleration efficiency, the proposed work will enhance our understanding of arguably the most important and consequential stages of solar eruption, which have not been studied in such detail in multi-wavelength analyses previously. This work will be relevant and necessary for interpreting observations from the ongoing NASA and ESA space missions PSP and Solar Orbiter, respectively, that study solar corona and solar wind activities with unprecedented details. Identification of remotely observable coronal eruption parameters that control early particle acceleration will allow us in future work to develop predictive tools that will improve the current state of solar event forecasting. In addition, the project will produce analyzed event samples, which may be used as catalogs in upcoming studies of solar eruptions, and may serve to identify additional predictive parameters of these eruptions in the future.

Furthermore, the joint efforts between the project team members will aid the successful establishment of solar monitoring at NAO-Rozhen and facilitate the overall visibility of the new instrument and the solar group at IANAO. The optical solar observations will also serve as a focal point for the multi-instrument research center for the Sun and space weather planned in IANAO, consisting of a suite of additional instruments: radio antennas (the planned LOFAR station, https://lofar.bg/), neutron detector (https://helio.astro.bas.bg/) and a number of atmospheric monitoring devices.

Acknowledgements

The activities under this bilateral cooperation are supported by the Bulgarian National Science Foundation project No. KP-06-Austria/5 (14-08-2023) and Austria's Agency for Education and Internationalisation (OeAD) project No. BG 04/2023.

References:

1. Petrov (2021), Sun and Solar Activity: Opportunities for Observations and Development, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 100, pp. 137–144.
2. Pötzi *et al.* (2021), Kanzelhöhe Observatory: Instruments, Data Processing and Data Products. *Sol. Phys.* 296, 164 https://doi.org/10.1007/s11207-021-01903-4
3. Jarolim *et al.* (2023) Probing the solar coronal magnetic field with physics-informed neural networks. *Nat. Astron.* https://doi.org/10.1038/s41550-023-02030-9
4. Watanabe *et al.* (2017), Characteristics that Produce White-light Enhancements in Solar Flares Observed by Hinode/SOT, *ApJ* 850, 204 https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa9659

COMPARATIVE STUDY BETWEEN LOW AND HIGH ENERGY SOHO/ERNE PROTONS IN SOLAR CYCLE 23

Rositsa Miteva[1], Susan W. Samwel[2], Momchil Dechev[1]

[1]Institute of Astronomy with National Astronomical Observatory – Bulgarian Academy of Sciences
[2]National Research Institute of Astronomy and Geophysics – Helwan, Egypt
e-mail: rmiteva@nao-rozhen.org

Keywords: *Solar energetic protons (SEPs), solar flares (SFs), coronal mass ejections (CMEs), solar cycle (SC)*

Abstract: *We present a comparison between low and high energy solar energetic protons (SEPs) as observed by the SOHO/ERNE high energy detector in solar cycle (SC) 23. Observed and corrected peak proton intensities are used in the analyses. The linear correlations are calculated between the proton intensity and the soft X-ray class of solar flares (SFs) on one side and the projected speed of coronal mass ejections (CMEs), on another. The energy trends of these correlations are compared with previous reports.*

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ МЕЖДУ НИСКО И ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИ ЧАСТИЦИ ОТ SOHO/ERNE ПО ВРЕМЕ НА СЛЪНЧЕВ ЦИКЪЛ 23

Росица Митева[1], Сюзан В. Самуел[2], Момчил Дечев[1]

[1]Институт по астрономия с Национална астрономическа обсерватория – Българска академия на науките
[2]National Research Institute of Astronomy and Geophysics – Хелуан, Египет
e-mail: rmiteva@nao-rozhen.org

Ключови думи: *Слънчеви енергетични протони, слънчеви избухвания, коронални изхвърляния на маса, слънчев цикъл*

Резюме: *Представяме сравнителен анализ между ниско и високоенергетични слънчеви протони, наблюдавани от високоенергетичния детектор на спътника SOHO/ERNE по време на слънчев цикъл 23. Директно наблюдавани и коригирани стойности на максимума на протонните интензитети са използвани в този анализ. Пресметнати са линейните корелации между протонния интензитет и от една страна, класа на слънчевите избухвания, или скоростта на короналните изхвърляния на маса, от друга. Стойностите на тези корелации като функция на протонните енергии са сравнени с предишни резултати.*

Introduction

Solar energetic protons (SEPs) are in situ observed fluxes of protons with energies ranging from MeVs up to GeVs (Desai and Giacalone, 2016). Numerous satellites (usually at L1, e.g. SOHO https://soho.nascom.nasa.gov/, geostationary orbits, e.g., GOES https://www.goes.noaa.gov/, and recently also closer to the Sun, e.g. PSP, http://parkersolarprobe.jhuapl.edu/, and Solar Orbiter, https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Solar_Orbiter/) detect fluxes of electrons, protons and heavy ions continuously outflowing from the Sun.

SEPs can have numerous negative effects on technology, such as direct impact on the surface materials, electronics, optical systems, leading to discharges, ionization effects, software errors (e.g., Miteva et al. (2023) and the references therein). Another important aspect of the SEPs and their galactic counterparts is the risk of high radiation doses they may cause to astronauts. Based on data received from instruments aboard the ExoMars mission, Semkova et al. (2018) estimated that “During a cruise

to Mars and back in declining solar activity the astronauts will accumulate at least 60% of the total career dose." Thus, the improved understanding on the SEP acceleration, transport and effects is crucial for their successful forecasting under the framework of space weather research (see e.g., https://spreadfast.astro.bas.bg/).

The debate on the solar origin: solar flares (SFs), Fletcher et al. (2011), vs. coronal mass ejections (CMEs), Webb and Howard (2012), either as the sole or the dominant particle accelerator seems to have reached a consensus, as nowadays both eruptive phenomena are recognized to be able to contribute to the particle fluxes (Trottet et al., 2015; Klein and Dalla, 2017).

In this report, we use proton data from the ERNE instrument aboard SOHO, Torsti et al. (1995) during solar cycle (SC) 23, namely in the period 1996–2009. Data only from the high energy detector (HED) will be considered. Similar data was used in our previous works on the topic, Miteva et al. (2018) and Miteva et al. (2020). The novelty in this report is the comparison of the Pearson correlation coefficients between the SEP peak intensities, both directly detected by the instrument and as corrected values with, on one side, the SF class, or with the projected CME speed, on another. For the correction of the SOHO/ERNE fluxes we will use the results reported in Miteva et al. (2020) and described in detail below. We focus on SC23, since we can directly compare our results with those reported by Dierckxsens et al. (2015). The latter is the only available report on the statistical preference between SFs and high-energy SEPs, and between CMEs and low-energy SEPs, based on GOES data. We examine these trends using an independent data source, namely SOHO/ERNE, within the same time period of SC23.

Data and methodology

The energy ranges (or channels) and their average value (in MeV) given in parenthesis of the HED instrument (https://export.srl.utu.fi/export_data_description.txt) are as follows:

- HED1: 13.8-16.9 (15.4)
- HED2: 16.9-22.4 (18.9)
- HED3: 20.8-28.0 (23.3)
- HED4: 25.9-32.2 (29.1)
- HED5: 32.2-40.5 (36.4)
- HED6: 40.5-53.5 (45.6)
- HED7: 50.8-67.3 (57.4)
- HED8: 63.8-80.2 (72.0)
- HED9: 80.2-101 (90.5)
- HED10: 101-131 (108)

For the purpose of this report, we use the lowest, HED1, as well as the highest energy channel, HED10, in both observed and corrected fluxes.

We use the results from our previous work, Miteva et al. (2020), on the correction of SOHO/ERNE peak proton intensities (denoted as Jp,l,corr and Jp,h,corr) using the Wind/EPACT proton fluxes as calibration. We have no Wind/EPACT channels at ~15 MeV or at ~108 MeV for which to perform the cross-correlation procedure. Thus, after performing several tests we decided to increase only the limit at the low energy Wind/EPACT flux for which we apply the correction, namely:

- when the Wind/EPACT low energy flux >= 8 DPFU:

Jp,l,corr (ERNE) = -0.32+0.89*Jp,l (EPACT)

- when the Wind/EPACT high energy flux >= 1 DPFU:

Jp,h,corr (ERNE) = -0.37+0.81*Jp,h (EPACT)

The differential proton flux unit (DPFU) is measured in protons per (cm^2 sr s MeV).

In summary, the above relationships which are used to calculate the correction fluxes should be considered as approximations only, since the fitting procedure is done for Wind/EPACT protons with 25 MeV and 50 MeV energies, respectively, instead of 10 and 100 MeV. The corrected fluxes, denoted with filled black color, are shown in Fig. 1 and are obtained by performing the above correction equations on the fluxes denoted with empty black circles. The events denoted with filled magenta-colored circles (denoting the original proton flux, not corrected) and filled black circles (denoting the corrected fluxes) are finally used in the associations below. The empty circles denote the detected proton flux subject to saturation effects, which is clearly evident for the low-energy sample (Fig. 1 left). Some overcorrection is recognized for the high energy flux and the results should be used with caution or regarded as an upper limit only. In total, the corrected events are 27 for the lowest and 24 for the highest energy channel. Finally, the correlations results based on the observed fluxes should be considered as lower limits for the obtained statistical trends.

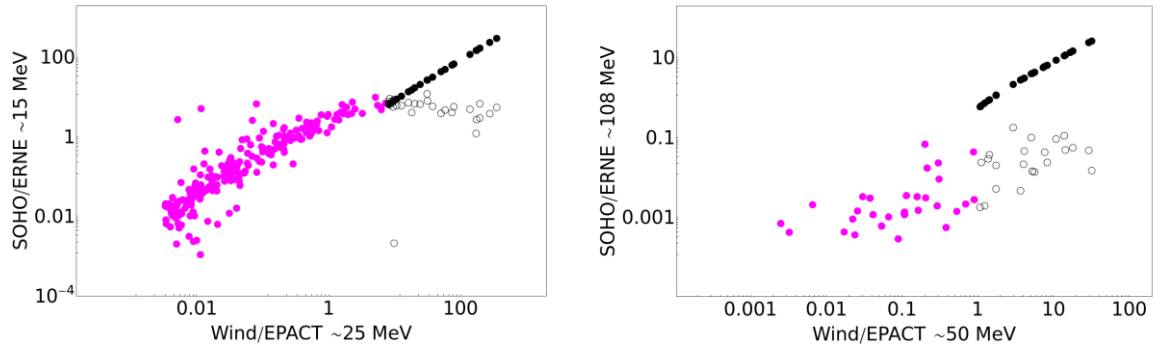


Fig. 1. Scatter plots between the proton fluxes using SOHO/ERNE and Wind/EPACT low (left) and high (right plot) energy channels. For the color code used see text.

Results

For this short report, we selected all 444 SEPs recorded in the HED1 channel. This sample of protons events could be associated with 297 SFs (or 67% of the protons have a SF-origin) and 342 with CMEs (77% of the protons have a CME-origin). Only 55 SEPs could be identified in the HED10 channel. The data for the CME speed are taken from https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/ whereas for the SF flux are from https://www.ncei.noaa.gov/products/space-weather/legacy-data/solar-flares.

In Table 1 are summarized all Pearson correlation coefficients between the SOHO/ERNE observed and corrected (for low, 15 MeV and high, 108 MeV) SEP fluxes with SF class (denoted with ISXR) and CME speed (denoted with VCME). The later correlations are done as log10-linear and log10-log10. We add the results from Dierckxsens et al. (2015) for the following energy channels: 5.00–7.23 MeV (6 MeV); 10.46–15.12 MeV (12.79) and 95.64–138.3 MeV (117).

Table. 1. Pearson correlation coefficients between the observed and corrected values of SEP peak flux with SF class and CME linear speed for SC23. In parentheses is given the sample size used for each calculation.

	log10 Jp vs. log10 ISXR	**log10 Jp vs. linear VCME**	**log10 Jp vs. log10 VCME**
Low energy channel: 15 MeV			
HED1 onserved	0.49±0.05 (297)	0.55±0.04 (342)	0.52±0.04 (342)
HED1 corrected	0.50±0.05 (297)	0.57±0.04 (342)	0.53±0.04 (342)
Dierckxsens et al.	(6 MeV: 0.38±0.09) 13 MeV: 0.52±0.08	(6 MeV: 0.59±0.06) 13 MeV: 0.57±0.07	-
High Energy channel: 108 MeV			
HED10 observed	0.26±0.12 (52)	0.36±0.11 (52)	0.42±0.10 (52)
HED10 corrected	*0.38±0.12 (52)*	*0.50±0.11 (52)*	*0.52±0.09 (52)*
Dierckxsens et al.	117 MeV: 0.59±0.07	117 MeV: 0.32±0.10	-

No statistical differences are obtained between the correlation coefficients using observed and corrected SEP fluxes for the case of low energy protons. Concerning the high energy channel, the differences are larger, however not statistically significant, as the uncertainty is 9–12%. In addition, the corrected high energy SEP fluxes are subject to overcorrection (given with italic font in Table 1).

The Pearson correlation coefficients between the low-energy SEPs (15 MeV) and SF class are reported both for observed and corrected values in the second column and have the same values (~0.5). The log10-linear correlations obtained with the CME speed are in the range 0.55–0.57, whereas the log10-log10 values are ~0.52, however the differences are not statistically significant. The results

obtained by us are consistent with the reported ones by Dierckxsens et al. (2015) based on 13 MeV protons.

Concerning the high energy protons, a slight increase is noticed for the high-energy SEP trends, when comparing the correlations between SEPs and SF (0.26) vs. those with CMEs (0.36). Even larger values are obtained when using the corrected fluxes. Since the correction for the high-energy SEP fluxes is dubious, the results should be taken with caution. In summary, based on the observed SEP fluxes from SOHO/ERNE, we obtained similar results for the correlations with the CMEs compared to Dierckxsens et al. (2015). Regarding the correlation of high energy protons with SF class (0.26±0.12), opposite trends are found by us compared to those obtained by Dierckxsens et al. (2015), namely 0.59±0.07 and the difference is statistically significant.

Summary

In our previous work, Miteva et al. (2018), their Fig. 5 (left), we showed the declining energy trends (based on detected peak proton intensities with SFs and CMEs) of HED2, 4, 6, 7, 10 channels in SC23 (using data by the end 2016). The results in this study based on HED1, 10 confirm these previous trends also using corrected SOHO/ERNE proton fluxes. The corrected SEP fluxes tend to show larger values for the correlation coefficient compared to those derived by the observed fluxes, however these are not statistically different from the correlations based on observed data. In summary, the correlations using SOHO/ERNE SEP data do not confirm only the reported trend by Dierckxsens et al. (2015) for the relationship between high-energy protons and SFs. Further extension of this study covering also SC24 is underway and will be reported elsewhere. The SOHO/ERNE SEP catalog at several energy channels together with the associated solar origin will be made freely accessible at a dedicated web-site: https://catalogs.astro.bas.bg/.

Acknowledgements

The results in this study are part of: (1) The inter-academy project ‘On space weather effects at near Earth environment - from remote observations and in situ particle forecasting to impacts on satellites’ funded by the Bulgarian Academy of Sciences IC-EG/08/2022-2024 and Egyptian Academy of Scientific Research and Technology (ASRT)/NRIAG (ASRT/BAS/2022-2023/10116; (2) The Bulgarian-Serbian bilateral project ‘Active Events On The Sun. Catalogs Of Proton Events And Electron Signatures In X-Ray, UV And Radio diapason. Influence of Collisions on Optical Properties of Dense Hydrogen Plasma’ funded by the Bulgarian Academy of Sciences and (3) the SCOSTEP/PRESTO 2020 grant ‘On the relationship between major space weather phenomena in solar cycles 23 and 24’.

References:

1. Desai and Giacalone (2016) Large gradual solar energetic particle events, Living Reviews in Solar Physics, Volume 13, Issue 1, article id. 3, 132 pp.
2. Miteva et al. (2023) Space weather effects on satellites, Astronomy, 2, pp. 165–179
3. Semkova et al. (2018) Charged particles radiation measurements with Liulin-MO dosimeter of FREND instrument aboard ExoMars Trace Gas Orbiter during the transit and in high elliptic Mars orbit, Icarus, Volume 303, p. 53–66.
4. Fletcher et al. (2011) An Observational Overview of Solar Flares, Space Science Reviews, Volume 159, Issue 1-4, pp. 19–106
5. Webb and Howard (2012) Coronal Mass Ejections: Observations, Living Reviews in Solar Physics, Volume 9, Issue 1, article id. 3, 83 p.
6. Trottet, G., Samwel, S., Klein, KL. et al. (2015) Statistical Evidence for Contributions of Flares and Coronal Mass Ejections to Major Solar Energetic Particle Events. Sol Phys 290, 819–839.
7. Klein and Dalla (2017) Acceleration and Propagation of Solar Energetic Particles, Space Science Reviews, Volume 212, Issue 3-4, pp. 1107–1136
8. Torsti et al (1995) Energetic Particle Experiment ERNE, Solar Physics, Volume 162, Issue 1-2, pp. 505–531.
9. Miteva et al. (2018) Proceedings of the 10th workshop held in Primorsko, Bulgaria, 4-8 June 2018, pp. 99–104
10. Miteva et al. (2020) On the flux saturation of SOHO/ERNE proton events, Bulgarian Astronomical Journal, Vol. 33, pp. 99–108.
11. Dierckxsens et al. (2015) Relationship between Solar Energetic Particles and Properties of Flares and CMEs: Statistical Analysis of Solar Cycle 23 Events, Solar Physics, Volume 290, Issue 3, pp. 841–874.

STUDYING EXAGGERATED ATMOSPHERIC ELECTRIC CURRENTS AT HIGH LATITUDES DURING MAJOR SEP EVENTS

Peter Tonev

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

Keywords: *aerosol, attachment, multiplication, atmospheric conductivity, spatial electric charges*

Abstract: *The experimental measurements of atmospheric electric characteristics conducted at high geomagnetic latitudes during strong solar proton events with ground-level enhancements demonstrate well-expressed specific peculiarities in variations of the vertical electric field and the corresponding electric current J_z in stratosphere, as well as at surface. For example, on the first phase of these events the electric current Jz becomes significantly bigger than the current from ionosphere to ground by fair-weather conditions. Besides, the time period of this variation well exceeds the relaxation time of global electric circuit. An explanation of this peculiarity is represented based on hypothetical processes in polar mesopause and around during SEP.*

ИЗУЧАВАНЕ НА НЕОБИЧАЙНО ГОЛЕМИТЕ АТМОСФЕРНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТОКОВЕ НА ВИСОКИ ШИРИНИ ПРИ СИЛНИ СЛЪНЧЕВИ ПРОТОННИ СЪБИТИЯ

Петър Тонев

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

Ключови думи: *аерозоли, прилепване, размножаване, атмосферна проводимост, пространствени електрически заряди*

Резюме: *Експерименталните измервания на атмосферните електрически характеристики проведени на високи геомагнитни ширини по време на мощни слънчеви протонни събития с приемно нарастване на фона демонсрират добре изразени специфични особенности на вариациите на вертикалното електрическо поле и на съответния електрически ток Jz в стратосферата, както и на земната повърхност. Например, в първата фаза на тези събития електричекият ток Jz става значително по-голям от тока протичащ от йоносферата към земята в условията на ясно време. Освен това, продължителността на тази вариация е много по-голяма от времето на релаксация в глобалната атмосферна електрическа верига. Представено е обяснение на тази особеност основана на хипотетични процеси в полярната мезосфера и около нея.*

Introduction

Experimental investigations of the atmospheric electric fields and currents in the stratosphere and at surface at high geomagnetic latitudes during major solar energetic particles events (SEP) [1] accompanied by ground level enhancement (GLE) demonstrate well-expressed typical peculiarities [2,3,4]. Essentially, these are strong (usually more than 100%) and long-continuing (from tens of minutes to many hours) deviations of the vertical electric current J_z from the fair-weather current J_{FW} by fair-weather conditions [5]. These deviations include increases of J_z on the first phase of SPE, as well as decreases or even reversals of J_z on a later phase, which cannot be explained by the theory of the global atmospheric electric circuit (GEC). Hypothetic processes are considered here as response of the polar upper atmosphere to SEP which can lead to such peculiarities. The basic hypothetic process is dynamic creation of aerosol particles in the polar mesopause and around. Indirect experimental confirmations of this process are considered. The enhanced ionization during SEP leads

initially to increase of conductivity σ in polar mesosphere and around, and later the process of aerosol formation can cause dramatic decrease of σ. Such process can cause redistribution of atmospheric electric currents leading to the observed peculiar J_z variations.

Peculiarities observed

There are only few experimental studies of atmospheric electrical characteristics at high geomagnetic latitudes during strong SEP events for solar cycles 21-23. These experimental studies represent measurements of electric field **E** and, possibly, conductivity σ; current **J** is obtained from Ohm's law $\mathbf{J}=\sigma\mathbf{E}$. Two types of experiments have been conducted: *i*) balloon-borne measurements in stratosphere [2,3]; *ii*) measurements at surface [4]. These first concern SPE/GLEs on: *S1*) 16 February 1984 [2], and *S2*) 20 January 2005 (GLE69) [3]. Measurements in case *S1* are on two balloon stations located at altitude 26 km: EMA7 (38.7°S, 65.7°E) at invariant latitude $\Lambda = -48.8°$ (cutoff rigidity 2.8 GV), and EMA8 (44.6°S, 142.7°E) at $\Lambda = -56.3°$ (cutoff rigidity 1.4 GV), respectively. At EMA8 (at the upper latitude) a peculiar response is observed of atmospheric conductivity σ, as well as of vertical electric field E_z and corresponding electric current J_z. Particularly, J_z increases more than twice, and this variation is not transient since it lasts for almost half an hour, much longer than the relaxation time τ_{RGEC} of GEC (~7 minutes). None effect is detected on EMA7 at lower latitude. Thus, strong and peculiar response of electrical characteristics in stratosphere occurs at high (sub-high) geomagnetic latitudes, but not at lower latitudes.

In experimental case *S2* balloon-borne measurements of conductivity σ, as well as of components of the electric field **E** and of electric current density **J** are conducted during the day of occurrence of SPE/GLE69 (20.01.2005) [3]. During the day the balloon position changes from (70.9°S, 10.9°W) at 30.9 km altitude to (71.4°S, 21.5°W) at 33.2 km altitude. Similar peculiarities appear in variations of vertical electric field E_z and current $J_z=\sigma E_z$: too big (>100%) enhancement of J_z for too long ($>>\tau_{RGEC}$) time. Experiment *S2* is used in this paper as a sample case which is best illustration of the peculiarities studied.

Similar experimental measurements are conducted at ground level, as well, at high geomagnetic latitudes (Apatity, geomagnetic latitude 63.3°) during three major SPE/GLEs in 2001 [4]. Measured are the atmospheric electric field (AEF) E_z at surface during SPE/GLEs, respectively, on: *G1*) 15 April; *G2*) 18 April; and *G3*) 4 November. The results of these experiments demonstrate similar, as in stratosphere, peculiarities in variations of vertical electric field E_z and current J_z. Each case *S1, S2, G1-G3* demonstrates several succeeding types of peculiarities in variations of the electric current J_z. The first peculiarity in each case is an unusually big enhancement of electric current J_z so that it becomes much larger than the fair-weather electric current J_{FW} within time period well exceeding the time τ_{GEC} of electric charge relaxation in GEC, τ_{GEC} ~7 minutes.

The goal of this work is to give a hypothetic explanation of this initially occurring peculiarity in each case. Fig.1 illustrates this type of peculiarity for case *S2*: it shows variations of J_z in Antarctic stratosphere (~32 km altitude) during the day of GLE 69. Fig.2 shows simultaneous data of integrated energetic proton flux from GOES-10 data of energetic proton intensity for channels: >1 MeV, >5 MeV, >10 MeV, >30 MeV, >50 MeV (*I1-I5*). The peculiarity considered is represented by an unusually strong (up to about 300+%) positive deviation of J_z from J_{FW} for time t_{P1}~4.5 hours: from ~09:30 until 14:00 UT. Here both J_{FW} and J_z are downward. One can see that the time period of deviation begins well after the onset of SPE at 06:51 UT. We just note occurrence of peculiarities of other types after 14:00 UT: *a*) from 14:00 UT until 15:56 UT J_z almost vanishes (J_z~0); *b*) from 15:56 UT until the end of the day J_z reverses to upward ($J_z>0$), yet $|J_z|>|J_{FW}|$ for the most of time. Peculiarities *a*) and *b*) will be studied in another publication.

The same type of extremely big positive deviations of J_z from J_{FW} within time period $t_{P1} >> \tau_{GEC}$ occurs in each of considered cases of SPE/GLE under fair-weather conditions. Such peculiarity cannot be explained by the theory of GEC considered as isolated from outer electric sources [6]. [7] also show that the detected large variations of electric field and current cannot be result of conductivity changes in polar middle atmosphere caused by enhanced ionization. Our conclusion is that the electric current J_z is a result of superposition of the fair-weather current J_{FW} with an additional current J_A produced by unknown electric source which is external with respect to GEC:

(1) $J_z = J_{FW} + J_{Az}$

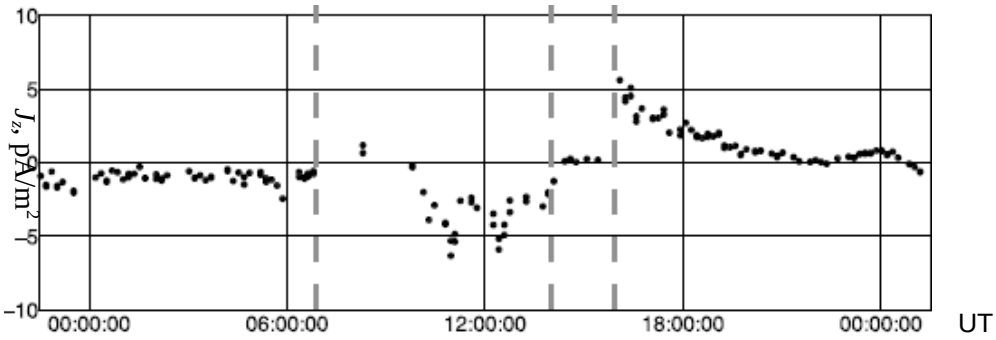


Fig. 1. Density of vertical electric current J_z at balloon station MINIS Flight 2 South on January 20, 2005 with coordinates changing from (70.9°S, 10.9°W), 30.9 km altitude, to (71.4°S, 21.5°W), 33.2 km altitude) [3]. The SPE/GLE 69 onset (06:51 UT) is marked by the left vertical dashed line. From ~09:30 until 14:00 UT (for 4.5 hours) J_z is much bigger (up to ~300+%) then its value by quiet conditions before SPE.

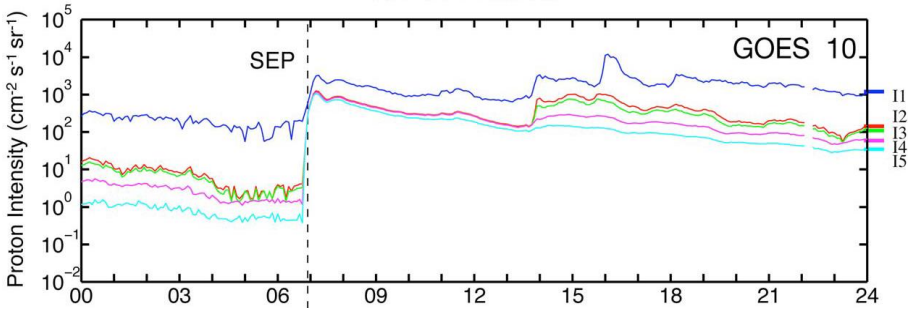


Fig. 2. Integrated energetic proton flux on 20.01.2005 from GOES-10 data for channels: >1 MeV, >5 MeV, >10 MeV, >30 MeV, >50 MeV (*I1-I5*) [3].

Here J_{Az} is the vertical component of the electric current J_A superimposed to the fair-weather current J_{FW}. The peculiarity in case *S2* (Fig.1) is characterized by downward current J_{Az} (J_{Az}<0) which is comparable to, or bigger than J_{FW}. We show below that in other cases, *S1, G1-G3*, the peculiarity considered has similar characteristics. In this paper we propose a hypothetic mechanism of generation of J_{Az} during strong SPEs.

Relative deviations of current J_z from fair-weather current

We characterize peculiarity considered in each experimental case *S1*, *S2* (in stratosphere), and *G1-G3* (at surface) by the ratio between the additional current J_{Az} and the fair-weather current, $R_A = J_{Az} / J_{FW}$. Used are the parameters: *i*) maximum positive value of R_A (R_{Amax}); *ii*) time period t_{JA} of the peculiar variation. These are presented below for cases *S1, S2, G1 - G3*:

Case	SPE/GLE	λ	Altitude, km	~R_{Amax}, %	t_{JA}, hours
S1 [2]:	16.02.1984	−56.3°	26	120	0.3
S2 [3]:	20.01.2005	−70□°	~32	300	3.6
G1 [4]:	15.04.2001	+63.3°	at surface	>400	3.0
G2 [4]:	18.04.2001	+63.3°	at surface	400	5.5
G3 [4]:	04.11.2001	+63.3°	at surface	200	2.0

For each case parameters R_{Amax} and t_{JA} demonstrate presence of large additional electric current J_{Az} compared to the fair-weather current J_{FW} for time $t_{JA} >> \tau_{GEC}$. This means that J_{Az} is dominant current in Eq.(1) for this time, thus, it is generated by an external electric source. There is difficulty with determination of such source due to the fast (quasi-exponential) increase of conductivity with altitude *z*. Here we present a hypothetic source of electric current J_{Az} activated during SEP.

Aerosol dynamics in stratosphere during SEP

A series of experimental studies shows that few days after major SPEs significant increase of aerosol particle density occurs in stratosphere at high latitudes. This fact is experimentally demonstrated first for SPE/GLE on 16 February 1984 (case *S1*) [8]. In this case demonstrated is

gradual increase of aerosol density in stratosphere at high latitudes at latitudes z=15-30 km from the second day (18.02.1984) until the fourth day (20.02.1984) of SPE. The results [8] are summarized below by the following characteeristics: *a*) the maximum relative increase of the backscatter ratio BR; *b*) the mean altitude z_d of the disturbance.

Days after SPE	2	3	4
BR, %	28	35	46
z_d, km	18	17	16

These results also show descending of the disturbance with time. Similar, but more thorough and detailed results are presented for SPE/GLE 69 (case *S2*) in [9]. [8,9] possibly demonstrate that the aerosol enhancement during SEP has a relationship with enhanced ionization at polar and high geomagnetic latitudes which is strongest above the stratosphere, at altitudes up to ~95 km. The lower latitudinal boundary of this enhancement depends on the geomagnetic cutoff rigidity for the specific geomagnetic activity conditions. The delayed aerosol increase in stratosphere at high latitudes is hypothetically manifestation of two processes. First, aerosol increase in atmospheric regions above stratosphere in relationship with highly enhanced ionization during SEP in these regions. Second, transport of newly created aerosol particles (AP) to lower atmospheric regions as result of sedimentation or electrostatic force together with simultaneous growth of descending APs. The descending of APs to regions of bigger atmospheric density is slowed down: accumulation of grown-up APs would occur in a stratospheric layer situated well below the creation of APs.

Hypothetic dynamic processes in polar mesopause during SEP

We consider five hypothetical processes in polar mesopause (and at close altitudes and latitudes) during major SPEs. These processes imply presence of aerosol particles in the undisturbed mesopause before the onset of SPE which is experimentally demonstrated by structures in summer mesopause, such as noctilucent clouds (NLC), and polar mesopause summer echoes (PMSE). Short description of the following hypothetic processes. First, the enhanced ionization during SPE leads to gradual growth of APs in the mesopause due to faster attachment of ions to APs. An AP (in general, multi-charged) is assumed to be spherical, and is characterized by its radius r and by the number q_e of elementary charges carried. According to theoretical investigations [10], the attachment coefficients $v_\pm$ of an ion or electron of respective polarity to an oppositely charged AP with radius r and charge number q_e (q_e>0 for positively charged AP, and q_e<0 in the opposite case) increases quasi-exponentially with q_e. Also, the average number of elementary charges $q_{ea}(r)$ carried by an AP with radius r increases quasi-linearly with r. As result, the effective coefficients of attachment of ions to APs with radius r $v_{\pm eff}(r)$ can be represented as follows: $v_{\pm eff}(r) = v_\pm(r,q_{ea}(r))$. From these properties we find that during the enhanced production of ions in polar mesopause related to SPE the attachment rate increases at least quasi-exponentially with time t. r also will increase quasi-exponentially with time. The process of aerosol growth occurs in a region R_A with significant initial AP density S_0 (initially, the polar mesopause).

Attachment of neutral particles to APs is an additional factor of quasi-exponential growth of APs. The size of APs in the mesopause should remain limited: r < 50 - 70 nm which implies an effective lost mechanism of large APs. An effective limitation of the aerosol maximum size can be achieved by segmentation of large enough APs into two or more new APs. This process leads to multiplication of APs and thus to an increase of their density S. We estimate how the density S of APs varies with time by simplest assumptions during SPE of energetic proton flux peak: *i*) Once the radius r of an AP reaches its critical value r_{max}, it splits into two equal APs with radius $r_{min}=2^{-1/3}r_{max}$; ii) APs grow exponentially with time t as result of attachments of ions and neutral particles:

$$r_{AP}(t) \sim \exp(t/t_G),$$

where t_G is time of increase of AP radius r_{AP} from minimum (r_{min}) to maximum (r_{max}); *iii*) Growth of APs is unlimited; *iv*) $S(r)$ has uniform distribution by r for $r_{max} \le r \le r_{min}$. Then, S [cm^{-3}] satisfies the equation:

(2) $$dS/dt = f_s = S/t_G$$

Here f_s is splitting frequency per cm^3: $f_s = S/t_G$ [$cm^{-3}s^{-1}$]. Eq.(1) is solved with initial condition at start time t_s of the process of splitting, $S(t_s) = S_0$. The solution is:

(3) $$S = S_0 \exp(t/t_G).$$

Eq.(3) shows that the AP density increases exponentially with time t by idealistic conditions. Hence, processes 1-3 demonstrate initial quasi-exponential growth of 'seed' APs up to their maximum size. Then, multiplication of APs leads to exponential increase of S with time.

Both, the quasi-exponential growth of APs size due to ion-to-AP attachment, as well as the quasi-exponential increase of their density S after time t_s, determine transfer of electric charges from small carriers (ions) to large carriers (APs) and decrease of ion and electron densities with time. This transfer of charges leads to diminishing of conductivity σ because of the decrease of electron and ion densities leading also to decrease of the charge carrier mobility in average. Actually, the conductivity variations follow changes in the balance between ions and multi-charged APs. It is described by the following balance equations for positive and negative ions (including electrons) with densities $n_{\pm}$ and positively/negatively charged APs with densities $S_{\pm}(r)$:

(4) $$dn_{\pm}/dt = q - \alpha n_{+} n_{-} - B_{\mp} n_{\pm} \qquad \text{where} \qquad B_{\mp} = \int_r v_{\mp eff}(r) S_{\mp}(r) dr$$

Here q is the ionization rate; α is the effective coefficient of recombination, $v_{\pm\text{eff}}(r)$ is the effective coefficients of attachment of ions to AP with radius r. As we show, coefficients $B_{\pm}$ increase quasi-exponentially with time, and thus exponential decrease of $n_{\square}$ and $n_{\square}$ is follows from Eq.(4). This last leads to quasi-exponential decrease of the electron and ion conductivities $\sigma_{i,e} = q_e \mu_{i,e} n_{i,e}$ with time (q_e is the elementary charge). At the initial stage of SPE conductivity $\sigma = \sigma_i + \sigma_e$ enhances due to increase of the electron density; later σ decreases with enhanced transfer of electric charges to APs and with diminishing of $n_{\pm}$. During SEP uncompensated positive elementary charges are being injected into polar and high-latitudinal middle atmosphere and are being accumulated in region R_{σ} where conductivity $\sigma < \varepsilon_0/\tau_{RGEC}$; ε_0 is the dielectric constant. As result, a sub-region R_{+} of positive spatial electric charge with density $\rho > 0$ is formed in an upper portion of R_{σ} at polar geomagnetic latitudes. In the rest sub-region $R_{\square}$ negative electric charge is being accumulated including a layer below R_{+}. The electric current J_{Az} is interpreted here as an upward electric current of negative ions which is feeding the negative screening charge in this layer.

Conclusions

1. The problem is formulated about the nature of the significant additional electric fields $\mathbf{E}_A$ and currents $\mathbf{J}_A$ superimposed to the fair-weather current J_{FW} in GEC at high latitudes during major SPE/GLEs according to measurements in stratosphere and at surface at high latitudes.
2. Hypothetic processes initialized in polar mesopause are proposed to respond for generation of $\mathbf{E}_A$ and $\mathbf{J}_A$. Electric source is result of accumulation of incoming charges which can cause variations of the vertical electric current J_z detected by experimental measurements. This can be achieved by creation and growth of aerosol particles in middle atmosphere at polar and high latitudes during SEP.
3. Creation of aerosol can control formation of weather and climate. Significant changes in electric currents in GEC can affect also processes in troposphere responsible for weather formation.

References:

1. Mironova, I. A., K. L. Aplin, et al. (2015). Energetic Particle Influence on the Earth's Atmosphere, Space Sci. Rev. (2015) 194:1–96, doi: 10.1007/s11214-015-0185-4.
2. Holzworth, R.H., K. W. Norville, P. R. Williamson (1987). Solar flare perturbations in stratospheric current systems, Geophys. Res. Lett., 14 (8), 852–855.
3. Kokorowski, M., Sample, J.G., et al. (2006). Rapid fluctuations of stratospheric electric field following a solar energetic particle event, Geophys. Res. Lett., 33, L20105.
4. Shumilov O.I., Kasatkina E.A., A. V. Frank-Kamenetsky (2015). Effects of Extraordinary Solar Cosmic Ray Events on Variations in the Atmospheric Electric Field at High Latitudes, Geomag. Aeron., 2015, Vol. 55, No. 5, pp. 666–674 doi: 10.1134/S0016793215050151.
5. Tonev, P.T. (2022). Peculiar atmospheric electric field response at high latitude to three major SEP events in 2001 and possible interpretation, Proc. 14-th Workshop "Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere" Primorsko, Bulgaria, 6-10 June, 2021.
6. Farrell, W. M., M. D. Desch (2002). Solar proton events and the fair weather electric field at ground, Geophys. Res. Lett, 29 (9), 1323, 10.1029/2001GL013908, 2002.
7. Dejnakarintra, M., U. S. Inan, Carpenter, D. L. (1985). Transient Tropospheric Electric Fields Resulting from Sudden Changes in Ionospheric Conductivity, J. Geophys. Res., 90(A12), 901271-90281.
8. Shumilov, O. I., E. A. Kasatkina, K. Henriksen, E. V. Vashenyuk (1996). Enhancement of stratospheric aerosols after solar proton event, Ann. Geophys. 14, 1119–1123 (1996).
9. Mironova, I.A., I. G. Usoskin, G. A. Kovaltsov, S. V. Petelina (2012). Possible effect of extreme solar energetic particle event of 20 January 2005 on polar stratospheric aerosols: direct observational evidence, Atmos. Chem. Phys., 12, 769–778, 2012, doi:10.5194/acp-12-769-2012
10. Hoppel, W. A. (1985), Ion-aerosol attachment coefficients, ion depletion, and the charge distribution on aerosols, J. Geophys. Res., 90(D4), 5917–5923.

ВЛИЯНИЕ НА СЛЪНЧЕВАТА АКТИВНОСТ ВЪРХУ АТМОСФЕРНИ ПРОЦЕСИ В КАРСТОВАТА СИСТЕМА НА ПОНОР ПЛАНИНА

Цветан Паров

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

Ключови думи: *варовик, микроклимат на пещера, хидроложки режим, геотермален енергиен обмен, повърхностна атмосфера, защита на пещерата, подземна метеорология*

Резюме: *Изследвани са процесите на температурен обмен между повърностната атмосфера и нейното влияние върху подземните метеорологични параметри. Изследването е базирано върху използването на автоматични записващи станции за измерване на температура на въздуха в галериите на подземната система, температура на подземната вода, относителна влажност и атмосферно налягане.*

THE INFLUENCE OF SURFACE METEOROLOGY PARAMETERS AND SOLAR ACTIVITY ON THE MODIFICATION OF ATMOSPHERIC PROCESSES IN THE UNDERGROUND KARST SYSTEM OF THE PONOR MOUNTAIN

Tsvetan Parov

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

Keywords: *Limestone, Cave microclimate, Hydrological regime, Geothermal energy exchange, Surface atmosphere, Cave protection, Underground weather*

Abstract: *The processes of temperature exchange between the surface atmosphere and its influence on underground meteorological parameters have been studied. The research is based on the use of automatic recording stations for measuring air temperature in the cave, water temperature, relative humidity, and atmospheric pressure.*

Въведение

Планината Понор се намира в централната част на планинския масив Западна Стара планина. Тази планина представлява внушителен карстов регион с характерен равен релеф и площ на водосборния басейн от 140 квадратни километра (Динев 1959). Най-голямо разпространение в пространството имат районите с надморска височина между 1100 и 1300 метра, които включват обширни и относително равни ливади. Планината Понор се намира между Петроханския проход и река Гинска на запад, река Искър на изток и е ограничена от реките Козля и Искрецка на юг и Кознишки рид и река Пробойница на север. Планината е слабо населена, с населени места предимно на нейната периферия. През годините, тази планина привлича много изследователи, но представлява особен интерес за хидрогеолози и спелеолози.

Геологично казано, планината е съставена от скали, формирани по време на долния палеозой и мезозой. Планината Понор е образувана от варовик и доломити и представлява един от най-големите и характерни карстови райони в България. Водата, проникваща в скалите, е създала големи отрицателни карстови форми - губилища, воронки (понори на български) и сляпи долини. Повече от 70 пещери са открити в масива на Понор, но най-дългите и най-дълбоки са пещерата Каците (дълбочина 205 m, дължина 2560 m, надморска височина на

входа 1245 m) и Колкина дупка (дълбочина 542 m, дължина 19164 m, надморска височина на входа 1285 m). И двете пещери осигуряват дренаж на подземните води на повече от 10 km (по права линия) до изворите близо до село Гара Бов.

Общата разлика в денивелацията, която се преодолява от подземната река, е около 800-850 m, а дължината на галериите, преминавани от хора, надхвърля 20 km. Това създава основа за създаване на термодинамично движение на големи въздушни маси между долината на река Искър и склоновете на Планината Понор. Разтварянето на скалите създава мрежа от подземни канали и празнини, през които водата преминава. Слънчевото излъчване може да увеличи температурата на повърхностните водни потоци, което води до увеличено изпарение и загуба на вода. Това може да има последици за наличността и качеството на водата в карстовите райони. Слънчевото излъчване е ключов фактор за преноса на енергия в системата на Земята. То осигурява енергията, необходима за фотосинтезата, изпарението и валежите. Количеството и интензивността на слънчевото излъчване, което достига повърхността на Земята, се влияят от фактори като географска ширина, сезон и атмосферни условия.

Тезата, че температурата в пещерите е постоянна, важи за сухи, малки и/или затворени пещерни системи, които са достигнали краен стадии на блокажна цементация в своето развитие, където липсата на влизащи водни потоци и блокираният въздушен поток водят до това, че скалите и тяхният геотермален поток са основните източници на топлина. Нашите предварителни резултати показват, че температурните колебания в изследваната голяма и дълбока подземна система не се влияят от геотермалния поток, а по-скоро зависят от връзката между температурата на пещерата, която се влияе от температурата на скалите, която, от своя страна, зависи от температурата на изтичащите води, които са значително засегнати от повърхностните условия и се променят по време на пътя на подземната вода през пещерата.

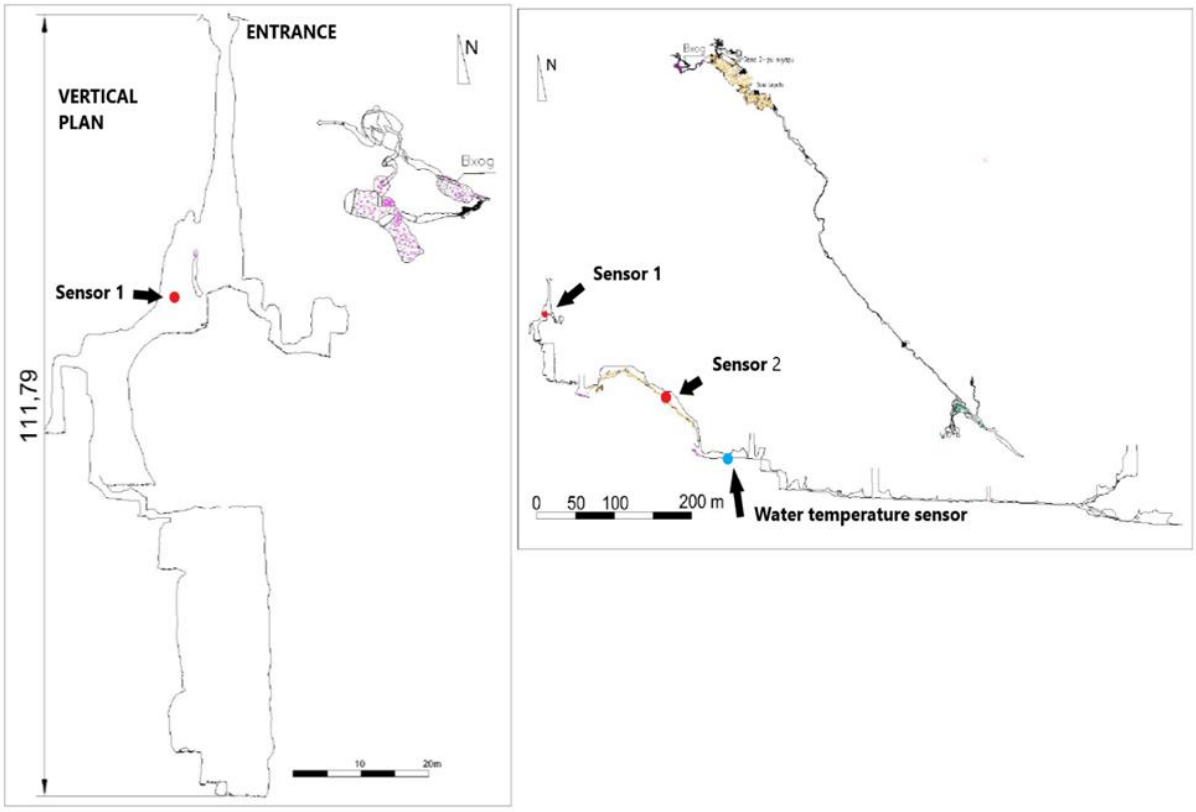
Температурният градиент определя разлика от около 5 °C между температурата на въздуха на входа на пещерата и изворите в края и, и двете, заедно с разликата в атмосферното налягане, създават непрекъснато движение на въздушни маси в подземните обеми.

Теория на метода и резултати

Това изследване започна на 28.12.2022 г. и продължава в момента с поставянето на две записващи устройства с вградени сензори Comet U4130 за измерване на температурата, влажността и атмосферното налягане. Шест месеца по-късно бяха добавени два подводни сензора Tinytag aquatic 2 за записване на температурата на водата на подземната река. Поставянето на сензорите беше определено чрез провеждане на пет експедиции, проведени в пещерата през 2022 година. Накрая бяха избрани две точки. Първата точка се намира на 40 m вертикално от входа на пещерата (S40), където се наблюдава гранична зона между външната повърхностна атмосфера и подземната атмосфера. Точката също е избрана по такъв начин, че да е далече от подземна река. Втората точка за измерване (S130) е избрана на около сто метра вертикално и около 120 m хоризонтално от първата точка, в предполагаемата зона на постоянни температури. Данните от сензорите за измерване на температурата на водата ще бъдат изтеглени в началото на 2024 г.

Данните от сензорите се изтеглят ръчно чрез кабел и компютър. За съжаление, през зимния сезон се оказа, че защитата срещу образуване на конденз на сензорите е недостатъчна, и високата влажност доведе до бързо изтощаване на батериите им. Сензорът на дълбочина -130 m (S130) работеше в продължение на 38 дни, докато сензорът на дълбочина -40 m (S40) събираше данни за 60 дни. Сензорите бяха извадени и обслужени, и бяха инсталирани в подходящи кутии срещу образуване на конденз, преди да бъдат върнати в пещерата. В края на месец юли изтеглихме събраната информация и започна нейната обработка. Данните за повърхностните метеорологични условия се вземат от Националния институт по метеорология и хидрология на България. Информация за слънчевата активност се получава от уебсайта на Кралската обсерватория на Белгия.

Местоположенията за поставянето на подземните сензори в пещерата Колкина дупка са маркирани на Фиг. 1.



Фиг. 1

За обработката на получените данни, включващи повече от 3000 почасово събирани стойности на различни метеорологични параметри, използваме корелации на Пиърсън и Т-тест чрез статистическия софтуер SPSS, за да се проучи статистическата връзка между температурите на различни дълбочини (S40 и S130) в пещерата и повърхностните метеорологични параметри както за зимния, така и за летния сезон. За търсене на циклични атмосферни явления в наборите от данни бяха използвани процедури на програмния език PYTHON, като сравняваха измерванията за всеки ден с тези от седем дни преди и седем дни след този ден. Резултатите са таблици с отложени корелации, т.е. корелацията между вътрешни и външни променливи от предходния ден, от предходния ден преди този и така нататък до седем дни. Съществуват и обратни корелации, обозначени с (-), представляващи вътрешни променливи от предходни дни с външни променливи от следващите дни. Те се използват за сравнение на температурата на въздуха в пещерата преди и след валежи.

Предварителните резултати показват значителна връзка между валежите, тяхното количество (измерено в литър/кв.м.) и повишаването на температурата в карстовата система през зимните сезони. В по-малка значимост същия извод се направи и за летните месеци. Относно корелациите между температурата на въздуха на повърхността и температурите отчетени от сензорите на дълбочини -40 и -130 m резултатите са следните:

През лятото- Външната температура корелира положително с тази на плиткия сензор и отрицателно с тази на дълбокия. Това важи за период от 3 дни напред и 3 дни назад.

През зимата- Външната температура по време на зимата корелира отрицателно с тази на двата вътрешни сензора. Или, когато повърхностните температури се повишават, вътрешните температури намаляват.

При сравняването само на вътрешните температури, за зимата, когато на входа на пещерата (на 1300 m над морското равнище) температурата е отрицателна (по време на нашите измервания през януари-февруари 2023 г., достигайки до -15 °C), вътре в пещерата атмосферата е значително по-топла (~9 °C) и, следователно, има по-ниска плътност. Това предизвиква издигането на въздушни течения вътре в планинския масив. Все пак, тези въздушни движения са ограничени от топлообмена с външната атмосфера поради налягането от повърхностната студена инверсия на въздуха. Това води до намаляване на относителната влажност, която е функция на смесването на два въздушни потока с различни температури.

През лятото, имаме отрицателна корелация p=-0.537, което означава, че когато температурата на сензора на -40 m се повишава, температурата на дълбочина -130 намалява.

Този феномен може да се обясни, като се вземе предвид, че атмосферата вътре в пещерата е по-плътна и по-студена в сравнение с повърхността. В резултат на това подземните въздушни маси "потъват" надолу и по време на този процес "вкарват" топъл въздух от повърхността. Това води до забележимо увеличение на влажността и наличието на кондензирана вода на стените на пещерата.

Заключение

Подземния свят винаги е заемал важна част в човешката еволюция. Използван хиляди години като подслон и източник на вода, едва в последните 100 години с напредването на системите за осветление и оборудването за безопасност, той разкрива пълното си богатство и потенциал. Като една своеобразна библиотека на физико-геоложкото развитие на Земята, подземния свят запазва и архивира данни за слънчевите цикли, водните количества и киселинния състав на водите. След като в последните години бяха открити пещерни входове и на други небесни тела като Луната и Марс, и като знаем, че пещерите екранират опасните за чивека космични лъчения, това дава предпоставка за използването им като естествени бази за началото на човешкия път през Слънчевата система.

Литература:

1. Stoev, A., P. Stoeva- Cosmic ray and solar activity influences on long-term variations of cave climate systems. January 2019
2. Badino, G., 1995: Fisica del Clima Sotterraneo
3. Badino, G., 2005: Underground Drainage Systems and Geothermal Flux. - Acta Carsologica
4. Badino, G., 2004: L'Influenza del Clima Esterno sulle Terre della Notte
5. Tapping KF (1987) Recent solar radio astronomy at centimeter wavelengths: the temporal variability of the 10.7-cm flux
6. Paskalev, M., A. Benderev, St. Shanov- Tectonic conditions of the region of the Iskrets karst springs (West Stara Planina).
7. https://pod-rb.eu/ official site of caving club Pod Rb- Tserovo village

ЛУННИ ЛАВОВИ ПЕЩЕРИ: НАБЛЮДЕНИЯ, ДОКУМЕНТИРАНЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЯ

Алексей Стоев, Пенка Мъглова, Огнян Огнянов

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: stoev52@abv.bg

Ключови думи: лунен вулканизъм, лунен релеф, лавови пещери, спелеология в лавови пещери на Луната

Резюме: *Наблюдаваните върху повърхността на Луната (в избрани вулканични региони) срутващи се ивици и отвори често се тълкуват като ерозирали лавови тръби. В доклада е показана възможността да се създават подповърхностни линейни кухини в зоните на лунен вулканизъм. Гравиметрични и радарни изследвания са потвърдили оптичните наблюдения на отворите им и негативните релефни следи. Засега все още няма ясно разбиране за тяхната морфология и генетичните процеси на образуването им. В доклада е описан резултата от сравнителен морфометричен анализ на верижки и отвори от срутени лавови тръби на Луната. Измерването на лунни вериги и отвори върху сателитни изображения, позволяват да се определят размерите на тръбата, дълбочината на залягане, ексцентритета и няколко други морфометрични параметъра. Получените данни показват, че лунните лавови тръби са с до 3 порядъка по-обемни, отколкото тези на Земята. Това прави Луната изключителна цел за подповърхностно спелеоложко изследване и потенциално заселване в широките защитени и стабилни среди на лавовите тръби.*

LUNAR LAVA CAVES: OBSERVATIONS, DOKUMENTATION AND EXPLOITATION

Alexey Stoev, Penka Muglova, Ognyan Ognyanov

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: stoev52@abv.bg

Keywords: *Lunar volcanism, Lunar relief, Lava caves, Speleology in lava caves on the Moon*

Abstract: *Collapse streaks and vents observed on the surface of the Moon (in selected volcanic regions) are often interpreted as eroded lava tubes. The report shows the possibility of creating subsurface linear cavities in areas of lunar volcanism. Gravimetric and radar studies have confirmed optical observations of their openings and negative relief traces. So far, there is still no clear understanding of their morphology and the genetic processes of their formation. The report describes the result of a comparative morphometric analysis of chains and holes from collapsed lava tubes on the Moon. Measurement of lunar chains and apertures on satellite images allows determination of tube dimensions, embayment depth, eccentricity, and several other morphometric parameters. The obtained data show that the lunar lava tubes are up to 3 orders of magnitude more voluminous than those on Earth. This makes the Moon an outstanding target for subsurface speleological exploration and potential settlement in the vast protected and stable environments of lava tubes.*

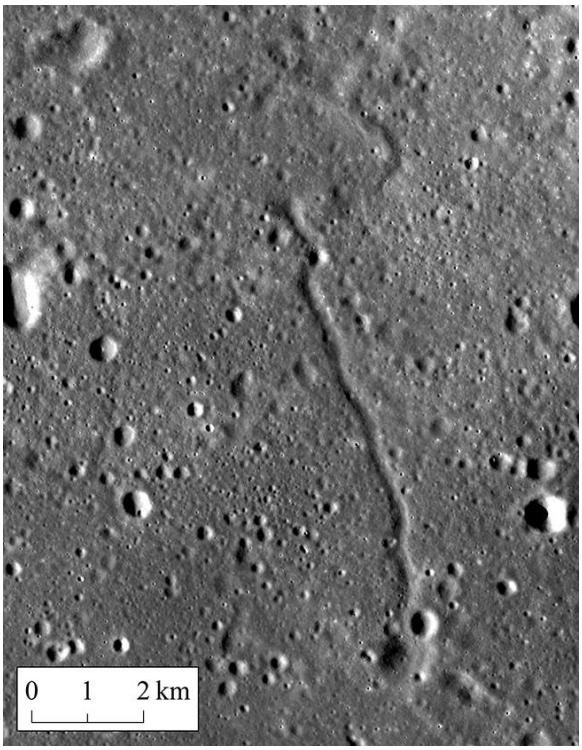
Въведение

През последното десетилетие се наблюдава засилен интерес в изследването на Луната, с множество публикации свързани с лунната геология, базирани на изображения и данни, получени от спътници. От друга страна, сравнителната планетология позволява анализ и интерпретация на геоложки характеристики на различни планети и техните естествени спътници. Сравнителния анализ може да се направи както към морфологични структури, така и към процеси които ги образуват. При това се отчитат разликите в планетарните параметри като

гравитация, температура, налягане, плътност и състав на атмосферата, геоложка история. На съвременния етап повърхностите на планетите от земен тип са документирани с висока разделителна способност, мултиспектрални камери, както и мисии на роувъри. Въпреки това, много малко е информацията за наличието на структури и образувания под повърхността им, както и на кухини в кората на нашият естествен спътник - Луната.

Теоретични постановки

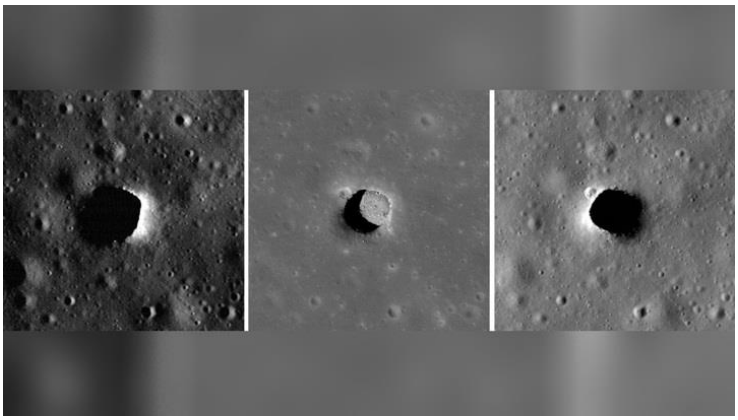
Още преди повече от петдесет години планетарни геолози са идентифицирали особени морфологични структури, подобни на понори, в няколко вулканични области на Луната (Carr, 1973). Тъй като, тези образувания нямат характерния по-висок ръб на кратера и отлагания от изхвърлени частици (които обикновено се свързват с кратери, получени при космически удар), се смята, че те представляват срутвания на подповърхностни кухини. Понеже повечето от тези образувания се намират върху потоци от лава или по стените на вулканични конуси, те много рано са били свързани с предполагаемото присъствие на „лавови тръби“. Тръбите от лава са добре познати от земните вулкани благодарение на вулканологични и спелеологични изследвания (Theinat K., et al., 2020). Идеята за срутване на лавовата тръба е предложена едновременно от няколко автори, за да се обясни образуването на криволичещи лунни бразди. Паралелно с това, същите автори са показали, че на Луната не всички понори могат да бъдат пряко свързани с лавовите тръби. Вероятно наличието на други вулканични и тектонични процеси водят до образуването на тези интересни релефни образувания (Sauro F., et al., 2020). Следователно потенциалното присъствие на все още непокътнати тръби от лава под повърхността на Луната се дебатира малко повече от петдесет години.



Сн. 1. Криволичещи лунни бразди, чийто произход е свързан със срутването на лавови тръби под повърхността на Луната *Фотография: NASA/GSFC/Arizona State University.*

Получени са изображения с висока разделителна способност на повърхността на Луната от една от камерите на Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC NAC, с разделителна способност 0,5 м/пиксел). Това позволи идентифицирането на особени отверстия, характеризиращи се с вертикални или надвиснали стени, наречени „обеци“, често предлагани като кандидати за „вход в пещера“ (Coombs, C. R., & Hawke, B. R., 1992). Повече от 300 от тези потенциални пещерни входове са идентифицирани на Луната. Някои от тях се намират в изолирани райони, но други са свързани с вълнообразни релефни линии на Луната. Докато в понорите остатъците от срутването могат да възпрепятстват достъпа до непокътнатата лавова тръба, то тези линии предоставят директен достъп до тавана на прилежащите и все още цели лавови тръби. Такива входове са разположени във вулканичното

плато на Marius Hills на Луната (Ashley, J., et al., 2011). Използването на роботизирани технологии ще позволи да се изследват стратиграфски профили на лавовите потоци от отвори. Така ще могат да се съберат нови данни за образуването на базалтовите плата на Луната. Отворени сегменти от лавови тръби биха могли да осигурят стабилни убежища за човешките местообитания, защитени от космическа радиация и микрометеоритни удари върху Луната. Тези кухини могат да имат размери, подходящи за организиране на постоянна лунна база, осигуряваща потенциален достъп до няколко ресурса, включително летливи вещества и евентуално воден лед, уловен в пещерни седименти.



Сн. 2. Лунната пещера в района на Marius Hills. Снимката е направена от орбиталната сонда LRO
Фотография: NASA/GSFC/Arizona State University.

Неодавна група учени се опитаха да оценят размерите на непокътнати фрагменти от лавова тръба под повърхността на Луната, използвайки радарна система (Qiu X., Ding C., 2023). Други ги оцениха по дефицита на гравитационна маса чрез мисията Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL) (Spudis P. D., 2015). Изследванията потвърждават, че подповърхностните кухини със сигурност съществуват, но наличната ограничена разделителна способност на инструментите е позволила да се извлече само частична информация за техния размер, дълбочина и форма. От друга страна - на Земята - няколко морфологични и генетични изследвания са извършени върху тръби от лава в сухоземни щитови вулкани. Стотици километри лавови тръби и свързаните с тях срутвания и отвори са картографирани от спелеологични организации. Подробни морфологични описания и топографски проучвания на километрични тръби са достъпни благодарение на спелеологичните проучвания на Хавай (САЩ) (Bunnell, 2008), Канарските острови (Испания), Исландия, Сицилия (Италия) и много други лавови полета в света (Tomasi I., 2022). Това огромно количество данни може да се използва за сравнителни планетологични изследвания, за да се направят изводи за размерите и морфологията на лавовите тръби на други планети и техни спътници (в частност Луната).

Въпреки че има морфологичните прилики на няколко срутени вериги от лавови тръби и отвори по тях на Луната с литографските характеристики на земната лава, до днес подробно морфологично и морфометрично сравнение между двете планетарни тела все още не е правено. Като се има предвид пряката генетична връзка между срутванията, отворите и лавовите тръби, морфометричният анализ може да се използва за оценка на размерите и общата морфология на непокътнати участъци от тръбата по същата линия на веригата на срутване.

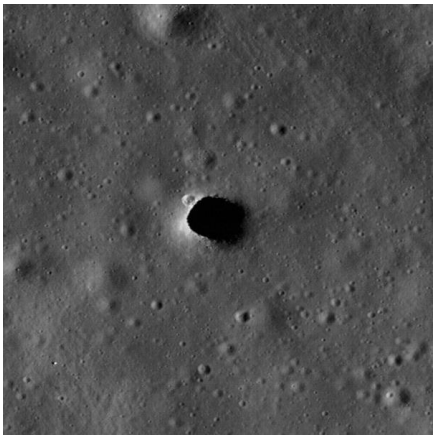
Този преглед и свързаният с него сравнителен анализ показват, че има обективни данни за размера, дълбочината и морфологията на кандидатите за лунни лавови тръби. Той, също така, предоставя нова информация за техните генетични връзки с вулканологията и възможността за бъдещо обитаване. Тези данни съставят основата за планиране на бъдещи роботизирани и човешки мисии за изследване на тези подповърхностни лунни обеми.

Генетични механизми и морфологии на лавовата тръба на Земята

Лавовата тръба, известна още като пиродукт (Werker J. C., 2012), се дефинира като „покрита тръба (тръбопровод) с течаща лава, който може да бъде: активен, дрениран или запушен“. Дължините на лавовите тръби на Земята варират от няколко метра до десетки километри. Тяхната ширина и височина варира от 0,5 m до 30 m, като се развиват от няколко сантиметра под повърхността до дълбочина от няколко десетки метра. Тръбите от лава в повечето случаи са подпаралелни на самата повърхност.

Напречни сечения на лунните лавови тръби

Напречните сечения на пропадания и отвори, свързани с кандидати за лавови тръби на Луната са определени чрез оптични, лазерни и радарни измервания. Повечето от тях се наблюдават като криволичещи валове и понори във вулканични лунни терени. Термините „колапс“ или „яма“ обикновено се използват в литературата по планетарна геология за дефиниране на лунни морфологии, характеризиращи се с потъващи кръгли или елиптични релефни вдлъбнатини, които нямат издигнатия ръб на кратера и отлагания от изхвърляне, типични за удар от метеорит по лунната повърхност.



Сн. 3. Отвор в повърхността на Луната, който може да доведе до голяма естествена пещера образувана в лавовия поток *Фотография: NASA/GSFC/Arizona State University.*

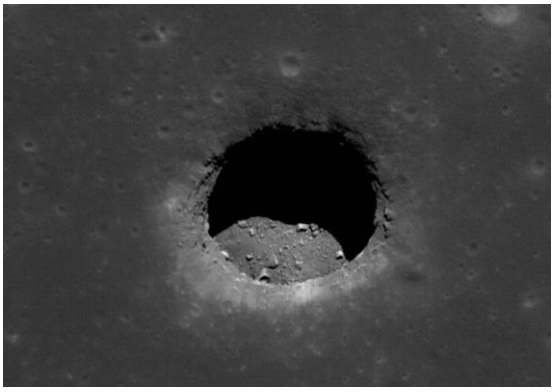
Група учени от университета в Аризона дори разработиха специален алгоритъм PitScan, който полуавтоматично търси пещерни отвори на повърхността на Луната, като в хода на наблюденията чрез него бяха открити повече от двеста от тях. Те могат да бъдат разделени на три условни групи:

• повреди на канали от лава, изтичащи по време на вулканични изригвания;

• кухини от лава, образувани от стопилка, появила се в големи кратери от падането на големи астероиди върху повърхността на Луната;

• кухини в лунната кора.

Отвора в предполагаемата тръба от лава можеше да се види на хълмовете на вулканичната планина Мариус, близо до лунния екватор. От лунен орбитален спътник ясно се вижда канал от поток от лава, който се простира от кратера на вулкана на десетки километри. На около 25 km от кратера се вижда отвор в застиналия поток. Възможната хипотеза предполага: а) предизвикан от падането на метеорит или лунотресение, или б)„покривът“ на тръбата се е срутил от само себе си, като сега се вижда дупка с ширина 80 m и дълбочина 45 m. Ширината на потока на мястото на дупката достига 800 m, а нагоре по течението достига почти един километър, така че може да има тунел, който е гигантски по земните стандарти на вулканичните пещери.



Сн. 4. Лунна вертикална тръба в лава (Повърхностната кора на потока от лава се втвърдява, но движението на лавата продължава вътре. В крайна сметка се образува каменна тръба, която може да се простира на няколко километра. При намалена гравитация тръбите могат да бъдат по-дълги и по-просторни, отколкото на Земята.)

Морфология на пропаданията, свързани със стабилността на лавовата тръба и механизмите на образуването ѝ

Примери от земен вулканизъм могат да помогнат за определяне на морфометричната връзка между веригите на пропадане на тръбата и непокътнатите сегменти от лавови тръби на Луната. При земните лавови тръби (при поглед отгоре), те се виждат като елипси, удължени по посока на развитие на лавовата тръба и тяхната ширина (A) се доближава до средната ширина на подлежащата лавова тръба (A_t) на непокътнатите сектори. Въпреки това, в случай на преплетени лавови тръби, веригите на срутване следват развитието на най-плитката част на лавовата тръба и са свързани с морфометрични параметри на ямата/понора която се наблюдава. През последните години морфометрията се използва и като инструмент за сравняване на генетично свързани характеристики на различни планетарни тела (De Toffoli et al., 2019).

Морфометрия на земни случаи на срутени лавови тръби

Лавовите тръби, измерени върху сухоземни щитови вулкани, имат елипсовидна форма с дълга ос, успоредна на посоката на развитие на подповърхностните тръби. По протежение на същата верига, малките оси на и отворите (перпендикулярни на развитието на подповърхностната тръба) показват сравнима A, която е представителна за ширината на подлежащата тръба от лава. Морфометричните данни за A показват среден размер от 7,3 m. Морфометричните характеристики на срутени вериги над лавови тръби са израз на основните процеси и параметри, съществуващи при образуването на лавовата тръба. Това са скоростта на изтичане, наклонът, реологията и движещите сили като гравитацията или газово налягане. Независимо от това, известно е от наземни примери, че възникват важни морфологични разлики между образуването на кора над лавовия канал или плитките/дълбоките надувни тръби от лава (Coombs, C. R., & Hawke, B. R., 1992).

Сн. 5. Лавова тръба в щата Калифорния, САЩ (вижда се характерната слоистост и минерализация на стените на тръбата, отзвук от движението на лавата в тръбата)

Бъдещи космически мисии за откриване и изследване на тръби от лава

Сравнителният анализ и морфологичните прилики, представени в този кратък преглед, показват голям потенциал за изследване на огромните лавови тръби на Луната. Тези резултати обаче се основават главно на сравнение с наземни случаи на вулканизъм, докато преки доказателства за съществуването им на Луната все още не са получени. Освен радарните сигнали и гравитационните аномалии, открити от GRAIL (Chappaz et al., 2017), все още нямаме ясно разбиране за лавовата тръба на Луната като геоложко образувание, микро и макро релеф и методи и средства за физическото им проучване.

Изводи

В заключение, трябва да кажем че морфометричните изследвания на лавовите тръби показват срутванията на земните вериги от лавови тръби и поразителните морфологични прилики с тези, предложени от редица изследователи като кандидати за лавови тръби на Луната. Въпреки това, размерите и морфометричните параметри, както и съотношението ширина/дълбочина A-H имат специфичен диапазон, всеки от които се отнася до Земята или Луната. Обемите на срутванията, отворите и свързаните с тях тръби показват нарастващи

размери при преместването ни от Земята на Луната. Това показва, че проблемът за тяхното откриване, картиране, каталогизиране и физическо изследване е актуален и със сериозна перспектива за спелеоложки проучвания при бъдещите лунни мисии.

Литература:

1. Carr, M., Volcanism on Mars., Journal of Geophysical Research , Volume 78, Issue 20 p. 4049–4062
2. Theinat, K., Modiriasari A., Bobet A., Melosh H., Dyke Sh., Julio Ramirez J., Amin Maghareh A., Gomez D., Lunar lava tubes: Morphology to structural stability., Icarus*.,* Volume 338, 1 March 2020, 113442
3. Sauro, F., Pozzobon R., Massiron M., Berardinis P., Santagata T., Waele J., Lava tubes on Earth, Moon and Mars: A review on their size and morphology revealed by comparative planetology., Earth-Science Reviews., Volume 209, October 2020, 103288
4. Coombs, C. R., & Hawke, B. R. (1992). A Search for Intact Lava Tubes on the Moon: Possible Lunar Base Habitats. The Second Conference on Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century (pp. 219–229). Houston, Texas: NASA.
5. Ashley, J., Robinson, M., Hawke, B., Boyd, A., Wagner, R., & Speyerer, E. (2011). Lunar Caves in Mare Deposits Imaged by the LROC Narrow Angle Cameras. First International Planetary Cave Research Workshop. Carlsbad, NM.
6. Qiu X., Ding C., Radar Observation of the Lava Tubes on the Moon and Mars. Remote Sens. 2023, 15, 2850. https://doi.org/10.3390/ rs15112850
7. Kaku, T.; Haruyama, J.; Miyake, W.; Kumamoto, A.; Ishiyama, K.; Nishibori, T.; Yamamoto, K.; Crites, S.T.; Michikami, T.; Yokota, Y.; et al. Detection of Intact Lava Tubes at Marius Hills on the Moon by SELENE (Kaguya) Lunar Radar Sounder. Geophys. Res. Lett. 2017, 44, 10155–10161.
8. Spudis, P. D., Chapter 39—Volcanism on the Moon. In The Encyclopedia of Volcanoes, 2nd ed.; Sigurdsson, H., Ed.; Academic Press: Amsterdam, The Netherlands, 2015; pp. 689–700.
9. Bunnell, D., Caves of Fire: Inside America's Lava Tubes., Published by National Speleological Society (2008) ISBN 10: 1879961318
10. Tomasi, I., Massironi, M., Meyzen, C. M., Pozzobon, R., Sauro, F., Penasa, L., et al. (2022). Inception and evolution of La Corona lava tube system (Lanzarote, Canary Islands, Spain). Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 127, e2022JB024056. https://doi. org/10.1029/2022JB024056
11. Werker, J. C., Welch, S. M., Thompson, S. L., Sprungman, B., Hildreth-Werker, V., Frederick, R. D., et al. (2003). Extraterrestrial caves: Science, habitat, and resources (a NIAC phase I study). Environmental Sustainability Publications.
12. Barbara DeToffoli, Riccardo Pozzobon, Francesco Mazzarini, Csilla Orgel, Matteo Massironi, Lorenza Giacom ini, Nicolas Mangold, Gabriele Cremonese., Estimate of depths of source fluids related to mound fields on Mars., Planetary and Space Science**.,** Volume 164, 1 December 2018, pp. 164–173
13. Coombs, C. R., & Hawke, B. R. (1992). A Search for Intact Lava Tubes on the Moon: Possible Lunar Base Habitats. The Second Conference on Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century (pp. 219–229). Houston, Texas: NASA.
14. Chappaz, L., R. Sood, H. J. Melosh,K. C. Howell, D. M. Blair, C. Milbury, andM. T. Zuber (2017), Evidence of largeempty lava tubes on the Moon using GRAIL gravity, Geophys. Res. Lett., 44,105–112, doi:10.1002/2016GL071588. American Geophysical Union.

SHORT- AND LONG- LASTING OUTBURSTS AND MASS TRANSFER PROPERTIES OF THREE AM CVn STARS

Daniela Boneva[1], Wojciech Dimitrov[2], Krasimira Yankova[1]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]Astronomical Observatory Institute, Faculty of Physics, Adam Mickiewicz University, Poznań, Poland
e-mail: danvasan@space.bas.bg, f7@space.bas.bg

Keywords: *Stars: Binary stars; Stars: cataclysmic variables; Stars: AM CVn; Accretion*

Abstract: *We present a two years variability in brightness of three AM CVn stars: CR Boo (Bootes), V 803 Cen (Centaurus) and KL Dra (Draconis). We use observational data both from the AAVSO (American Association of Variable Star Observers) and the 2m telescope of the National Astronomical Observatory (NAO) Rozhen. Results show similar behavior in brightness variability, outbursts and the transition from low to high state of the objects CR Boo and V 803 Cen.*

Base on the objects parameters, we estimate the mass transfer rate during the outbursts states. We compare the mass transfer properties of the three AM CVn stars.

КРАТКОТРАЙНИ И ДЪЛГОВРЕМЕННИ ИЗБУХВАНИЯ И СВОЙСТВА НА ТРАНСФЕРА НА МАСА ПРИ ТРИ ЗВЕЗДНИ СИСТЕМИ ОТ ТИП AM CVn

Даниела Бонева[1], Войтек Димитров[2], Красимира Янкова[1]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: danvasan@space.bas.bg, f7@space.bas.bg
[2]Astronomical Observatory Institute, Faculty of Physics, Adam Mickiewicz University, Poznań, Poland
[2]Астрономическа Обсерватория, Физически факултет, Университет „Адам Мицкиевич“, Познан, Полша

Ключови думи: *Звезди: Двойни звезди; Звезди: AM CVn; Акреция*

Резюме: *Представяме двугодишна променливост в яркостта на три AM CVn звезди: CR Boo (Bootis), V 803 Cen (Centauri) и KL Dra (Draco). Използваме данни от наблюдения както от AAVSO (Американската асоциация на наблюдателите на променливи звезди), така и от 2-метровия телескоп на Националната астрономическа обсерватория (NAO) Рожен. Резултатите показват подобно поведение в променливостта на блясъка, избухванията и прехода от ниско към високо състояние при CR Boo и V 803 Cen.*

Въз основа на параметрите на обектите, ние оценяваме темпа на пренос на маса по време на избухванията. Направено е сравнение на свойствата на пренос на маса на трите AM CVn звезди.

Introduction

The study of AM CVn objects is important, since they are rare and unusual objects. They are subclass of cataclysmic variables (CV) stars [30]. AM CVns are binary stars in which a white dwarf primary component accretes from a secondary helium – rich white dwarf component. As the interaction between the white dwarf companions is observed, they could be attached to the group of Double White Dwarf binaries (DWDs) [4, 19, 21]. The both components are fully- or semi-degenerate white dwarfs. Their orbital periods are very short and range in the interval of 5 – 65 min.

The AM CVn stars manifest outbursts with brightness variability in the range of 2–4 magnitude at optical wavelengths, detected by the observational analysis [9, 13].

Individual brightening states of some AM CVn stars have been distinguished: a faint state, with normal outbursts for one to five days [2]; regular super outbursts for several weeks [9, 13]; and a longer state, lasting for months, but with a frequent outburst activity [8, 13].

Some of the outbursts in AM CVns could be produced by the mass-transfer enhancement [25]. The mass transfer between the two components of AM CVn stars plays an important role in their evolutionary path. The mass transfer rate depends on the angular momentum loss in the system. During the mass transfer process, its value changes over time and is in a relation to the binary orbital separation variations and mass ratio [5, 16]. The mass-transfer rate is increasing, while the separation is narrowing for shorter orbital periods.

For the purpose of this paper, three of the short-orbital's period AM CVn objects are selected, CR Boo, V 803 Cen and KL Dra. They show characteristics as ordinary AM CVns.

CR Boo was discovered in 1986 by Palomar Green [6] and catalogued as PG 1346+082. The first observations of Wood et al. (1987) [31] showed a brightness variability in the range of 13.0 - 18.0 magnitude in the V band. The average orbital period of CR Boo is estimated as ~1471.3s (or ~24.5 min) [9, 23]. The system displays spectroscopic variations broad, shallow HeI absorption lines at its maximum, and a weak emission lines in HeI 4471 at minimum light [31].

Masses of the two components of CR Boo were estimated to be in the ranges: M_1 = 0.7–1.1 M⊙ for the mass of the primary star and M_2 = 0.044–0.09 for the mass of the secondary star [26, 29]. For the mass ratio the range is q = 0.04-0.13 [22, 26]. CR Boo is classified as DB spectral type [27], related to its helium rich atmosphere. Since the orbital period of CR Boo is in a range of 20 < Porb < 40 min, it can be associated in the group with a variable size of disc, producing outbursts or occasional super-outbursts [29].

V803 Centauri was discovered by Elvius (1975) [3]. V 803 Cen is also a member of a special subset of mass transferring binary systems with a short orbital period of 1596.4 – 1611s (or 26.6 min).

Its two component's masses are M_1 = 0.8 - 1.2 M⊙ and M_2 = 0.06 – 0.11 M⊙ [26, 29]. Then, the mass ratio takes the values: 0.075 – 0.091. The responsibility for these variations is usually taken by the superhumps, during the outbursts of the star (). Its brightness as a magnitude variability is observed in a wide range: 13.2-17.4. At the outburst states, the spectrum of V 803 Cen shows broad, shallow He I absorption. At the Quiescence state – He I emission [20. Its Mass accretion rate is $\dot{M}_2 = (3\pm1) \times 10^{-9}$ M⊙ yr^{-1} [18].

KL Dra is a helium dwarf nova system, similar to CR Boo [22, 23, 31]. The orbital period of KL Dra is 25 min. The object's magnitude is observed to be in the range of 16.8 – 20 in the V band [9]. The estimated mass ratio of the object is q ≈ 0.075 [32]. They obtain for the mass of the components, M_2 = 0.057 M⊙ and M_1 = 0.76 M⊙. The value derived for the KL Dra mass transfer rate yields $\dot{M}_2 = 5.1 \times 10^{-10}$ M⊙y^{-1} [32]. Superhumps are observed and reported for both of the stars, CR Boo [1] and KL Dra [32].

In this paper, we follow the light curves of those three objects, obtained from data of NAO Rozhen and AAVSO (Section 2). In Section 3 we compare the mass transfer rates and explain the properties of their mechanisms.

Observational periods and outbursts states

Among AM CVn stars, CR Boo and V803 Cen have the best observational behavior, since they exhibit large-scale amplitude variations in brightness, from days to months. Their origins are still not well understood.

By the high - speed photometry [30], results of CR Boo and V 803 Cen show that the transition between the high and low states happens with significant changes in the objects behavior.

AM CVn stars are blue objects, but they have unusual behavior at some observational periods. As an example, CR Boo became redder during the superhumps in 2021 [1]. CR Boo has amplitude variations in brightness of > 1 mag. and it is categorized in the group of outburst systems [7, 13]. The brightness events could lasting from days to months. The high outbursts during the faint state are produced with a recuring frequency in a super-cycle of about ≈ 46 days [11, 12].

Here, we present light curves of CR Boo, V 803 Cen and KL Dra. For CR Boo we apply combined data, obtained with the 2m telescope of NAO Rozhen and AAVSO. Since V 803 Cen is visible at the southern hemisphere, we apply the observational data from online sources, as AAVSO.

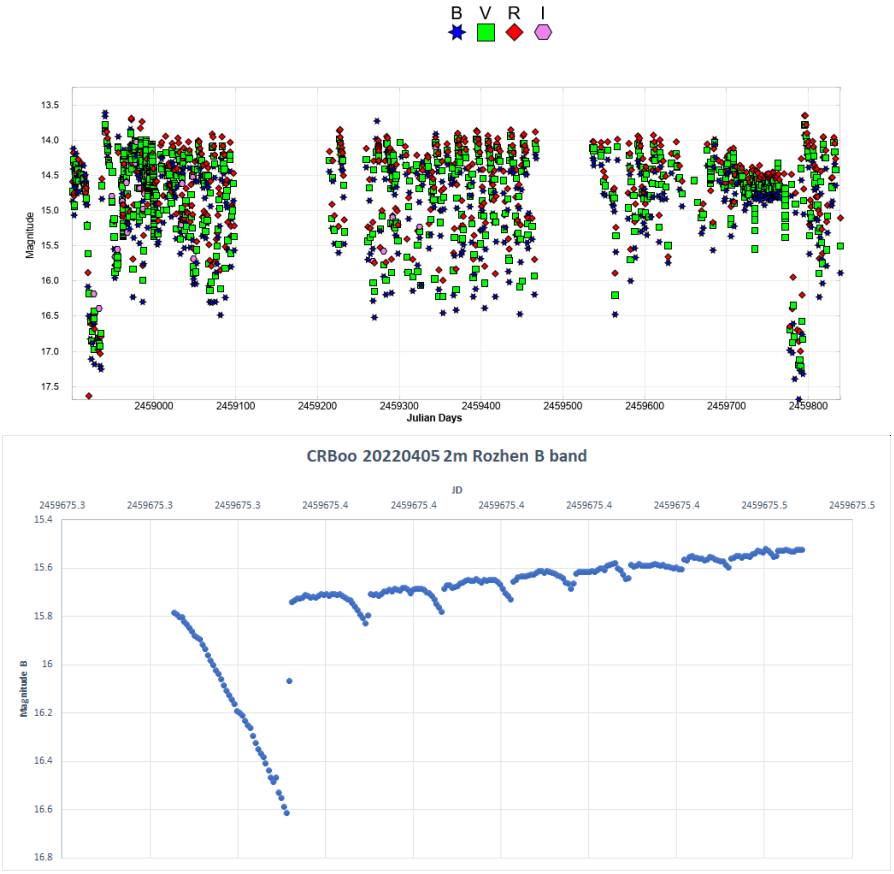


Fig. 1. Light curves of CR Boo in UBVRI bands. The data for the observational period of 2 years (2020/02/20 to 2022/11/16) are taken from AAVSO (up). The shorter period's data during the high state of the object are obtained with 2m telescope at NAO Rozhen (down).

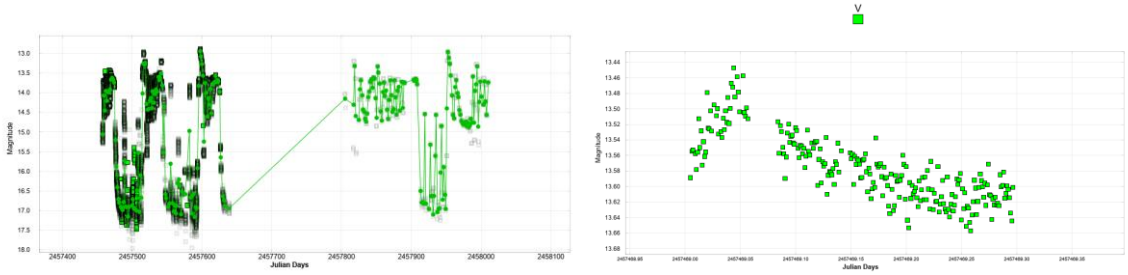


Fig. 2. Light curves of V 803 Cen. The magnitude of the star is in V band and the observational times are in JD (Julian dates). The data are taken from AAVSO: for the observational period of 2 years (2015 – 2017) (left). The brightness variation during high state is seen, for the shorter period during March 2016.

The above light curves show the alternate periods from low to high states and well seen outbursts activity with different durations. This observational behavior is identical for both objects. Unfortunately, we could not apply any observational data of the third object KL Dra. In the paper of Ramsay et al. 2020 [24], KL Dra was revealed as a frequently outbursts system with a recurring time of ≈60 days.

Mass-transfer properties

The study and knowing of the mass transfer process could give an useful information of the interior of the donor and its evolution, as well as of the resulting properties of interacting area between the mass inflow and the primary star accretion zone [29].

In this Section, we give an estimation of the mass transfer rate of CR Boo, V803 Cen and KL Dra. In this aim, we use the average values of the systems parameters given in the literature (Table 1). The orbital separation ***a*** is obtained in the current paper by applying the Kepler's 3-rd law.

Table 1. The system parameters of CR Boo, V803 Cen and KL Dra, as follows: M_1 - mass of the primary star; M_2 - mass of the secondary star; q - mass ratio; P - orbital period; a - the orbital separation between the components. Here [tp] means "this paper".

Parameters ---------- Object	**M_1 [$M_\odot$]**	**M_2 [$M_\odot$]**	**q**	**Porb [min]**	**a [$R_\odot$]**
CR Boo	0.80 [26]	0.07 [26]	0.087	24.5 [9]	0.266 [tp]
V 803 Cen	0.95 [29]	0.08 [29]	0.085	26.6 [23]	0.167 [tp]
KL Dra	0.76 [32]	0.057 [32]	0.075	25 [31]	0.149 [tp]

When binaries have sufficiently short orbital periods, as our objects have, the angular momentum loss is efficient through the gravitational wave emission [4, 21]. Therefore, the rate of angular momentum loss of a binary system is given by the equation of Landau and Lifshitz [15]:

(1) $\left(\frac{\dot{J}}{J}\right)_{GWR} = \frac{-32}{5}\frac{G^3}{c^5}\frac{M_1 M_2 (M_1+M_2)}{a^4}$

Where $\left(\dot{J}/J\right)_{GWR}$ expresses the relation of this rate to the orbital angular momentum. This term is further used in the equation for the mass transfer rate by Paczyñski [21]:

(2) $\left(\frac{\dot{M}_2}{M_2}\right) = \left(\frac{\dot{J}}{J}\right)_{GWR} \times \left[\frac{\zeta(M_2)}{2} + \frac{5}{6} - \frac{M_2}{M_1}\right]^{-1}$

Here, $\zeta = dlnR_2/dlnM_2$. Our calculations of this term give the values: ζ = - 0.19, - 0.33;

In order to calculate the mass-transfer rate $\dot{M}_2$, we first apply the parameters for the three objects (masses and orbital separation from Table 1) into the Eq.1. This gives the angular momentum loss in a relation to the orbital angular momentum.

Then, we put these terms into Eq.2 to calculate the mass transfer rates $\dot{M}_2$ with respect to the mass of the secondary M_2. Finally, using the value of M_2 we determine the absolute values of the mass transfer rate. The obtained values are as follows:

- for CR Boo, $\dot{M}_2 = 1.41(\pm 0.5) \times 10^{-9} M_\odot\ y^{-1}$;
- for V 803 Cen it is: $\dot{M}_2 = 2.53(\pm 0.2) \times 10^{-9} M_\odot\ y^{-1}$;
- for KL Dra: $\dot{M}_2 = 4.76(\pm 0.1) \times 10^{-9} M_\odot\ y^{-1}$.

We see that the mass transfer rates of these studied binaries are similar, except for the KL Dra, where the estimated value is lower. The obtained from us values differ from the mass transfer rates in the literature, pointed in the Introduction for each of the objects. The reason of this could be the applied models and equations. They are also similar to the mass transfer rate, comparing to those found for some AM CVn class objects by [17, 27, 28], which is in order of ~0.4 −1.2 $\times 10^{-9}$ to even 5 $\times 10^{-10} M_\odot yr^{-1}$.

We suggest a simple explanation of the processes. During the mass-transfer process, in a time period of our observations $t_1 ... t_n$, the mass of the secondary component M_{2t1} started to decrease over time, due to the increasing mass-transfer rate. At the final time of observations t_n it takes the value M_{2tn}. In the same time, the orbital separation ***a*** also changes over time $a_{1t1} ... a_{ntn}$, as it could increase or decrease depends on the mass transfer rate and mass ratio. After these suggestions, we have: $a_{1t1} \lesseqgtr a_{ntn}$.

Discussion and Conclusion

AM CVn stars are objects in a final stage of binary stars evolution. As their characteristics, they create a medium to study the physical properties of such systems to understand and to obtain more information about the white dwarf stars and double white dwarfs' evolution respectively.

We presented the light curves of three AM CVn stars - CR Boo, V803 Cen and KL Dra. Their light curves show short- and long- brightness variability that manifests periodically outbursts in a frame of two years. CR Boo and V 803 Cen demonstrated similar behavior. We used observational data both from AAVSO (American Association of Variable Star Observers) and our own observations, obtained with the 2m telescope of the National Astronomical Observatory (NAO) Rozhen.

Employing the equation of mass transfer for the gravitational wave emission, we obtained the values of mass-transfer rate for each of the three objects. The less massive object has the smallest value of the mass transfer rate. As dwarf nova objects V803 Cen and CR Boo give signs of an intermediate region of instability in the disc formation.

Acknowledgements: We acknowledge with thanks the variable star observations from the AAVSO International Database contributed by observers worldwide and used in this research.

References:

1. Boneva, D., Zamanov, R., Boeva, S., Latev, G., Nikolov, Y., Cvetković, Z., Dimitrov, W., 2022, Astrophysics and Space Science, 367(11), p.110.
2. Duffy, C., Ramsay, G., Steeghs, D., et al., 2021, MNRAS, 502(4), 4953–4962
3. Elvius, M. 1975, A&A, 44, 117
4. Faulkner, J., Flannery, B.P.; Warner, B., 1972, Astrophys. J., 175, L79–L83.
5. Gokhale, V., Peng, X. M., Frank, J., 2007, Astrophys J., 655(2), 1010–1024
6. Green, R.F., Schmidt, M., Liebert, J., 1986, The Palomar-Green catalog of ultraviolet-excess stellar objects. Astrophys. J. Suppl. Ser., 61, 305–352.
7. Groot, P. J., Nelemans, G., Steeghs, D., Marsh, T.R., 2001, Astrophys. J., 558, L123–L127.
8. Honeycutt, R.K., Adams, B.R., Turner, G.W., Robertson, J.W., Ost, E.M., Maxwell, J.E., 2013, Publ. Astron. Soc. Pac. 125, 126–142.
9. Isogai, K., Kato, T., Ohshima, T., Kasai, K., Oksanen, A., Masumoto, K., Fukushima, D., Maeda, K., Kawabata, M., Matsuda, R., et al. 2016, Publ. Astron. Soc. Jpn., 68, 64.
10. Jha, S., Garnavich P., Challis P., Kirshner R., Berlind P., 1998, Int. Astron. Union Circ., 6983
11. Kato, T., Kunjaya, C., 1995, Publ. Astron. Soc. Jpn., 47, 163–168.
12. Kato, T., Baba, H., Masuda, S., Matsumoto, K., Kunjaya, C. 1999, Disk Instabilities in Close Binary Systems; Universal Academy Press: Tokyo, Japan, p. 45.
13. Kato, T., Nogami, D.; Baba, H.; Hanson, G.; Poyner, G. 2000, MNRAS, 315, 140–148.
14. Kato, T., Hambsch, F.J., Maehara, H., Masi, G., Miller, I., Noguchi, R., Aakasaka, C., Aoki, T., Kobayashi, H., Matsumoto, K. et al., 2013, Survey of Period Variations of Superhumps in SU UMa-Type Dwarf Novae. IV. The Fourth Year (2011-2012). Publ. Astron. Soc. Jpn., 65, 76.
15. Landau, L. D., E. M. Lifshitz, 1975, The Classical Theory of Fields. Pergamon Press, Oxford
16. Marsh, T. R., Nelemans, G., Steeghs, D., 2004, Mon. Not. R. Astron, Soc., 350, 113–128.
17. Nasser, M. R., Solheim, J.E., Semionoff, D.A., 2001, Astron. Astrophys., 373, 222–235.
18. Nasser, M. R. and Solheim, J.E., 2002, January. Accretion disc parameters for the dwarf nova V803 Cen system. In The Physics of Cataclysmic Variables and Related Objects (Vol. 261, p. 511).
19. Nelemans, G., Portegies Zwart, S.F., Verbunt, F., et al., 2001, Astron. Astrophys., 368, 939–949
20. O'Donoghue, D., Kilkenny D, 1989, MNRAS, 236, 319
21. Paczyński, B., Gravitational Waves and the Evolution of Close Binaries. Acta Astron. 1967, 17, 287.
22. Patterson, J., Kemp, J., Shambrook, A., Thomas, E., Halpern, J.P., Skillmand, D.R., Harvey, D.A., Vanmunster, T., Retter, A., Fried, R., et al., 1997, Publ. Astron. Soc. Pac., 109, 1100.
23. Provencal, J. L., Winget, D. E., Nather, R. E., Robinson, E. L., Clemens, J. C., Bradley, P. A., Claver, C. F., Kleinman, S.J., Grauer, A.D.; Hine, B.P.; et al., 1997, Astrophys. J., 480, 383–394.
24. Ramsay, G., Kotko, I., Barclay, T., Copperwheat, C. M., Rosen, S., Jeffery, C. S., Marsh, T. R., Steeghs, D. and Wheatley, P. J., 2010, MNRAS, 407(3), pp. 1819–1825.
25. Rivera Sandoval, L. E., Maccarone, T., Cavecchi, Y., et al., 2021, MNRAS, 505(1), 215–222
26. Roelofs, G. H. A., Groot, P. J., Benedict, G. F., McArthur, B. E., Steeghs, D., Morales-Rueda, L., Marsh, T. R., Nelemans, G., Astrophys. J. 2007, 666, 1174–1188.
27. Sion EM, Greenstein JL, Landstreet JD, et al., 1983, Astrophys. J., 269:253–257
28. Sion E. M., Linnell A.P., Godon P, et al, 2011, Astrophys. J., 741(1):63
29. Solheim, J. E., 2010, AM CVn Stars: Status and Challenges, Publ. Astron. Soc. Pac., 122, 1133–1163.
30. Warner, B., 1995, The AM canum venaticorum stars, Astrophys. Space Sci. 225, 249–270.
31. Wood MA, Winget DE, Nather RE, et al., 1987, Astrophys J, 313,757.
32. Wood M. A. Casey M. J. Garnavich P. M. Haag B. , 2002, MNRAS, 334, 87

ВРЕМЕТО В ТЕРМИНИТЕ НА ТЕРМОДИНАМИКА И АДВЕКЦИЯ – ФУНДАМЕНТАЛНИ СЛЕДСТВИЯ

Красимира Янкова

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

Ключови думи: *адвекция, термодинамика; релативизъм, космология*

Резюме: *Представяме нов начин за описание на времето във физиката – разглеждаме времето в качеството му на първично многообразие. Дискутираме поведението му, като основно състояние в термодинамика на пространство-време.*

Анализира се, каква е ролята на адвективния механизъм и как се отразява в поведението на еволюционните връзки изградени на локално и глобално ниво в каскадите многообразия и произхождащите от тях подмногообразия.

THE TIME IN THERMODYNAMICS AND ADVECTION TERMS – FUNDAMENTAL CONSEQUENCES

Krasimira Yankova

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

Keywords: *advection, thermodynamics; relativism, cosmology*

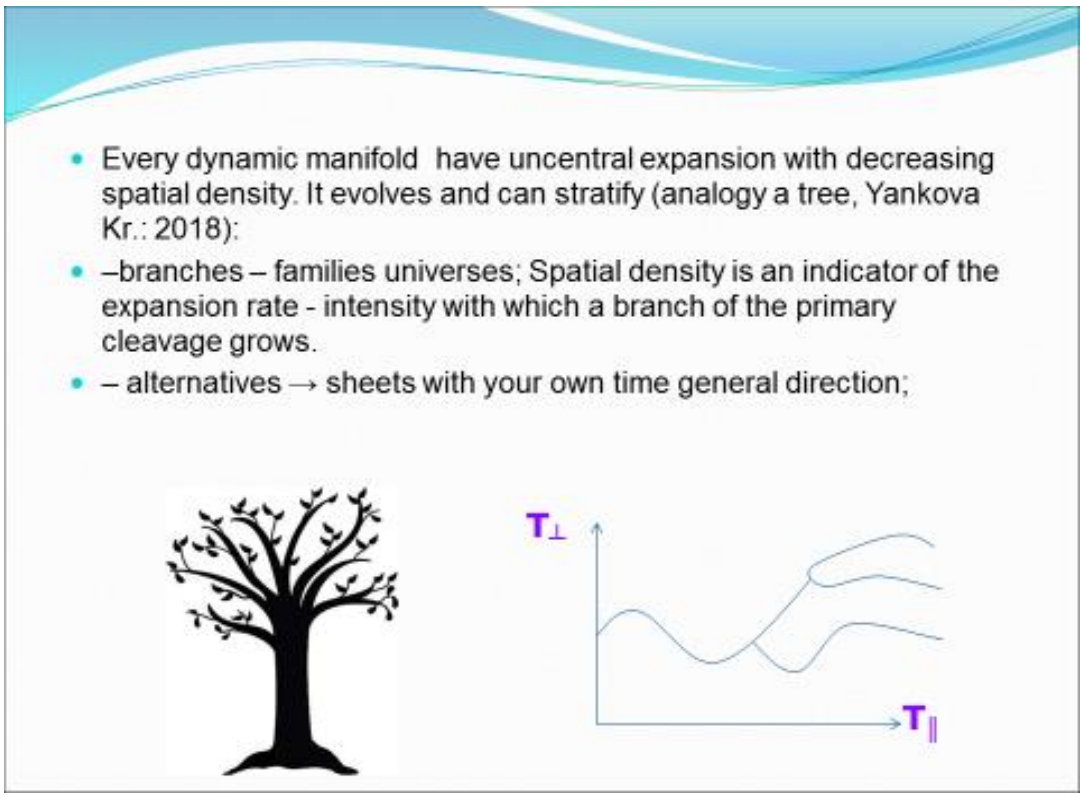
Abstract: *We present a new way the time describing in physics – we consider time as a primary manifold. We discuss its behaviour as a basic/ground state in space-time thermodynamics.*

We analyse what is the advective mechanism role and how it reflected in the behaviour of the evolutionary connections built at the local and global level in the cascade manifolds and the sub-manifolds originating from them.

Въведение

Въз основа на нашата работа с теория на акрецията установихме нова по комплексна и универсална форма на адвекция. В поредицата статии [1-7] разгледахме основните аргументи в подкрепа за фундаментален характер на механизма и в процеса на изследване регистрирахме общ признак в поведението му – адвекцията има склонност да създава каскади. Навсякъде проявява каскадност и формира каскади в средата.

Следвайки термодинамичната природа на механизма показахме нов космологичен подход поставяйки времето в основата на мирозданието [7]. Реалността е множество сшити и вплетени многообразия – формации. Интересно е да се проследи ролята на адвекцията в ТД-развитие на тези многопластови структури (Фиг. 1)



Фиг. 1. Схематично дърво на локален мултиверс

Времето като обект на термодинамиката

В качеството си на основно ТД-състояние времето има дуална природа: то може да се разглежда като квантова среда→ енергиини инфо-структури без причинно-следствена връзка; но и като непрекъсната среда→ енергиен фон, чиито инфо-структури свободно преминават едни през други, а информацията се пренарежда в тях без да предизвиква ТД-откат.

- Дървета пространствени многообразия в него, заедно правите и обратни връзки, които адвекция изгражда в тях и между, ще разглеждаме като индивидуални квантови обекти. Всеки има собствена *динамична "стрела на времето".* Енергията се групира на друго ниво през необратим преход – новите структури са дискретни – те губят свойствата на континуум.

Когато се ражда инстантон – възниква първично многообразие, това винаги намалява количеството на свободната енергия. Част от нея се капсулира в новата структура, а „енергията на трансмутация“ няма да бъде възстановена, до края на локалния мултиверс. Необратим процес които променя конфигурацията от основното състояние.

- Капсулираната енергия има малка ненулева стойност, по известна като тъмна енергия. Тя е заключена в обвивката на минималната ротационна повърхнина на инстантона, съответстваща на минималната ентропия в момента на затварянето му. Според третия принцип на ТДПВ [7] ентропията на системата клони към постоянна величина, която е ненулева. Това означава че вселената няма основно (непрекъснато) пространствено състояние, Тъканта на пространство-време е мрежа с ненулева грапавина.

Така Вселената е недетерминирана на това си еволюционно ниво и не се предполага безкрайно точно познаване на началните условия. Такива явления (земетресения, слънчеви изригвания) проявяват самоорганизираща критичност. Те могат да лавират между реда и хаоса, без да са фино настроени. В резултат началните условия в локалния мултиверс се формират/кристализират след преминаването в новото състояние – затварянето на инстантона, в процеса на разширение.

Роля на адвективния механизъм. Каскади

Защо времето се движи само в една посока? Защо съществува стрелата?
Може да се твърди че две от основните причини са защото:

- самата повърхност на инстантон е ентропия, а раждането му необратим преход и
- защото физическите закони се създават след възникване на инстантона.

На следващите нива вече трябва да се търсят бифургационни точки или моментите на дестабилизация на системата. В точките на бифуркация възникват множество равновесни решения, които позволяват развитието на разнообразни стабилни каскади. Втория принцип ТДПВ сочи [7], че на всяка стъпка намалява вероятността за връщане по същия еволюционен път – множество последователни бифургации намаляват шанса за обратимост (фиг.1). Така се гарантира разнообразието на локални мултивселени т.к. вероятността разгърнатите измерения да са еднакъв брой или да се наредят по един и същи начин →0!

По класификацията на Еренфест необратимите преходи биват от първи или втори род според това кои производни на термодинамичния потенциал се изменят скокообразно.

Системите реагират на тези преходи и ние наричаме тези реакции ТД-откати. Може да ги класифицираме в термините на ТДПВ в следните видове с техните подтипове:

- Основно състояние – Равновесие, но то може да търпи смущения.
- Първичен ТД-откат – реакция на затварянето на инстантона.
- Вторичен ТД-откат от първи тип – откъсва се нещо от тъканта на локалния мултиверс.
- Вторичен ТД-откат от втори тип – вътрешно структурни разместванията в локалния мултиверс.

Заключение

В заключение ще отбележим че е изключително важно е да придобием подходящите инструменти, като измерими физически величини, които да позволят адекватно тестване на теорията. Представената класификация на ТД-откати е добра стъпка в тази посока.

Важно е и да изясним каква е връзката на необратимостта на процесите с отместване на бифургационните точки спрямо началното местоположение вследствие мобилността на мрежовата решетка от тъканта на пространство-време породена от собствената динамика (разширението) на многообразието. Например типовете симетрии се нарушават в точките на бифургация. В различните вселени те се нарушават по различни начини и именно това определя фундаменталните константи на Вселената. Когато обаче включим и собственото разширение на локално многообразие, картинката става много по интересна.

Също така да оценим доколко, мрежовата каскада в многообразието, която е съвкупността от повтарящи се състояния в оригиналния модел, група или фрактал, може да се включи в търсения инструментариум.

Литература:

1. Yankova, Kr., 2016, Proceedings SES 2016, ISSN 1313-3888, pp. 58–61.
2. Yankova, Kr., 2017, Proceedings SES 2017, ISSN 1313-3888, pp. 85–88.
3. Yankova, Kr., 2018, Proceedings SES 2018, ISSN 1313-3888, pp. 85–89.
4. Yankova, Kr., 2019, Proceedings SES 2019, ISSN 1313-3888, pp. 62–65.
5. Yankova, Kr., 2020, Proceedings SES 2020, ISSN 1313-3888, pp. 81–83.
6. Yankova, Kr., 2021, Proceedings SES 2021, ISSN 1313-3888, pp. 77–80.
7. Yankova, Kr., 2022, Proceedings SES 2022, ISSN 1313-3888, pp. 47–50.

APPLYING SITUATION ANALYSIS SOLVER TO SATELLITE-SPACE DEBRIS CLOSE APPROACHES PROBLEMS. INTERFACE BETWEEN MODELS.

Atanas Atanassov

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

Keywords: *Space mission analysis and design, situational analysis solver, orbital event, situational condition, satellite-space debris close approaches, conjunction analysis.*

Abstract: *As the number of active and passive satellites of the Earth increases, the probability of a direct collision either with some other satellite or with space debris grows. Analysis of the functionality of space systems over time must take into account the possibility of such events, as well as the maneuvers performed to mitigate the danger of a direct collision. The possibility of using the developed processor for situational analysis to solve close approach problems between multi-satellite systems and space debris is considered. This processor is one of the developed computing tools at the core of a multiphysics environment for space mission simulations. The focus is on the interface between models of multi-satellite systems and space debris systems.*

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ПРОЦЕСОРА ЗА СИТУАЦИОНЕН АНАЛИЗ ПРИ РЕШАВАНЕ НА ЗАДАЧИ ОТ ТИПА „СБЛИЖАВАНЕ МЕЖДУ СПЪТНИК И КОСМИЧЕСКИ ОТЛОМКИ“

Атанас Атанасов

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

Ключови думи: *Анализ и проектиране на космически мисии, процесор за ситуационен анализ, орбитални събития, ситуационни условия, сближаване между спътници и космически отломки;.*

Резюме: *С нарастване на броя на активните и пасивни спътници на Земята се увеличава вероятността от пряко стълкновение, както между спътници, така и между спътници и космически отломки. Анализът на функционалността на космическите системи във времето трябва да отчита възможността от такива събития, както и от извършваните маневри за смекчаване на опасността от пряко стълкновение. Разглежда се възможността за използване на разработения процесор за ситуационен анализ за решаване на задачи на сближаване между много-спътникови системи и космически отломки. Този процесор е едно от изчислителните средства в основата на мултифизична среда за симулации на космически мисии. В центъра на вниманието е интерфейса между модели на много-спътникови системи и системи от космически отломки.*

Introduction

In recent decades, human activity in space has been increasing and this is expected to continue in the future [1]. Missions involving different numbers of satellites of different classes are developed and implemented. Federations of missions aimed at solving common tasks are considered. Horstmann at all. [2] consider various sources of the increase in the number of space debris. Lewis and Marsh [3] discuss various patterns of debris growth. The increasing number of space debris is emerging as a significant problem in the near future.

The development of models for computer simulations of the functioning of satellite systems in the conditions of the hostile environment space environment (in particular, the impact of space debris) can provide helpful information at various stages of the preparation to the realization of the missions. The inclusion in the analysis of satellite missions and space debris reveals opportunities for solving

tasks related to reducing the danger of direct collisions, as well as possible collisions [4]. The modification of the functionality of multi-satellite missions/systems to solve relevant tasks can also be explored further.

Algorithms, methods, and tools for simulations of space missions are developed at IKIT. This paper presents part of the work on the development of a situational processor for determining close approaches between satellites and space debris. Attention is focused on the semantics of communications between models within a multiphysics environment for space mission simulations.

Development of tools for Multiphysics simulation of satellite missions

In [6], a multiphysics multi-layer simulation model including various basic objects was presented. Fig. 1 shows a part of this model that is relevant to the present consideration.

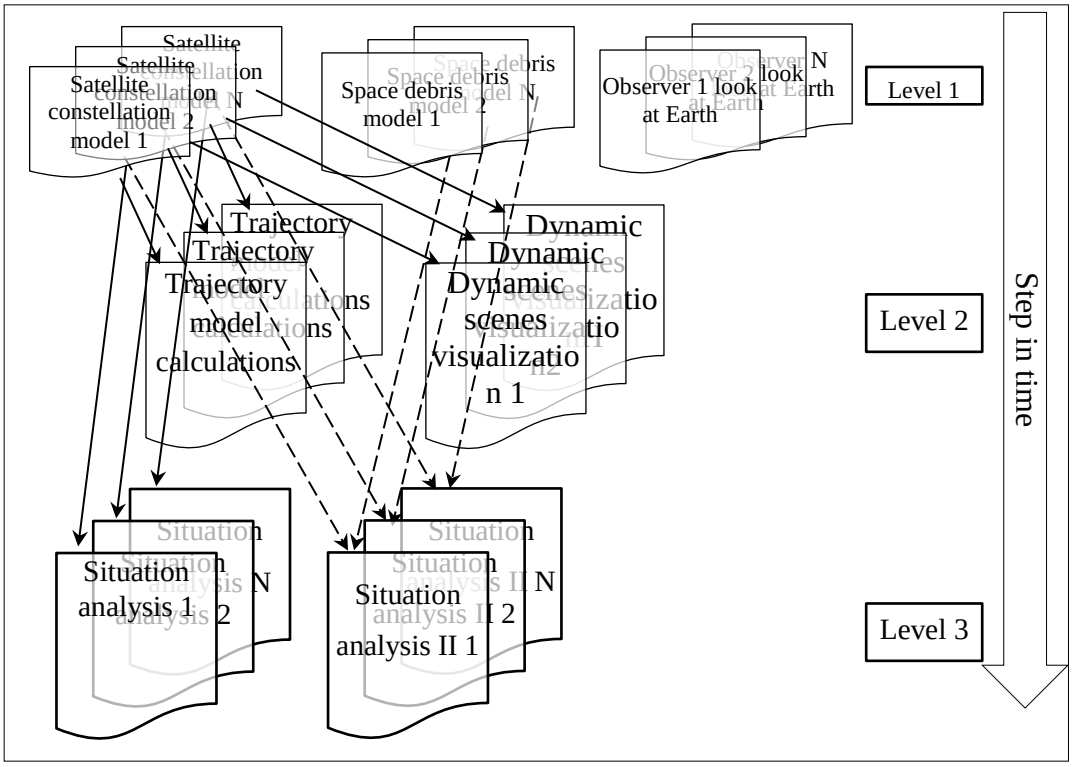


Fig. 1. Part of the conceptual scheme of multiphysics environment for space mission simulation

The different models are located at levels corresponding to the sequence of execution of the respective solvers. At the first level are models of multi-satellite systems and space debris. Other models at this level are "Observer" models, which are auxiliary in nature and used to display dynamic scenes. At the second level are models related to the calculation of parameters of the space environment at points of the trajectory of the satellites from the various satellite systems included in the general simulation model. At this level are models related to the visualization of some dynamic scenes. At the third level are models of situational analysis.

The presented collections of models, which are vertically related to models of basic space objects (satellites, systems of satellites, and space debris, all in the conditions of the atmosphere, ionosphere, and magnetosphere) (can) be connected to each other through interfaces described in corresponding descriptors [6]. Based on these descriptors, relevant solvers take the results of the previous ones and thus simulate various processes (mechanical, situational, mechatronic, and functional related to the operation of subsystems and payload of individual satellites).

In the conditions of federations between separate satellite systems, connections between some models from different systems connected to major space objects are also necessary. Examples of such connections are tasks for convergences between active satellites and objects from different populations of passive, failed satellites, debris from satellites, and other space debris.

Each model is characterized by specific attributes. Setting attribute values to a model defines a corresponding object. The relationships of an object to other objects are also important. The attributes of individual objects are stored in descriptors. Each level of Figure 1 has a separate descriptor.

The number of descriptors for a level and the starting address at which it is located are shared by a named common area. For this purpose, subroutine **add_object** is used (Fig. 2) [7].

```
external      SatelliteIntegratorUPC
  …
CALL  CreatePoolThreads(SatelliteIntegratorUPC,NumThreads,Sit_threads_par,Sit_ha)

  AI_pool_par%AI%num_threads    = NumThreads
  AI_pool_par%AI%    ha_race       = AI_handler_addr  !ha_1                    a)
  AI_pool_par%AI%counter_adr      = AI_GlbCount_addr)
  AI_pool_par%AI%thread_par_adr= PoolParam_addr
  AI_pool_par%AI%granulation       = Granularity

   CALL  add_object(num_AIs,AIs_descriptor_adr,AIs_descriptor_adr,AI_pool_par)
!_____________________________________________________________________________
  IVP_par_SpCon%kind              = 1
  IVP_par_SpCon%sort              = 2
  IVP_par_SpCon%name              = s_const_name                    b)
  IVP_par_SpCon%IVP%solver_index    = num_AIs;
  IVP_par_SpCon%IVP%num_objects    = Numsat
  IVP_par_SpCon%IVP%t_adr          = LOC(t); IVP_par_SpCon%IVP%dt_adr   = LOC(dt);
  IVP_par_SpCon%IVP%xvn_adr       = xvn_adr;
  IVP_par_SpCon%IVP%xvk_adr       = xvk_adr;
  IVP_par_SpCon%IVP%eps_adr       = eps_adr;
  IVP_par_SpCon%IVP%adr_Grv_model = adr_perturbations;
  IVP_par_SpCon%IVP%len_Grv_model = len_Grv_model
  IVP_par_SpCon%IVP%transfer_data_adr= transfer_adr
  IVP_par_SpCon%IVP%work_data_adr  = work_adr
```

Fig. 2. a). Descriptor creation of solver descriptor; б). descriptor creation of initial values problem

Figure 2.a shows a descriptor of computing processors. The attributes it includes are: **num_threads**- number of threads, **thread_par_adr**- memory address where the solver thread pool parameters are saved, **ha_race**- memory address where an event handler is stored, which is used for synchronization between solver threads, **counter_adr**- subtask counter address and **granulation**- number of subtasks solved at once by one thread. With the **add_object** subroutine, the descriptor is written in memory together with other descriptors under a number, which is written in a special **solver_index** attribute of the satellite constellation descriptor (figure 2.b). This second descriptor contains various attributes that fully define the satellite constellation model. Further development of the model may lead to more attributes. The **add_object** routine has polymorphic properties and can be used for different descriptors.

Situational problem composer

An editor representing a dialogue form with various controls has been developed for composing situational problems. First, a space mission is selected among those displayed in the list box control. Depending on the type of the multi-satellite satellite system, they are selected from among possible (contextually determined) situational conditions and displayed in another list box control. The remaining objects are displayed in another window. One of them can be specified for the composition of situational tasks between two multidimensional objects (a close approach between satellites and space debris). Situational tasks between satellites from different multi-satellite missions within a federation are possible. Information is then taken from the descriptors of the selected objects. Some of this information relates to the dimensionality of the objects (number of satellites and number of space debris). Other information about the addresses in the memory where the state vectors of the satellites and space debris are located is copied also from descriptors of the space mission and space debris. The two objects (space mission and space debris population) must be created in advance - one based on a model for a multi-satellite system and the second, a collection of space debris (figure 1).

After collecting the necessary parameters and compiling situational tasks, an actual situational solver is created to solve the compiled tasks. The descriptor of this solver is added to the already created descriptors with the following subroutine (Figure 3.a).

In addition, a descriptor of situational tasks is created (Figure 3.b). This handle is used to communicate with other solvers as well as to control the situation solver. Information about the solver is recorded in the descriptor of the situation problems. Using this information, the solver is started for each time step.

Access to the addresses of the space debris state vectors is provided through a named common area **/cDebris/**.

Situational problem solver

A situational processor was developed for solving high-dimensional problems [5]. For this purpose, it is parallelized based on computational flows (thread parallelization). Each actual situational processor is created by a special subroutine with the launch of a specified number of computational threads to solve a separate group of situational tasks. Different groups of situational tasks can be solved within separate situational models. The information required for processing by the situational solvers is passed to them from parent computing threads through buffer subroutines [5]. One part of this information is contained in situational task descriptors (Figure 4). The management of the computations by the threads of the situation processor is done by a universal subroutine for managing different solvers [8]. This subroutine calls the real subroutine for situational analysis (the actual, specific part of the processor). It in turn calls separate subroutine functions, each describing a predicate function representing a separate situational condition.

```
 external                    SituationProcessorInterUPC
                                                                                    a).
CALL  CreatePoolThreads(SituationProcessorInterUPC,NumThreads,Sit_threads_par,Sit_ha)
_____________________________________________________________________________________
  StPrb_param%kind            = 1      ! kind of the solver                          b).
  StPrb_param%name            = TRIM(IVP_par(kod_IVP)%name)//"/SitTask"
  StPrb_param%SitProb%pool_index = num_AIs
  StPrb_param%SitProb%IVPs_index = kod_IVP              ! num_IVPs
  StPrb_param%SitProb%num_objects= num_sat              ! number of satellites
.. StPrb_param%SitProb%max_num_sit= max_prob_cond  ! max number of sit conditions
  StPrb_param%SitProb%num_sci_task= current_prob       ! number of sit problems
  StPrb_param%SitProb%addr_sit_prob= adr_sit_probs      ! address in memory
.. StPrb_param%SitProb%TrParam_adr  = TrajectoryParam_addr
_____________________________________________________________________________________
CALL  add_object(num_StPrs,StPrb_descriptor_adr    =StPrs_descriptor_adr, &          c).
                 StPrb_descriptor_adr_new=StPrs_descriptor_adr,   level__3=StPrb_param);
```

Fig. 3. a). Creation of situational solver; b). preparation of the situational descriptor; c). Creation of situational descriptor

```
                          SUBROUTINE      SituationProcessorInterUPC(th_id_num)
 external      Psitanal_UPC
…
  integer            xvn_debris_adr,xvk_debris_adr;          logical          inter;
  common   /cDebris/inter,xvn_debris_adr,xvk_debris_adr
…
 task_descriptor%num_sat          = num_sat
 task_descriptor%t_adr            = t_adr;                task_descriptor% dt_adr = dt_adr
 task_descriptor%xvn_adr          = xvn_adr;              task_descriptor%xvk_adr= xvk_adr
 task_descriptor%max_num_sit    = max_num_sit
 task_descriptor%num_sit_prob    = num_sit_prob
 task_descriptor%sci_problem_adr= sci_problem_adr
 task_descriptor%len_sci_task       = sci_task_len
 task_descriptor%TrajectParam_adr= TrajectParam_adr
 task_descriptor%TrajectParam_len= TrajectParam_len;
 task_descriptor%inter                = inter
 task_descriptor%xvn_debris_adr  = xvn_debris_adr;
 task_descriptor%xvk_debris_adr  = xvk_debris_adr;              local_task_descriptor_adr= LOC(task_descriptor)

 CALL  UPC(th_id_num,num_Sit_threads,ha_1,adr_glb_counter,thread_par_local,granule, &
              Psitanal_UPC,local_task_descriptor_adr,local_num_sit_prob)

END SUBROUTINE  SituationProcessorInterUPC
```

Fig. 4. Part of the buffer subroutine illustrates the transmission of the necessary data to the situation solver via the derived type variable **task_descriptor**. The presence of an external relationship between objects is determined by the value of the variable named **inter**.

To ensure the possibility of checking situational conditions whose models require information from different basic objects, it is first necessary to have access to such information. The situational analysis processor obtains the starting addresses of this information for each object system. For each individual pair of "satellite-debris" or "satellite-satellite" objects, a separate situational task is compiled. Access to the data for each individual object is achieved by indexing relative to the initial address.

```
type      SitCond
  …  ! General attributes
  UNION
  …
   MAP
     UNION
      MAP
        integer    id_debris   ! satellite - space debris
      END MAP
      MAP
        integer    num_sat_61   ! satellite - satellite
      END MAP
     END UNION
     real    distance
     integer   interpolation_nodes ! Lagrange
                                   ! interpolation
     integer   node                ! Caunter
     real*8    node_t (5)          !
     real*8    nodes(6,5,2)  ! Storage for
                             ! interpolation
   END MAP
  END UNION
end type  SitCond
```

Fig. 5. Part of the situational condition model for close approach represented by a derived type variable. There is a separate attribute (**id_debris** or **num_sat_61**) for each variant ("satellite - space debris" or satellite - satellite)

"Close approach" situational condition

Each situational task involves one or more situational conditions. For situational tasks related to the assessment of close approaches between satellites and space debris, one such condition is sufficient. This condition is related to checking if the distance between two objects $D(t)_{sat,debris;i}$ (satellite-space debris) is within a specified interval $D_{threshold}$:

1. $$D(t)_{sat,debris;i} = \sqrt{(x(t)_i^s - x(t)_i^d)^2 + (y(t)_i^s - y(t)_i^d)^2 + (z(t)_i^s - z(t)_i^d)^2} < D_{threshold}$$

In this expression, the index i is the identification number of an individual fragment from a whole population. The coordinates of satellites and space debris are obtained based on numerical integration with a constant step, for discrete moments of time, by models and solvers shown in Figure 1 at the first level. For more efficient calculations, the integration step can be within tens of seconds to a minute or two. In such a case, space objects travel relatively large distances, and time intervals in which $D_{sat,debris;i} < Distance$ (set parameter) cannot be determined based solely on the coordinates calculated with numerical integration. These intervals are easily skipped, especially when the orbital planes of the objects subtend large angles. This problem is solved by interpolating at intermediate points within an integration step ∆t. Various interpolation methods can be used for this purpose [9]. In the present work as a start, applying the Lagrange method is reported. The coefficients are calculated once for the satellite and the other object at each time step.

In addition to calculating the minimum distance between the two objects, the relative velocity $v(t)_{s,d;i}^{rel}$ at the point of conjunction is also calculated:

2. $$v(t)_{s,d;i}^{rel} = \left| \sqrt{\left(v_{x,i}^s - v_{x,i}^d\right)^2 + \left(v_{y,i}^s - v_{y,i}^d\right)^2 + \left(v_{z,i}^s - v_{z,i}^d\right)^2} \right|.$$

Calculating the magnitude of this velocity is important in the event of an impact. This speed is calculated in case the distance between the objects is within specified limits $D_{sat,debris;i} < Distance$. The angle θ_i between the two vectors $\vec{v}_i^s$ and $\vec{v}_i^d$ is also relevant:

3. $$cos\theta_i = \frac{v_{x,i}^s.v_{x,i}^d + v_{y,i}^s.v_{y,i}^d + v_{z,i}^s.v_{z,i}^d}{\sqrt{\left(v_{x,i}^s\right)^2 + \left(v_{y,i}^s\right)^2 + \left(v_{z,i}^s\right)^2}.\sqrt{\left(v_{x,i}^d\right)^2 + \left(v_{y,i}^d\right)^2 + \left(v_{z,i}^d\right)^2}}.$$

A detailed description of the algorithms and programs for searching the time interval where (1) is fulfilled and determining the minimum distance between objects (within this interval) will be presented in another work.

Conclusion

The editor for composing situational tasks and the processor for situational analysis have been further developed to achieve a change in the semantics of the relationships between models related to different underlying objects. We are also working on a situational condition for checking the conjunction between active satellites and space debris below a certain threshold of admissibility. After the initial development of the main additional means, optimization is forthcoming.

Essential in the work is the interface between models describing a sequence of processes related to different multidimensional objects (space debris, multi-satellite systems). This approach can be used to simulate communication between satellites from different satellite systems within a federation. For this purpose, changes have been made to both the modeling tools (models of situational tasks) and the processor for solving situational tasks.

Reference:

1. Selva, D., A. Golkar, O. Korobova, I. L. I. Cruz, P. Collopy et al. (2017) Distributed earth satellite systems: What is needed to move forward?, Journal of Aerospace Information Systems, 14(8), 412–438.
2. Horstmann, A., Kebschull, C., Müller, S., Gamper, E., Hesselbach, S., Soggeberg, K., Ben Larbi, M.K., Becker, M., Lorenz, J., Wiedemann, C. and Stoll, E., 2018. Survey of the current activities in the field of modeling the space debris environment at TU Braunschweig. *Aerospace*, *5*(2), p.37.
3. Lewis, H. G. and Marsh, N., 2021, May. Deep time analysis of space debris and space sustainability. In *Proc. 8th European Conference on Space Debris*.
4. Smirnov, N. N. ed., 2001. *Space Debris: Hazard Evaluation and Debris*. CRC Press.
5. Atanassov, A. M., 2016. Parallel satellite orbital situational problems solver for space missions design and control. *Advances in Space Research*, *58*(9), pp. 1819–1826.
6. Atanassov, A. and Atanassova, L., 2020. Development of Tools for Models' Design of Systems of Multi-Satellite Systems. *Proceedings SES*, *2020*, pp. 110–115.
7. Atanassov, A. M., 2015. Development Classes of Objects' Descriptors for Space Missions Simulation. *Proceedings SES*, *2016*, pp. 51–55.
8. Atanassov, A., UNIFICATION OF "POOL OF THREADS" CONTROL IN THE FRAMES OF DIFFERENT PARALLEL SOLVERS. In Proceedings of SES 2016, pp. 42–46.
9. Кальницкий, Л. А., Добротин, Д. А., Жевержеев, В. Ф., and Сапогов, Н. А., 1976. Специальный курс высшей математики для втузов.

АСТРОНОМИЧЕСКИ АСПЕКТИ НА КАЛЕНДАРНОТО ДАТИРАНЕ

Ангел Манев[1], Алексей Стоев[1], Динко Господинов

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: amanev@abv.bg

Ключови думи: *календар, астрономия, история, датиране*

Резюме: *Проведено и астрономическо изследване на датирани и записани астрономически събития в хронологиите на Георги Синкел и Теофан Изповедник. Доказано е, че двамата хронисти датират спрямо „Нова ера“, отместена с 8 години от общоприетата Нова ера, и така датирането на тяхното „Сътворение на света“, преди Рождеството се отмества в 5493 година преди Новата ера. Обяснено е календарното отместване с 8 години, което е налице и в други исторически датировки.*

ASTRONOMICAL ASPECTS OF CALENDAR DATING

Angel Manev[1], Aleksey Stoev[1], Dinko Gospodinov

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: amanev@abv.bg

Keywords: *Calendar, Astronomy, History, Dating*

Abstract: *An astronomical study of dated and recorded astronomical events in the chronologies of Georgi Sinkel and Theophanes the Confessor was also conducted. It was proven that the two chroniclers dated according to the "New Era", offset by 8 years from the generally accepted New Era. Thus, the dating of their "Creation of the World", before Christmas, is shifted to 5493 years before the New Era. The calendar shift of 8 years, which is also present in other historical dates, is explained.*

Единственият възможен, верен критерий в хронологията, за точно датиране на описано историческо събитие, е само тогава когато има записано и природно събитие, което може да бъде възстановено. Най-надеждно е датирането по състоянието на звездното небе ако хронистът е описал състоянието на звездите и/или планетите или наличие на комета или затъмнение. Това са проверяеми, неоспорими репери. Когато те са на лице, а нещо в датирането не е в ред, тогава се налага да се обърне внимание на начина на датиране – на отправната точка, която хронистът е използвал за последователното броене на годините. Във всички случаи верният критерий е състоянието на звездното небе, ако има записано неговото състояние. Всякакви други доводи са несъстоятелни и грешни! Затова, когато историците пренебрегват астрономическите записи, те не работят професионално а правят „свободни интерпретации“ – историята се превръща в сбор от легенди…

При датирането на реалните исторически събития историческата наука допуска много важна методологическа грешка, която изцяло прави датирането манипулирано и невярно. След като е прието, че от един момент нататък, момента на Раждането на Исус Христос, годините ще следват хода си напред във времето като „след Новата ера“ и назад от този момент като „преди Новата ера“, никой от изследвачите не се замисля как е определен този момент. Това е преди всичко теософски проблем, но след определянето му той вече става реален, материалистичен, научен репер за датиране на реални събития от човешката история.

Георги Синкел и Теофан Изповедник са единствените хронисти в човешката история, които оставят след себе си една Хроника, започваща от Сътворението на света до към 810 година от Новата ера, в която описаните реални събития са твърдо и еднозначно свързани със съответната поредна година от Сътворението [12], [17]. Теофан продължава Всемирната хронография на Георги Синкел, чиято Ера на Сътворението на света е годината 5500 преди

Новата ера, приета от Юлиянския календар. Последователността на годините при Синкел и Теофан е непрекъсната след 5500-та година Преди Новата ера на Юлиянския календар.

Хронологичната система, създадена от Теофан Изповедник е изключителна в цялата средновековна историография. Съчинението е структурирано чрез хронологични отрязъци по години. Всеки отрязък е предшестван от хронологичен запис-таблица, посочващ годината от Сътворението на света, от Въплъщението Христово и управлението не само на византийските и римски владетели и духовни водачи - патриарси и папи, но и на персийските, а в последствие и на арабските владетели и духовни първенци [9]. Независимо от някои неточности на Хронографията като цяло, Теофан е много точен, когато описва събитията в арабската история. Съществени проблеми има само с описанието и датировката на събития от западната история.

Съвременните исторически анализатори често прибягват до календарни корекции от 6, 7 или 8 години, когато трябва да използват Хронографията на Теофан и Георги Синкел. Това се обяснява или с необоснованото предположение, че Теофан използва за начало на Сътворението така наречената Алесандрийска ера, или с немарливостта на хронолога, или с неверността на източниците на Теофан. От тук е следвало и следва разминаването на годините на Теофан с тези от Григорианския календар със 7–8 години.

Астрономическите системи, които използва съвременната астрономическа наука, са базирани на летоброене, свързано с така наречената Нова ера. Създадени са множество астрономически програми с мощни бази от данни и сложни алгоритми, които могат да възстановят състоянието на небето над всяка точка от земната повърхност по всяко време, което е определено от конкретната система. Такива пакети са : различните версии на RedShift, StarNight, SkyCharts, SkyMap и други подобни. Проведените астрономически възстановки във времето, необходими за анализа, са осъществени чрез програмната система RedShift.

В Теофановата Хронография са споменати седем появи на комети в шест години, шест слънчеви и едно лунно затъмнения. В предишна публикация са описани подробностите на анализа на наличните в Теофановата хронография астрономически събития [6] . Проверката за наличието на комети показва, че в посочените от Теофан години или няма комети или не се наблюдават комети, с характеристиките, описани от Теофан. Направена и доказана е работната хипотеза, че едно и също астрономическо събитие се датира от Теофан и съвременната наука с разлика от 8 години. На анализ са подложени регистрираните в Хронографията на Теофан седем комети, шест слънчеви и едно лунно затъмнения при следните условия:

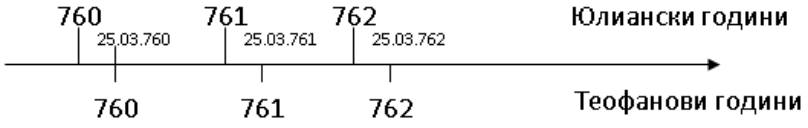
1. За място на наблюденията приемаме Константинопол, ако не е съобщено за друго място или място на събитие, станало по същото време. Тук, априори, се изключва възможността да се споменава за комети от други източници, които са писани на други географски ширини, защото ако Теофан използва такива, ще се получи несъответствие.

2. Приемаме, че комети с яркост по-голяма от 6.1 са невидими за нормалното човешко око.

3. Видимостта на кометата е възможна едва когато тя се намира над 15 градуса над хоризонта. Това е средно приета величина. Възможностите да се наблюдава комета и под 15 градуса , до към 4-5 градуса повлияват само върху продължителността на престоя на кометата на небето.

4. Точността на указаните месеци се изследва само ориентировъчно тъй като не е ясно дали в източниците, които използва Теофан, е използван Римския лунен календар и чиято философия не съответства на традиционните слънчеви и лунни календари [10].

5. Новата година при Теофан започва от 25.03 на съответната започнала Нова година на Григорианския календар както е показано на Фиг. 1.



Фиг. 1

Резултатите от изследването са показани в таблици 1, 2 и 3 при предположение, че описаните астрономически събития от Теофан Изповедник,, но отместени с 8 години, които да се доближават максимално до записаните им характеристики.

Таблица 1
Шестте комети, описани от Теофан Изповедник

Година в хрониката	Юлиански години	Комета	Изгрев	Злез	Звездна величина	Място на наблюдение
511	519-520	Бланпен	27.11.519	26.12.519	3.8	Изток
523	531-532	Брорзен - Меткалф	18.08.531	25.08.531	6.1	Север Сев.запад
736	744-745	Няма комета				Дамаск
752	760-761	Брорзен Халей	27.02.760 03.05.760	13.04.760 02.06.760	5.4-1.8	Запад Изток
754	762-763	Понс Винек	26.03.762	15.04.762	4.3	Изток Сев.изток
805	813-814	Хелфенцридер	23.09.813	08.10.813	4.3	Запад

В Таблица 2 са представени резултатите от анализа на слънчевите затъмнения според съвременното астрономическо моделиране.

Таблица 2
Шестте слънчеви затъмнения, описани от Теофан Изповедник

Година в хрониката	Юлиански години	Реално затъмнение	Час	Фаза
338	346	06.06.346	09:20	0.98
636	644	05.10.644	11:12	0.91
752	760	15.08.760	18:37	0.89
779	787	16.09.787	10.06	0.89
804	812	14.05.812	16:17	0.95
805	813	04.05.813	06:28	0.97

В Хронографията има споменато само едно лунно затъмнения през 613 Теофанова година. След отместване от 8 години, това трябва да се е случило в 621 Григорианска година. За това затъмнение Теофан не дава други характеристики, освен че е станало. През 621 година са станали две лунни затъмнения, според нашето моделиране на звездното небе през 621-ва годишна, показани в Таблица 3. Първото затъмнение, станало на 12.02.621 г. първо не се вписва в Теофановата 613-та година, защото е станало на 12.02., и второ, то става под видимия хоризонт от Константинопол. Второто затъмнение Теофан е описал на 8.08.613 г. и то е с времево отместване 8 години според Григорианския календар.

Таблица 3
Лунното затъмнение, описано от Теофан Изповедник

Година в хрониката	Юлиански години	Реално затъмнение	Час	Фаза
613	621	12.02.621	5:44	0.68
613	621	08.08.621	3:54	0.44

От проведения анализ на регистрираните в Хронографията на Теофан шест комети, седем слънчеви и едно лунно затъмнения се оказва, че при допусканията на хипотезата за 8 годишното отместване на годините на Теофан спрямо Григорианските години, много точно могат да се възстановят астрономическите събития. Следователно датирането в Хронографията на Теофан е исторически и времево вярно и точно но с отместване във времето с 8 години. Няма място за 6 или 7 годишни корекции, които някои изследователи приемат априори, за да нагласят хронологиите си.

Проблемът с датирането на възцаряването на НавуходоносорII не е решен еднозначно. Официалната наука датира възкачването му на престола на Навуходоносор II през 604 г. пр.н.е. Към тази година се привързват редица други важни исторически събития като разрушаването

на Първия храм на евреите и принципната връзка между датирането на древните хронисти и Юлианския и Григориански календари. Един от безспорните, според науката пред последните стотина години източник е откритата глинена плочка от времето на славния Вавилон, и тиражирата в научния свят като „Глинената плочка VAT 4956“ , записите върху нея са чрез клинописно писмо.

При различните анализите на датирането на Плочката и събитията, записани на нея, са заложени три големи методологични проблема :

Първо - неправилно превеждане на клинописните текстове.

Второ - неправилно определяне на началото на Вавилонската Нова година според сегашното датиране спрямо Новата ера,

Трето - неправилно интерпретиране на астрономическите констелации.

В основата и на трите проблема стои невъзможността на изследователите да се потопят в историческото време на онзи, който е записал преките си наблюдения. Много е подвеждащо да се приписват на древните наблюдатели знания, които човечеството е придобило стотици години по-късно [7].

Първият проблем започва още от преводът, който правят P.V.Neugebauer и E. F. Weidner през 1915 г. [15]. Преводачите превеждат донякъде добре клинописната плочка но си позволяват да внасят свои необосновани предположения, които могат да подведат следващите изследователи.

Вторият проблем е проблемът с определянето на юлианската дата на началото на Вавилонската Нова година. Произволно се определя 1 Нисану ту като дата на Пролетното равноденствие, ту като датата на неомесията преди или след Пролетното равноденствие. Сегашната методика на определяне на Пасхите на евреите не може да се приписва автоматично на предхождащата ги асиро-вавилонска цивилизация. Евреите вземат календара си от вавилонците след 70-годишния плен и 200 години работят с него, преди да създадат своя алгоритъм за пресмятане на Пасхите 100-200 години по-късно.

Третият проблем се дължи на недостатъчната прецизност на анализаторите. Например: приема се за неоспоримо доказателство за описана от вавилонският наблюдател определена конфигурация на планетите и съзвездията на небето, а в същото време или Луната е във фаза новолуние и е невидима, или констелацията е през деня, когато планетите не се виждат. Позоваването на „изчисления на древните астрономи“, които не са се сбъднали е несериозно.

На Плочката е записано, че описваните по-долу събития стават през 37-та година от царуването на Навуходоносор II. Някой изследователи, преди нас, са публикували изследвания, в които доказват, че астрономическите констелации, така както са описани на Плочката, могат да станат само през 568г.пр.н.е. [5] и годината на възцаряването е 604г.пр.н.е. цнето на възкачването на Навуходоносо II през 604 г. пр.н.е. потвърждава датирането на разрушаването на Първия храм на евреите през 586 г. пр.н.е. и това не противоречи на цялостното възстановяване на Библейските събития, описани за това време [11] . Ако се вземе предвид, че Първият плен на евреите, предсказан от пророк Йеремия 25:11 [2] трае точно 70 години и се разбира, че пленът трае от разрушаването на Първия храм с влизането в експлоатация на Втория храм, няма противоречие с подредбата на събитията върху времевата ос.

Георги Синкел, в своята Всемирна хронография, датира описаните от него събития по ерата на Юлий Африкан – 5500 година преди „Новата ера“. Той не разполага с анализ на записите на Плочка VAT4956! Той не използва за датиране Александрийската пасхалната ера на Аниан и Панадор [8], [13]. Той разполага само с писмени източници за датираното събитие от библиотеките в Александрия и Константинопол**.** Георги Синкел е записал, че възкачването на Навуходоносор II става през 4888 година от Сътворението, или 612 г. пр.н.е., или описаните събития на Плочката VAT4956, трябва да са станали през 576 г. пр.н.е.. Следователно е налице 8 годишна разминаване на неговата датировка от сега официално доказаното възкачване на Навуходоносор II през 604г.пр.н.е. Юлианския календар.

Изследването цели да се провери възможността годината 576 преди Новата ера да е 37-та година на царуването на НавуходоносорII. За целта се съпоставят описаните в плочката астрономически събития с възстановената карта на звездното и възможността те да се случат през 568 и 576 г. прреди преди Новата ера. В основата на анализа стоят преводите на P.V.Neugebauer [15] и A.Sachs [16]. Възстановяването на картината на звездното небе е проведено на базата да планетарнатните, програмни звездни системи RedShift 7 и Starry Night Pro 5. Тестването е направено с цел избягване на изкривявания поради различните алгоритми на възстановяване на небесните конфигурации. Приема се, че по-времето когато е писана плочката, 1 Нисану се е определяло според правилото: Първи Нисану е неомесията преди пролетното равноденствие за съответната година. Приема се, че Вавилонският календар съдържа последователно следващи 12 месеца с продължителности от 29 и 30 дни, като

четните номера на месеците са с по 29 дни а нечетните с по 30 дни. Пролетното равноденствие е на 27.03 и Първи Нисану на годината 568 преди Новата ера е 22.04.568 г. пр.н.е а през 576 е 22.03.576 г. пр.н.е.. Последователността на месеците е както следва: Нисану, Айру, Сивану, Дуузу, Абу, Улулу, Ташриту, Архасамана, Кисливу, Тебету, Шабату, Аддару.

За анализа имат стойност само астрономическите данни, записани на Плочката в които точно е указано за кой ден от годината става въпрос и точното място на светилата на небето. На анализ са подложени следните записи по редове: Лицева страна – 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17. Обратната страна на плочката VAT 4956 : 3, 5, 6, 7, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20.

Общо изследваните астрономически ситуации, записани на Плочката и подлежащи на точно идентифициране, са 41. От тях Само 3 не съответстват на реалното състояние на небето по това време. Две от несъответствията са незначителни и поставят под съмнение календарната датировка на станалото. Единственото несъответствие на описаната констелация с реалната е на 18-ти Айру (23.05) от 11 ред на лицевата страна на Плочката и то представлява 2.4% от изследваните констелации. Изследването на описаните констелации, за възможни през 576г.пр.н.е не даде близък до този резултат. Следователно еднозначно и категорично, чрез астрономическите констелации, е доказано, че на плочката VAT 4956 са записани астрономически ситуации, единствено възможни само през 568г.пр.н.е. Доказано е и, че Георги Синкел определя годината на възкачването на Навуходоносор II с 8 години по-рано от записа на плочката VAT 4956.

Доколкото Теофан Изповедник продължава Всемирната хронография на Георги Синкел, то той продължава датирането на описваните събития по начина по който го прави Георги Синкел. Следователно отправната точка (Новата ера) в двете хронологии е една и съща. Тази тяхна Нова ера се разминава с официалната Нова ера на Юлианския календар с 8 години. Преди Новата ера датите на които са станали описаните събития при Синкел са с 8 по-големи, а след Новата ера годините на Теофан са с 8 години по-малко. Следователно тяхната „Нова ера“ се позиционира в 8-ма година СЛЕД официално Нова ера, маркираща теософското събитие „Въплъщаването“ на християнския Бог – Христос. Двете изследвания по-горе, на астрономическите събития в Хронографията на Теофан и възцаряването на Навуходоносор в Всемирната хронография на Георги Синкел, доказват това твърдение, чрез неоспоримите събития на звездното небе.

Ако се тръгне по пътя на анализа на генерацията на Ерите от Сътворението на Света, каквато ера използват и Синкел и Теофан, е гарантирано, че ще се получават резултати с множество предположения и догадки, които не обясняват календарната корекция [4],[13],[14]. Вторият подход е да се анализира отправната точка „Нова ера“, година та на Рождество Христово, към която привързват Ерата на Сътворението на Света и Георги Синкел и Теофан Изповедник.

Новата година според Синкел и Теофан се пада на 25.03 следващата Юлиански или Григорианска година, Фигура 1. Или месец декември на Синкел и Теофан се позиционира след началото на следващата Григорианска година. Например краят на 7-ма година на Синкел и Теофан ще бъде в началото на 8-мата година по Юлианския календар. Така се формира Осем годишната календарна разлика между описваните от Синкел и Теофан събития, и датирането на същите тези събития според Юлианския календар. Остава открит въпросът защо е налице тази Осем годишна календарна корекция?

За годината на Раждането на християнския Бог Ийсус Христос има записано само в две от Евангелията на Апостолите – това на Апостол Матей и на Апостол Лука. В първото се разказва за посещението на тримата влъхви при Ирод Велики, които са дошли да се поклонят на току що родения Ийсус. Знае се, че Ирод Велики умира в 4 г. пр.н.е. [1]. Следователно този ориентир не може да се използва за уточняването на датирането на Георги Синкел.

В Евангелието на Апостол Лука, Глава II, е указано, че Раждането става в годината, когато е първото преброяване, откакто Квириний управлява Сирия. Това преброяване е достатъчно добре локализирано във времето – то се провежда през 7-ма година след Новата ера [1].

Георги Синкел е византийски монах, чиито интелект надминава многократно интелекта на съвременниците му. Той нарича Апостол Лука „Великият евангелист“, следователно трябва да се насочи вниманието на изследователите към отношението на Синкел към Апостол Лука и написаното то него. Във Всемирната си хронография, когато пише за това как датира, той пише: „Всичко това не е съчинено от нас самите, но е взето от преданията на блажения апостол и архиепископ Римски и свещено-мъченик Иполит, и на преподобния монах Аниан, съставил 11-я 532-годишния пасхален цикъл с точни схолии, и на святия монах и философ Максим, на мъченика и изповедника, на великия учител на Църквата“ [12].

Според Grumel [13]:“Той хвали Африкана за това, че той е поместил въплъщението на Христос в 5500 година от Сътворението на Света, както това прави и самият той, но тогава когато неговата (на Синкел) собствена дата 5500 съответства на осма година от нашата ера.“

По този начин той самият съобщава, че датира по записаното от Апостол Лука, датираните от него събития. Рождеството е събитие в края на месец декември, следователно то ще се позиционира в началото на следващата, 8-ма календарна година, която е първата от стартовата дата на датирането на Синкел и Теофан (Фигура 1). Георги Синкел остава верен на „канона“ на Юлий Африкан и Аниан за точните 5500 отстояние на Сътворението на Света преди „Слизането на Господ Исус Христос в материята“ [8]. Така позиционирайки „Новата ера“ в 8-ма година след Юлианската Нова ера ще се получи Година на Сътворението 5493 пр.н.е., където попадат на времевата ос Александрийската ера на Сътворението на Света на Панадор и Аниан [13].

Налага се твърдението, че и двамата хронисти: Георги Синкел и Теофан Изповедник използват за отправна точка, наречена от тях „Нова ера“, годината след 7-ма изпълнена година, отчетена според Юлианския календар година. Историческите изследвания на хронологиите на Георги Синкел и Теофан Изповедник трябва да бъдат пречупени през тази много важна 8 годишна корекция, наложена от реалните събития на небето над нас. Или събитията, записани от Теофан Изповедник, трябва да се позиционират с осем години след Новата ера на юлианския календар за да съвпаднат със същите събития, описани от други хронисти.

Литература:

1. Бек, С., Бран М., Еврейска история от края на библейския период до днес, 1895г., изд.Израелски клуб "Съединение", София, 1922 г.
2. Библия, изд. Св.Синод на Българската църква, 1925 г.
3. Ньютон, Р.Р. Преступление Клавдия Птолемея, М.: Наука, 1985. – 384 с.
4. Кузенков, П. В., О произхождении Александрийской эры (по повду книги А. Моссхамера), сборник статей памяти профессора И.С.Чичурова, Москва, 2009.
5. Ньютон, Р.Р. Преступление Клавдия Птолемея, М.: Наука, 1985. – 384 с.
6. Манев, А., Танев Т., Ташев, Астрономически аспекти на определянето на датите на исторически събития при Теофан Изповедник, НВУ „Васил Левски”, Сборник доклади от Годишна университетска научна конференция, 20-21 октомври, гр.Велико Търново, стр.138–144, ISSN 2367-7481
7. Манев, А., Танев Т., Господинов Д., Астрономически анализ на датирането на 37-та година на Навуходоносор, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция 28-29 май 2020 година, Велико Търново 2020 г., Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски”, ISSN 2367-7481, стр. 583–592.
8. Танев, Т,, А.Манев, В.Ташев, Ерата на Георги Синкел – препъни камък на съвременните историци, Science&Technologies,VolumeV, Number 7, 2015, Social studies, стр. 118–123, ISSN 13-14-4111,
9. Танев, Т., Манев А.,Исторически парадокси на хронологията, България в световната история и цивилизации – дух и култура, ДАНГРАФИК, Варна, 2015, стр. 218–240, ISSN 1314-7404
10. Танев, Т.,А.Манев,В.Ташев,Д. Господинов, Характерни особености на Римския лунен календар, Science & Technologies ,Volume IV, Number 7, 2014 Social studies, стр. 129–134, ISSN 13-14-4111, http://www.sustz.com/journal/VolumeIV/Number7/Papers/TanyoTanev2.pdf
11. Танев, Т, Манев А., Ташев В., Библейска хронология, Разпятие, Нова ера, Национален военен университет “Васил Левски” - Университетската годишна научна конференция, 27-28 юни 2013 г. гр. Велико Търново, Сборник доклади, Том I, стр. 195–205, ISSN 1314-1937
12. Georgius Syncellus et Niceforus CP., Corpus Scriptorum Historiae Bezantinae, ex recensione Guilelmi Dindorfii, pars 6, Volumen I., Bonnae Impensis Ed. Weberi, MDCCCXXIX, 1829.
13. Gumel, V., La Chronologie, De l’Institut Français d’Études Byzantines, PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE, PARIS, 1958.
14. Mosschammer Alden A., The Easter Computus and the Origins of the Christian Era, (Oxford etc.: Oxford University Press, 2008. 432 p. ISBN 978-0-19-954312-0.).
15. Neugebauer, P.V. and E. F. Weidner, Ein astonischer Beobachtungstext aus dem 37. Jahre Nebukadnezar II. (-567/66) (Ber. uber die Verh. der Konigl. Sachs. Ges. dew Wiss., Phil.-hist. Kl. Bd. 67/2. 1915.
16. Sachs, A. and Hunger, H. , Astronomical Diaries and Related Texts from Babylonia. Volume I. Diaries from 652 B.C. to 262 B.C. Verlag der österreichische Akademie der Wissenschaften, 1988.
17. Theophanis Chronographia, ed. C. de Boor I-II. Lipsiae 1883.

ФИЛОСОФСКИ ПРОБЛЕМИ НА КОСМОЛОГИЯТА И ПОДХОДИ ЗА РЕШАВАНЕТО ИМ

Велко Велков

e-mail: velvel@mail.bg

***Ключови думи**: космология, философски проблеми, фундамент на физиката.*

***Резюме:** Докладът представя проблемите на космологията от философска гледна точка, причините за невъзможността да бъдат решени те от традиционните и утвърдени във физиката модели и теории, и разкрива възможности за тяхното решаване въз основа на нови резултати, най-същественият от които обосноваване, разкриване и определяне на реален фундамент на физическата реалност.*

THE COSMOLOGY PROBLEMS AND POSSIBILITY OF SOLVING THEM

Velko Velkov

e-mail: velvel@mail.bg

***Keywords:** Cosmology, Cosmological problems, Fundament of the physics*

***Abstract:** The Report presents the Cosmology problems from a philosophical point of view, the reasons for the impossibility of solving them with traditional and well-established models and theories in physics, and also reveals the possibilities for their solution, based on new results, the most significant of which is the justification, disclosure and determination of the real fundament of the physical reality.*

Космологията изпитва сериозни затрунения в усилията да изясни еднозначно, достоверно и в единство редица обективно наблюдавани физически явления и процеси, а още повече в изграждането на обща физическа теория, каквато към момента няма. Нерешено и проблемно е противоречието разширяваща се инфлационна вселена с разбягване на галактиките от една страна и привличането на материалните тела във всемирното пространство от друга, определяно като криза в космологията.

Проблемни от физическа и философска гледна точка са още въпросите за сингулярността като начало на Вселената със събитието Голям взрив (Big Bang (BB)), природата и механизма на гравитацията, пораждането на материята и придобиване на масата на частиците й, „тъмните" енергия и материя, „черните" дупки, инфрачервеното изместване на спектъра на електромагнитните колебания, дуализма частица-вълна и редица други. Всички те нямат безспорно обяснение, а за изясняването на някои от тях в космологията са предложени дори идеи, хипотези и модели близо до областта на научната фантастика. Двете господстващи във физиката теории, Теорията на относителността (ТО) и Квантовата механика (КМ), макар и изясняващи редица неща от физиката и със съществен принос за нея в техническо и технологично отношение, в теоретико-познавателно отношение също са безсилни пред указаните проблеми. За това сведетелства още и факта, че тези две теории не могат да бъдат обединени, въпреки неимоверните усилия за това, в единна или обща физическа теория. Широко известно е на научната общност какво предлага към момента физическата наука, в частност космологията, по всички тези проблеми, без това до води до тяхното решаване и затова в доклада няма да бъде отразено. За сметка на това в него, след кратко описание на причините за невъзможността да бъдат решени проблемните въпроси, ще бъдат подробно анализирани и предложени подход и възможности за решаването им.

Състоянието на космологията и физиката в най-общи линии, признато чрез публикации и схващания на водещи учени физици и космолози като Лий Смолин, Роджър Пенроуз, Джозеф Силк се свежда до отсъствието на философски подход, изразяващ се в разкриване на причините и естеството на явленията и процесите във физическата действителност. По-обобщено се съдържа в [1, 2]. Това становище, споделяно безрезервно и активно от автора на настоящия доклад чрез редица публикации през последните години [3, 4, 5] и основано на нови собствени изследвания, може за се уточни и допълни с три важни вметки към отклонението от философски подход, състоящи се в:

- отсъствие на взаимосвързаност, единство и обобщение в изследванията и разработките при изясняването и изграждането на модели и теории за наблюдаваните физически явления и процеси;
- неуместно прилагане на научно необосновани аналогии при изследването, като например, квантоване на „тъмната" материя, или наличие на гравигационни вълни с приписвана скорост, тази на светлината, след като природата на светлината и гравитацията са от съвсем различно естество, квантова гравитация и други;
- недооценяване на възловия въпрос за физическо начало или фундамент на физическата реалност. Без такъв фундамент физиката като същност е обективно невъзможна, а физическата наука непълна.

Всичко това води до положението, че изследванията на физическите явления и процеси се ограничават до следствията, каквито по същество са те, а изключват първоизточника и причините, които са по - важни. Парадокс е, че древните философи, например Талес, Демокрит, Аристотел и др., са поставяли тях с приоритет, за разлика от много съвременни учени.

Философският подход в изследването по проблемите на космологията изисква отговори на въпросите какво, защо и как, отнесени към изследваните явления или процеси. Какво представляват и включват те като физическа същност, защо и по силата на какви физически предпоставки и причини са такива, каквито ги наблюдаваме и изследваме, и как, по какви физически механизми са се формирали. Съвместените отговори на трите въпроса, съдържащи обезателно рационални, не хипотетични и въображаеми, физическо начало и елементи, осигурява правилност и достоверност на изследването и изграждането на представа, модел или теория по проблема. А общността на подхода или единството и връзката между отделните явления и процеси, както и с множество други такива, а не изолирано, отделно и само за себе си, гарантира изчерпателност и завършеност.

За болшинството от отбелязаните проблеми официалната физика няма коректни отговори на така поставените въпроси, а за някои от тях даже не ги и въвежда за решаване. А общност и единство при изследването по преобладаващата част от проблемите, въобще липсва. Това естествено води до неверни представи, идеи, хипотези, модели и теории, каквито са налице и в изобилие.

В подкрепа на направените констатации нека посочим типичен пример. Това е проблемът с кризата в космологията. На първия въпрос, какво представлява по същество явлението гравитация, притегляне между материалните тела, изкривяване на континуума пространство време или нещо друго. Няма досега установена физическа причина или предпоставка телата да се привличат, както и континуума да се изкривява, по очевидното обстоятелство, че континуума няма физически признаци, свойства и параметри, които да определят негова физическа същност, а още по-малко изкривяване. Защо телата се привличат или континуумът се изкривява, няма реално установена или теоретично обоснована причина от физически характер за такива тенденции. И как, по какъв механизъм с физическа основа, се реализира това явление. Вижда се, че на тези въпроси, няма обосновани и ясни, рационални отговори и решения. А как гравитацията се съотнася с друго явление, установеното обективно изместване на спектъра на светлината към нискочестотната област, което е основание на идеята за разбягване на галактиките и модела инфлационна вселена, е табу за физиката и космологията. Посоченият пример ярко свидетелства за липсата, първо, на правилен подход към изясняване на двете явления, и второ, изследването им изолирано едно от друго, при това както в исторически план, така и актуално. Не е ли при това положение логично да се допусне, че друг физически фактор обуславя и двете явления.

Същото се отнася и до другите проблемни въпроси, които от философски позиции звучат по следния начин:

- възможно ли е материята да произтича от континуума пространство-време, съгласно геометродинамиката на Джон Арчибалд Уилър [6] или енергията на вакуума, та дори с прилагателното "физически", каквато е офертата на официалната физика по въпроса;
- възможно ли е състояние на сингулярност във физическата реалност;
- реално събитие ли е ВВ, за да се приема за начало на наблюдаваното сега състояние на Вселената;

- разбягват ли се галактиките и по каква физическа причина;

- що за физически феномени са „тъмните" енергия и материя, и други.

Всички тези явления и процеси налагат основния философски въпрос, а именно, кое е общото и свързващото физическо звено между тях, а също и естествено физическо начало или първоизточник, от който те произтичат, формират се и същевременно е среда, в която взаимодействат и се развиват.

Логико-интуитивният подход в търсенето на отговор на този въпрос, налага мисълта, че по необходимост би следвало да има първична физическа същност или фундамент в основата на физическата реалност.

Убедеността в схващането за наличие на реален фундамент на физиката, естествено поражда освен научен интерес и стремеж към неговото установяване. Това предполага преди всичко теоретичното обосноваване на необходимостта и обективността за наличието му. Обосновката се основава на следните физически предпоставки:

- наличието на материя, със строго установените нейни свойства, параметри и стойности указва, че тя би следвало по необходимост да произтича от реална физическа същност, някаква субстанция със сродно по характеристики и свойства естество, вероятно отличаваща се само по стойностите на параметрите й. Малко вероятно е материята да произтича от нещо коренно различно като естество;

- крайната скорост на всички известни физически взаимодействия, както и между материалните образувания, конфигурации и структури, указва че това е възможно само при наличието на физическа среда посредник, с реални физически свойства и параметри;

- очевидната еволюция на физическата реалност и промяната при това на параметрите на нейните материални производни, което е неоспоримо, свидетелства и доказва, че такъв обмен е възможен само в среда с присъщи и налични физически свойства;

- естествената, изначална при генезиса им, сферична форма на всички материални формирования, конфигурации и структури, от микро до макро нива, указва за наличието на физически фактор и външно въздействие върху тях при формирането им, т.е. всеобхватно налягане от някаква физическа среда и първична пространствена симетрия на това налягане върху тях;

- стремежът на материалните тела във всемирното пространство едно към друго изисква фактор или среда, които да пораждат и предизвикват това, след като изкривяването на континуума определихме като нереално явление, а друга причина физическата наука все още не е установила.

Приемайки обосновката за необходимо и достатъчно условие за наличие на фундамент, осигурява платформа за неговото издирване, установяване и доказване. Това беше проведено в рамките на теоретични изследвания и разработки въз основа на безспорно и строго установените от физическата наука фундаментални величини, закони и зависимости, с универсално влияние и значение. Целенасочените усилия по разкриване на фундамента на физиката доведоха до определянето на нова, непозната и неизвестна към момента на физическата наука среда със специфични, различни от тези на материята, но реални физически параметри, изпълваща според изследванията и получените резултати, хомогенно, изоморфно и изотропно цялото всемирно пространство. Определени бяха следните параметри и изчислени техните стойности, както актуалните, така и в процеса на еволюцията на средата: плътност, специфичен обем, термодинамична величина, модул на еластичност, вътрешно налягане в средата, температура, скорост на разпространение на светлината в средата. При така определните параметри новоустановената същност, с висока степен на довереност, може да бъде отъждествена с „тъмната" материя, която физическата наука издирва, но не може да установи и определи.

Процесът по откриване на фундамента, основополагащата физическа същност, за краткост Същност, определянето на параметрите й, изчисляването на стойностите им, предложеният на тяхна база основен космологичен кръговрат на съвкупната физическа реаалност, отново за краткост Всемира, като модел, алтернативен на известните модели, са подробно описани в редица трудове и публикации [7, 8, 9]. Затова тук ще бъдат представени само възможностите за решаването на проблемите на космологията, отчитайки обективното наличие във физическата реалност на нейния естествен фундамент.

Континуумът пространство-време и „тъмната" материя вече са изпълнени с реално съдържание, новооткритата физическа същност, а не абстрактни категории. Тя е естествената база, първоизточник и среда на развитие на Всемира. Всички космологични явления и процеси в него се определят от нейните физически параметри в процеса на еволюцията й.

Материята, познатото барионно вещество, от което е изградено всичко материално, би следвало по необходимост да произтича от средата на фундамента, като елементарните частици, извличат маса от неговата маса с определената му плътност. Не и от фиктивна

енергия на вакуума с посредничеството на измислен Хигс бозон. Те формират свойствата си и взаимодействат в средата на фундамента.

Гравинацията като стремеж на материалните тела едно към друго следва да е резултат от налягането, упражнявано върху тях от масата, плътността на фундамента, и асиметрията в това налягане около тях, създавано от собствената им маса. Т.е., материалните тела биват изтласквани едно към друго, не привличащи се, при това със сила в пълно съответствие с известната формула на великия Нютон. Така установеният фактор, обуславящ движението на телата във всемирното пространство, изключва гравитацията като основен вид взаимодействие, защото обективно материалните тела не се привличат и взаимодействат, а са подложени на въздействие на Същността върху тях.

Наблюдаваното днес изместването на спектъра на светлината от космическите източници на светлина към низкочестоната област следва да се дължи на промяна на параметрите на Същността в процеса на еволюцията й, в чиято среда са генерирани някога и са се разпространявали във времето. Промяната на параметрите на средата, основно плътността, води съответно до промяна на дължината на вълната на светлината. И в никакъв случай не на разбягването на галактиките и небесните тела водещ до ефекта на Доплер, което е опорката за погрешния модел ВВ и еманацията му Инфлационна Вселена. ВВ е измислено и нереално физическо явление.

Тъмната материя е именно новооткритата същност с определените физически параметри и техни стойности.

Състояние на сингулярност във физичиската реалност е невъзможно и изключено, поради обстоятелството за наличието на нейния несътворим и неунищожим фундамент в процес на постоянна и непрекъсваема еволюция, докато сингулярността предпосавя прекъсване на еволюцията.

По този начин, изяснявайки философския въпрос за естествено начало и разкриване на фундамент на физическата реалност, определянето му като реална физическа среда, изпълваща всемирното пространство и предпоставяща явленията и процесите в нея, се решават логично и успешно проблемите на космологията и физиката в теоретико - познавателно отношение.

Литература:

1. Rovelli, C. Physics Needs Philosophy. Philosophy Needs Physics // Foundations of Physics. 2018. 48(5). P. 481-491. https://blogs.scientificamerican.com/observations/physics-needs-philosophy-philosophy-needs-physics/
   Превод на руски в https://lenincrew.com/physics-needs-philosophy/
2. В. Гейзенберг Физика и философия http://www.lib.ru/FILOSOF/GEJZENBERG/physicsandphilosophy.txt
3. Велко Велков. Физиката без фантазии – от сингулярността до реалността. Издателство „Симолини 94”, София, 2022.
4. Velko Velkov. On fundamental constants of the Universe. Aerospace Research in Bulgaria. Space Research and Technology Institute. Bulgarian Academy of Sciences. vol. 27, 2015. Sofia.
5. Велко Велков. Разкриване на скритата реалност или фундамента на физиката. Издателство „Симолини 94, София, 2022.
6. Дж. А. Уилер. Предвидение Энщейна, изд. “Мир”, Москва, 1970.
7. Велко Велков. Същността, нова хипотеза за съдържанието, структурата и еволюцията на Всемира. Полиграфически комбинат „Д. Благоев”, София, 2015.
8. Velko Velkov. Hypothesis of a cosmological model of the Universe without gravitation. Aerospace Research in Bulgaria. Space Research and Technology Institute. Bulgarian Academy of Sciences. Vol. 26, 2014. Sofia.
9. Velko Velkov. Basic cosmological cycle of the Universe. Aerospace Research in Bulgaria. Space Research and Technology Institute. Bulgarian Academy of Sciences. vol. 27, 2015. Sofia.

Session 2

Aerospace Technologies and Biotechnologies

Chairman: Corr. Member Petar Getsov
Secretary: Assoc. Prof. Nikolay Zagorski

UNMANNED AERIAL VEHICLE MISSION SIMULATION IN FLIGHTGEAR

Konstantin Metodiev

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

Keywords: *Unmanned Aerial Vehicle, FlightGear*

Abstract: *In the report hereby, a relatively easy-to-implement unmanned aerial vehicle simulator is considered. A 3D model of the aircraft was created in a CAD environment and subsequently exported into a format used by FlightGear simulator. Stability and handling quantities of the aircraft are obtained through CFD analysis and recorded in xml files that the simulator recognizes. A longitudinal flight control loop was investigated in addition. A test flight task was performed in the simulator and the obtained results were analyzed.*

ПОЛЕТНА ЗАДАЧА НА БЛА В СИМУЛАТОР FLIGHTGEAR

Константин Методиев

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

Ключови думи: *Безпилотен летателен апарат, FlightGear*

Резюме: *В настоящия доклад е разгледан сравнително лесен за реализация симулатор на безпилотен летателен апарат. Триизмерен модел на летателния апарат е създаден в CAD среда и впоследствие трансформиран във формат, използван от симулатор FlightGear. Характеристики на устойчивост и управляемост на самолета са получени чрез CFD анализ и записани в xml файлове, които симулаторът разпознава. Допълнително е изследван контур за автоматично управление на самолета в надлъжното движение. Изпълнена е тестова полетна задача в симулатора и са анализирани получените резултати.*

Introduction

Unmanned aerial vehicles (UAVs), also known as drones, are aircraft operated without a human pilot on board. They are controlled remotely by a human operator or can autonomously follow pre-programmed instructions. UAVs are utilized for various purposes, such as aerial surveillance, photography and videography, cargo delivery, scientific research, mapping, disaster response, and recreational activities, [1].

There are indeed simulators available for UAVs. Drone simulators provide a realistic and immersive environment to practice flight training, conduct mission planning, test new equipment configurations, and simulate various flight scenarios without the risk of damaging actual aircraft. These simulators can be beneficial for both recreational drone enthusiasts and professional operators.

Drone simulators commonly offer features such as:

- Flight training: Simulators help beginners learn the basics of drone flight controls, navigation, and maneuvering. They provide a safe environment for practicing takeoffs, landings, and various flight patterns.
- Camera simulation: Many simulators incorporate camera simulation, allowing users to practice aerial photography and videography skills. They often simulate different camera modes, settings, and stabilization controls.
- Realistic environments: Simulators offer a variety of virtual landscapes to mimic different flying conditions. This includes urban areas, rural landscapes, forests, mountains, and more.

Weather conditions like wind, rain, fog, or even emergencies such as engine failures can be simulated as well.

- Flight planning: Users can create and simulate missions, including flight paths, waypoints, and specific objectives. This is particularly useful for professional applications such as mapping, surveying, or search-and-rescue operations.
- Virtual models: Simulators have models of various drone types, allowing users to practice with specific drone models they intend to operate in reality. This helps simulate different flight characteristics, payloads, and limitations.

Some popular UAV simulators include DRL (Drone Racing League) Simulator, VelociDrone, Liftoff, FPV Freerider, and RealFlight, among others. These simulators have different features, physics engines, and available drone models. Some of them even support multiplayer races or competitions. Free and paid options are available, catering to both beginners and experienced pilots.

The project aim is to come up with methods and resources of doing a sophisticated yet affordable drone simulator yourself. The simulator is expected to serve multiple purposes, such as a teaching tool, to work out a solution to the mission planning problem, etc. The following paragraphs takes into consideration all design stages in succession.

Materials and Methods

In Fig. 1, two renders made by Autodesk Inventor Studio are shown, [2, 3]. The model layout bears a resemblance to many other UAVs widely available. The model of power plant has been inspired by Chinese DLE-60 [4] which is a piston, two-stroke, air cooling engine with a diaphragm carburetor and a backward mounted pusher propeller. The suggested empennage (a twin boom inverted-V tail) configuration is preferable but not obligatory. Deliberately accelerating the airflow through a classic U-shaped tail for instance would act upon the control surfaces, thus affecting (even worse, jeopardizing) the longitudinal stability and control. It is up to designer to make a right decision. The payload consists of a near infrared (NIR) and a visible light camera mounted on a gimbal. An advantage of the NIR camera is its ability to produce brighter images in dark environments, [5]. The payload is installed right behind the nose landing gear (NLG) as far away from the engine as possible. At first sight, it may look like a poor choice because the NLG strut does impede the camera field of view, indeed. On the other hand, both engine heat and vibrations must not interfere with the payload. What is more, the fuel tank is always being mounted right beneath the wing least the remaining fuel should shift the mass center location beyond allowable limits. In addition, a first-person view camera is mounted atop the tail. The autopilot might be installed wherever it is possible provided distance to the airplane mass center is known and set in advance. A one-stage Fowler flap is mounted on the wing to increase airfoil mean aerodynamic chord and camber when deployed. The Fowler flap is said to create a substantial amount of lift at the cost of a complicated and heavy deploying mechanism, a four-bar linkage in this particular study case, [2, 3].

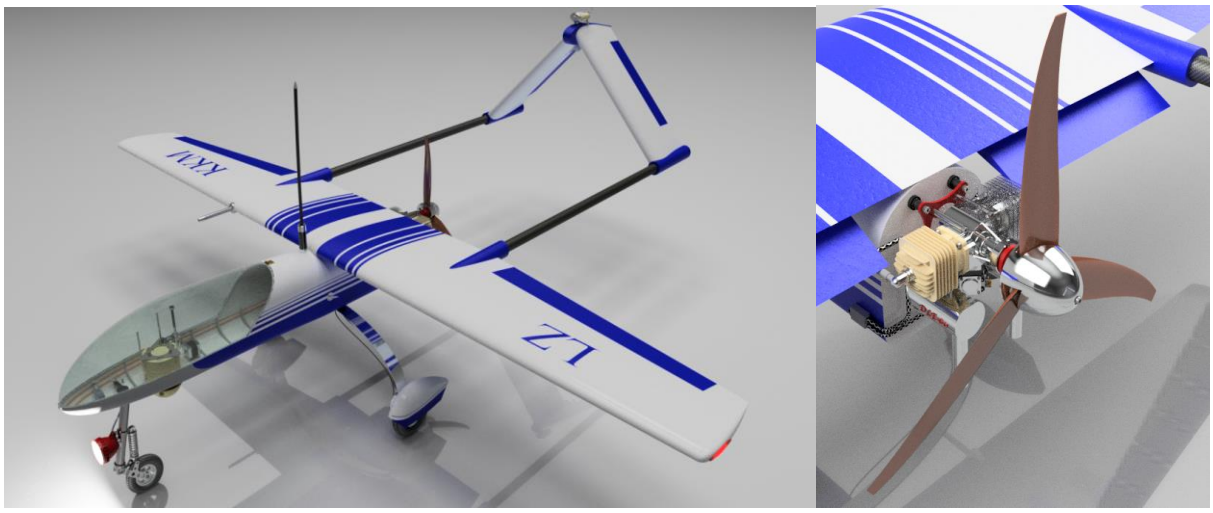


Fig. 1. “Flight of Fancy” project, [2] (left half) and engine DLE-60 with pusher propeller

A simplified longitudinal displacement autopilot has been used in the project to maintain constant pitch angle during steady longitudinal flight. Consider equations of aircraft longitudinal motion with stick fixed derived in textbook [6]. The reader might refer to eq. (1-59), (1-103), (1-128), and table 1-1. All addends are dimensionless.

$$\left(\frac{mU}{Sq}\dot{u}-C_{x,u}u\right)-\left(\frac{c}{2U}C_{x,\dot{\alpha}}\dot{\alpha}+C_{x,\alpha}\alpha\right)-\left(\frac{c}{2U}C_{x,q}\dot{\theta}+C_{w}\theta\right)=C_{Fx}$$

$$-C_{z,u}u+\left(\frac{mU}{Sq}-\frac{c}{2U}C_{z,\dot{\alpha}}\right)\dot{\alpha}-C_{z,\alpha}\alpha-\left(\frac{mU}{Sq}+\frac{c}{2U}C_{z,q}\right)\dot{\theta}=C_{Fz} \quad (1)$$

$$-C_{m,u}u+\frac{c}{2U}C_{m,\dot{\alpha}}\dot{\alpha}-C_{m,\alpha}\alpha+\left(\frac{I_y}{Sqc}\ddot{\theta}-\frac{c}{2U}C_{m,q}\dot{\theta}\right)=C_m$$

In equations above **m = const** is aircraft mass, **α** is angle of attack, **θ** is angle of pitch, **c** is mean aerodynamic chord, **S** is wing planform area, **q** is dynamic pressure, **u** is longitudinal velocity, **U** is total velocity, **Cx**, **Cz**, and **Cm** are aerodynamic coefficients (drag, lift, pitch moment), **Cw = –mg/(Sq)** is gravity coefficient. In equations (1), lateral disturbance forces and moments haven't been taken into account whatsoever.

Stability derivatives taking part in eq. (1) have been estimated according to a recipe published in textbook [7], p.125, regarding an aircraft with conventional tail. The inverted V-tail stability derivative **Cz,α_tail**, taking part in **Cm,α** computation, assumes value of thin plate due to a lack of reliable data.

After applying Laplace transformation with zero initial conditions and assuming no external inputs, i.e. $\mathbf{C_{Fx} = C_{Fz} = C_m = 0}$ the system equations might be written down in operator form as follows

$$\left(\frac{mU}{Sq}s-C_{x,u}\right)u-\left(\frac{c}{2U}C_{x,\dot{\alpha}}s+C_{x,\alpha}\right)\alpha-\left(\frac{c}{2U}C_{x,q}s+C_{w}\right)\theta=0$$

$$-C_{z,u}u+\left[\left(\frac{mU}{Sq}-\frac{c}{2U}C_{z,\dot{\alpha}}\right)s-C_{z,\alpha}\right]\alpha-\left(\frac{mU}{Sq}+\frac{c}{2U}C_{z,q}\right)s\theta=0 \quad (2)$$

$$-C_{m,u}u+\left(\frac{c}{2U}C_{m,\dot{\alpha}}s-C_{m,\alpha}\right)\alpha+\left(\frac{I_y}{Sqc}s^2-\frac{c}{2U}C_{m,q}s\right)\theta=0$$

In order to simplify the equations further, short period mode of oscillatory motion is solely considered. Forces acting in **X** direction does not contribute to the short period oscillation, therefore the equation containing forces in that direction might be omitted. According to a suggestion made in [6], derivatives **Cz,ά, Cz,u, Cm,u** might also be neglected for some reason. After introducing control derivatives **Cz,δe** and **Cm,δe** following system is obtained:

$$\left(\frac{mU}{Sq}s-C_{z,\alpha}\right)\alpha-\left(\frac{mU}{Sq}+\frac{c}{2U}C_{z,q}\right)s\theta=C_{z,\delta e}\delta_e$$

$$\left(\frac{c}{2U}C_{m,\dot{\alpha}}s-C_{m,\alpha}\right)\alpha+\left(\frac{I_y}{Sqc}s-\frac{c}{2U}C_{m,q}\right)s\theta=C_{m,\delta e}\delta_e \quad (3)$$

Solution to system (1) might be worked out by substitution to obtain a transfer function concerning pitch angle **θ** response and elevator angle **δe** input. The transfer function is a part of the longitudinal autopilot block diagram. Mass **m**, moment of inertia **Iy**, mean aerodynamic chord **c** have been measured in CAD model development environment. The longitudinal stability derivatives are computed after implementing a CFD analysis.

In Fig. 2, the SimWorks integrated development environment is shown, so are residual plots of the aerodynamic coefficients (right half). The console window at the bottom outputs the aerodynamic coefficients values obtained after completing last iteration. In the middle, the aircraft placed within the computational domain is visible. Trial version of SimWorks does not include a module for transient flow analysis which is the reason why the propeller rotational motion and following vortex shed haven't been taken into account. Given the inverted V-tail however, the numerical results are not expected to be distorted significantly as it was explained earlier in the paragraph. Hence, the results might be used to fill in the aircraft configuration xml file in FlightGear directory.

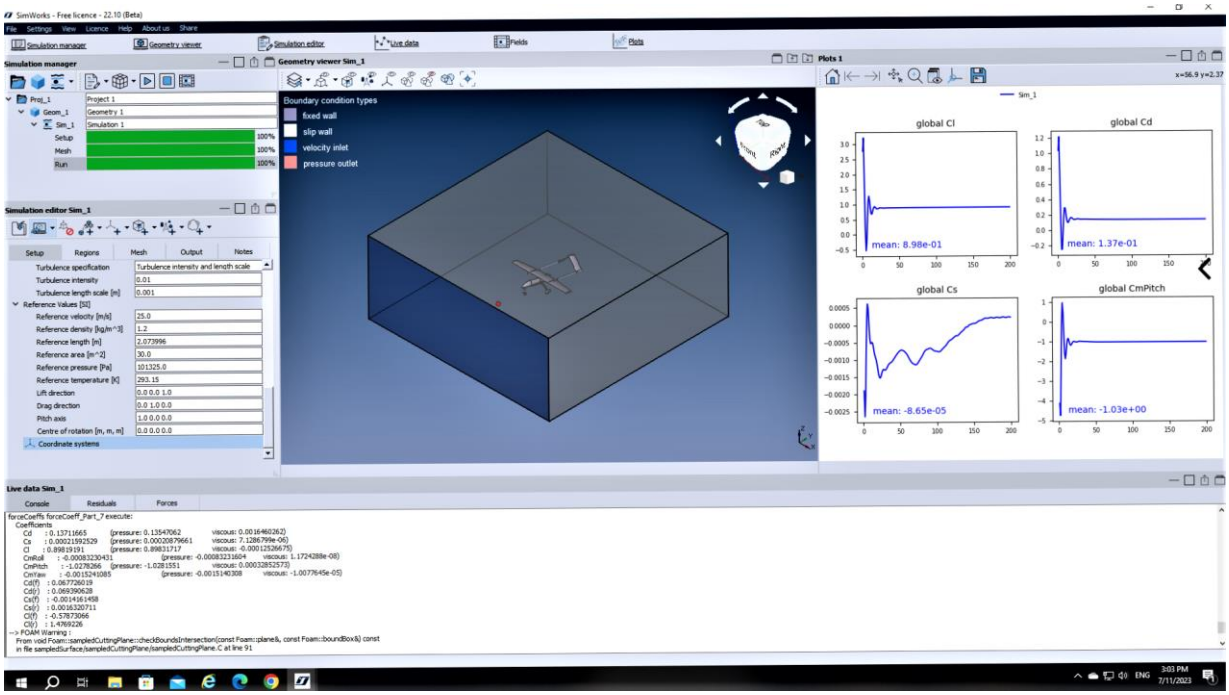


Fig. 2. SimWorks development environment with residual plots

Results

In Fig. 3, both drag $\mathbf{C_D}$ and lift $\mathbf{C_L}$ aerodynamic coefficients obtained by CFD analysis are shown. At zero angle of attack, the lift coefficient is virtually zero because the wing foil is nearly symmetrical. The lift curve slope $\boldsymbol{\partial C_L/\partial\alpha = 5.92\ rad^{-1}}$. The minimum (parasite) drag coefficient $\mathbf{C_{Dmin} = 0.062}$. The zero-lift drag coefficient is slightly bigger, $\mathbf{C_{D0} \approx 0.0625}$. The maximum lift-to-drag ratio of 7.1 occurs at angle of attack 6 deg approximately.

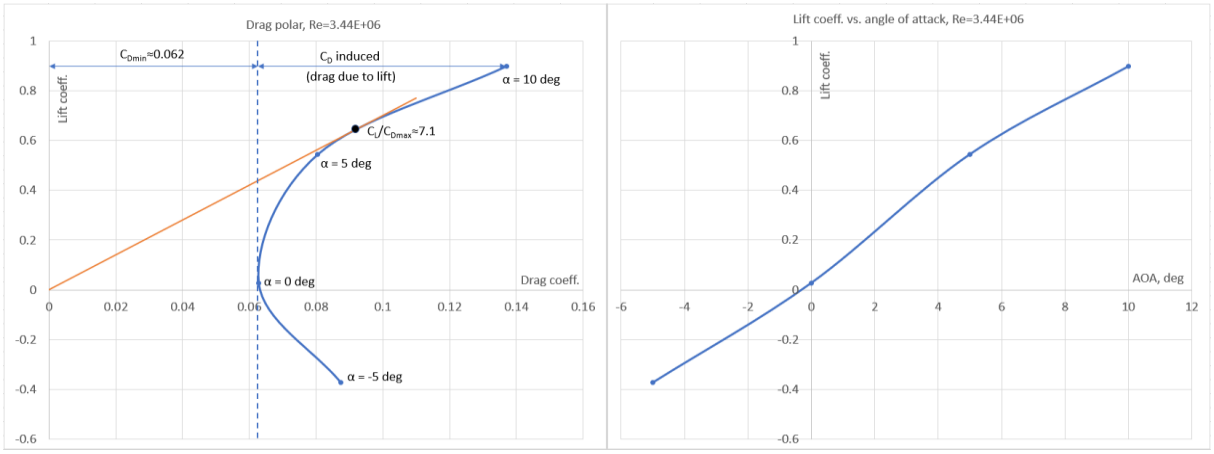


Fig. 3. Aerodynamics coefficients plots: drag polar (left) and lift coefficient vs. angle of attack

In Fig. 4, xCos block diagram of a simple longitudinal autopilot with pitch feedback is shown. Two transfer functions are connected in series: elevator servo and aircraft longitudinal dynamics according to eq. (3). The system is known to yield a steady state error.

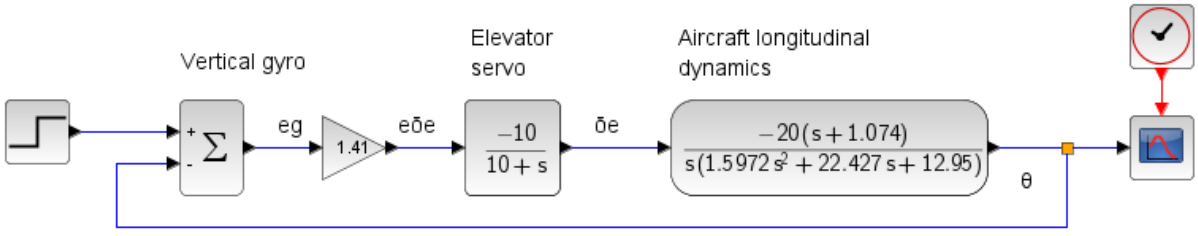


Fig. 4. xCos block diagram of a longitudinal autopilot with pitch feedback

After introducing a pitch rate feedback, Fig. 5, the steady state error is expected to diminish.

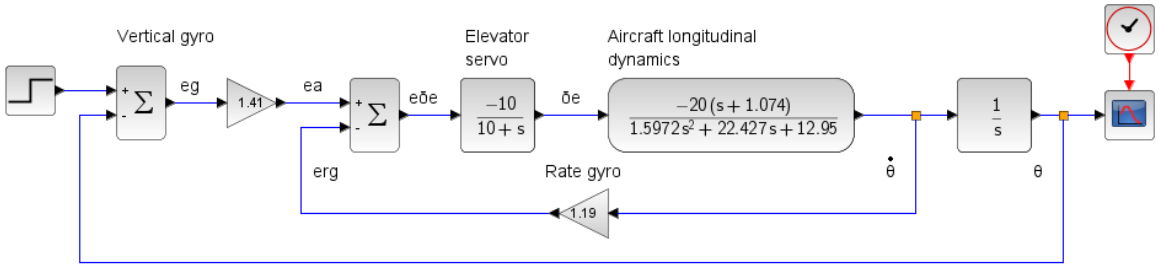


Fig. 5. xCos block diagram of a longitudinal autopilot with pitch rate feedback

In Fig 6, both autopilot responses are shown after applying a unit step function to the elevator:

(1) $$\theta(t)=\begin{cases}10\ \text{deg}, & t\geq 2\ \text{sec}\\ 0\ \text{deg}, & t\leq 2\ \text{sec}\end{cases}$$

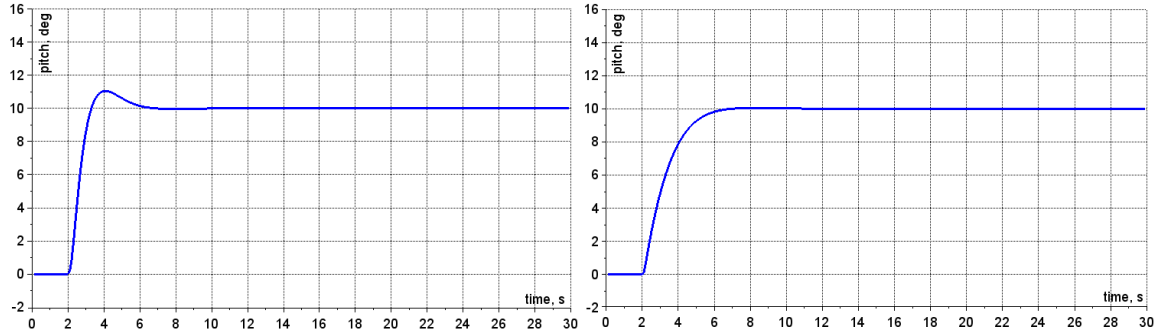


Fig. 6. Step responses with pitch (left) and pitch rate feedback

In Fig. 7, root loci of block diagrams are shown as described in figure caption.

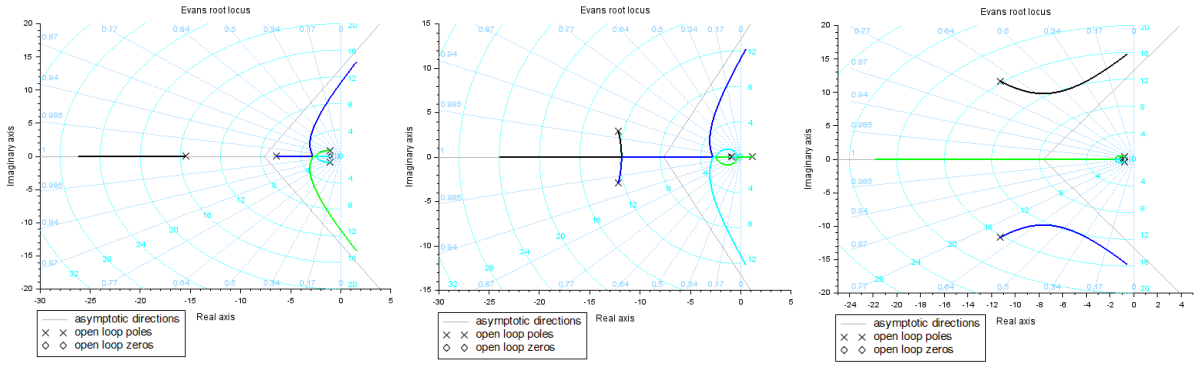


Fig. 7. Root loci: a) pitch feedback, b) inner, c) outer loops of pitch rate feedback

The lift force coefficient of tail surface with respect to a change in angle of attack assumes value of **Cz,α_tail = 6.28 rad^{-1}**. Following values of stability derivatives are obtained: Cz,α = -5.9825; Cz,q = -13.284; Cz,δe = -0.9153; Cm,α = -0.3764; Cm,q = -53.021; Cm,δe = -3.6532; Cm,ά = -26.643

In Fig. 8, a screenshot depicting final approach, payload view, and FlightGear user interface Phi, [8] is shown. The airplane follows an airport traffic pattern, stored in an XML file, with rectangular shape. Needless to say, the file should be loaded by *Autopilot\Route Manager\Load …* dialog prior to mission start. The map is to be opened further by *Equipment\Map (Opens in browser)* dialog. In Phi environment, the user can draw the route on top of the map by activating check boxes of drop-down menu in the upper right corner. In order to establish a connection with Internet browser, the FlightGear executable must be invoked by option *--httpd=8080*. The payload azimuth and elevation angle can be adjusted by holding the left mouse button pressed and dragging the mouse over the window. The payload field of view can also be adjusted by means of the middle mouse button. The payload parameters can be tuned independently thanks to a composite viewer which allows multiple independent views of the scene, [9]. The composite viewer is only supported by nightly build of FlightGear v. 2020.4

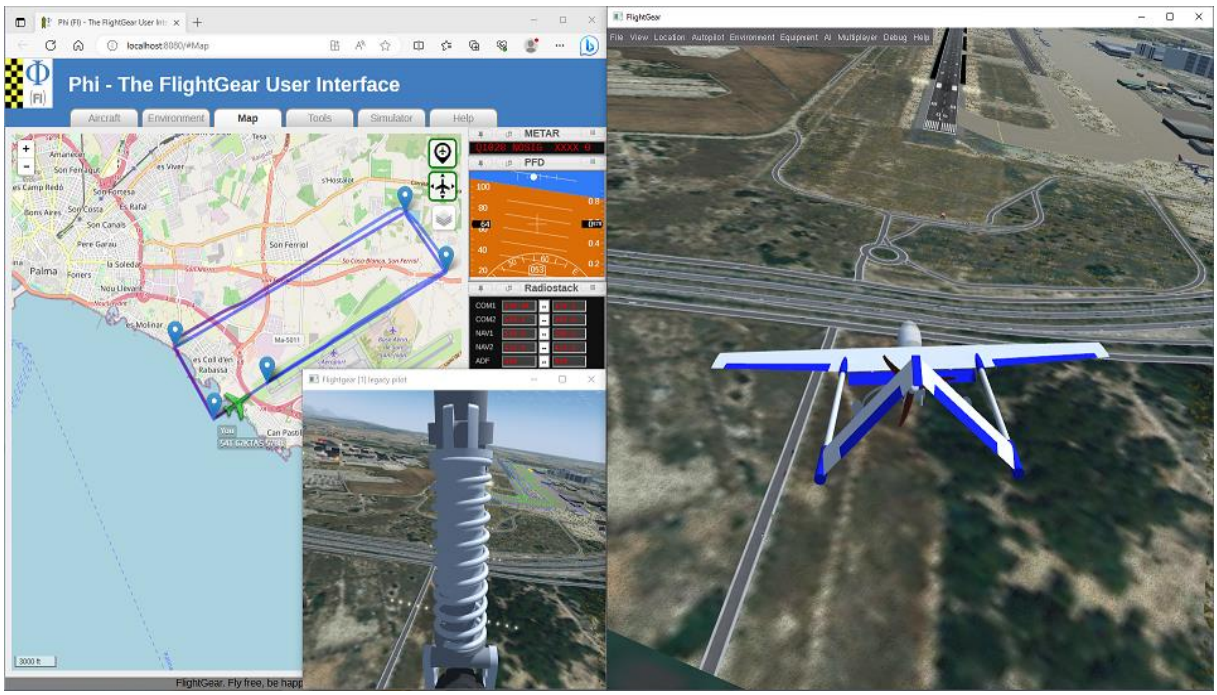


Fig. 8. Final approach, LEPA 06L (right), payload view (middle), and Phi user interface

Conclusion

The proposed simulator concept has somewhat been inspired by SimLat C-Star, [10] unmanned aerial training system. It is expected to reproduce C-Star functions and abilities as close as possible. A main advantage of suggested solution is low, next to zero cost. It takes some CAD and programming skills to implement the idea, though. Given perseverance with employed software (see disclaimer), a variety of mission types and UAV models could be implemented. Unlike most commercial flight simulators, FlighGear gives the developer ways and means to put various project designs into effect thanks to “a powerful scripting language and an open architecture,” [11].

Disclaimer

During project development, following software bundles have been used:

- Trial versions of Autodesk Inventor [12] and Inivis AC3D [13] to create a 3D CAD model
- Free copies of SciLab, [14] and GNU Octave, [15] to design the longitudinal control loop
- Trial version of SimWorks, [16] an OpenFoam GUI to compute basic aerodynamic quantities

In memoriam

Let’s remember our colleague Plamen Kostov who passed suddenly away about a month ago.

References:

1. https://talkai.info/chat/
2. https://grabcad.com/library/flight-of-fancy-1
3. https://grabcad.com/library/high-lift-mechanism-1
4. https://www.dlengine.com/en/rcengine/dle60/
5. https://www.e-consystems.com/blog/camera/technology/key-parameters-you-should-know-before-buying-near-infrared-nir-camera/
6. Blakelock, J., Automatic control of Aircraft and Missiles, 2nd ed., John Wiley & Sons, 1991, ISBN 0-471-50651-6, p.p. 25, 36, 46
7. Nelson, R., Flight Stability and Automatic Control, 2nd ed., McGraw-Hill, 1998, ISBN 0-07-115838-3, p. 125
8. https://wiki.flightgear.org/Phi
9. https://wiki.flightgear.org/CompositeViewer_support#CompositeViewer
10. https://www.simlat.com/products
11. https://sourceforge.net/projects/flightgear/
12. https://www.autodesk.com/products/inventor/overview
13. https://www.inivis.com/
14. https://www.scilab.org/
15. https://octave.org/
16. https://www.idealsimulations.com/simworks-free-cfd-software/

СИНДРОМЪТ ЕМОЦИОНАЛНО ПРЕГАРЯНЕ - КАК ДА СТАБИЛИЗИРАМЕ ПСИХОСОМАТИЧНОТО СЪСТОЯНИЕ НА АВИАЦИОННИЯ И КОСМИЧЕСКИЯ ПЕРСОНАЛ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА СИСТЕМИ ЗА ВИРТУАЛНА РЕАЛНОСТ

Геннадий Маклаков, Надежда Георгиева

Научно-изследователски център за биофотоника - Смолян, България
e-mail: g.maklakov@gmail.com; https://biophoton-research.eu

Ключови думи: *емоционално прегаряне, стрес, психокорекция, музикална терапия, превенция, рехабилитация, виртуална реалност..*

Резюме: *Докладът представя методи за превенция и корекция на професионалното (емоционално) прегаряне на аерокосмическия персонал. Даден е анализ на възможностите на диагностична апаратура за изследване на синдрома на прегаряне. Обсъждат се особеностите на прилагането на системи за виртуална реалност в процесите на когнитивна рехабилитация. За оптимизиране на музикалната психокорекция се предлага използването на комбинаторно планиране. Предлага се експресен контрол на ефективността на психокорекцията да се осъществява чрез параметрите на вариабилността на сърдечната честота.*

THE EMOTIONAL BURNOUT SYNDROME - HOW TO STABILIZE THE PSYCHOSOMATIC STATE OF AVIATION AND SPACE PERSONNEL USING VIRTUAL REALITY SYSTEMS

Gennadii Maklakov, Nadejda Georgieva

Biophotonics Research Center - Smolyan, Bulgaria
e-mail: g.maklakov@gmail.com; https://biophoton-research.eu

Keywords: *emotional burnout, stress, psychocorrection, music therapy, prevention, rehabilitation, HRV, virtual reality.*

Abstract: *The report presents methods for prevention and correction of professional (emotional) burnout of aerospace personnel. An analysis of the possibilities of diagnostic equipment for the study of the burnout syndrome is given. The features of the application of virtual reality systems in cognitive rehabilitation processes are discussed. To optimize musical psycho-correction, the use of combinatorial planning is proposed. It is suggested that express control of the effectiveness of psycho-correction be carried out through the parameters of heart rate variability (HRV).*

Въведение

Работата на авиационния и космическия персонал е изключително сложна. Техните дейности често се осъществяват в екстремна ситуация, много неща зависят от правилността и навременността на взетите решения. Създава се голямо психическо натоварване, което прави много трудно вземането на най-доброто решение и допринася за значително влошаване на психосоматичното състояние, което силно намалява нивото на професионалната компетентност. Формира се синдром на професионално (емоционално) прегаряне. Това понятие е въведено от американския психиатър Г. Фройденбергер през 1974 г. [1].

Според него синдромът на емоционално прегаряне (СЕП) е специално състояние на човек, което е следствие от професионален стрес. Това състояние е сложно психофизиологично явление, което се проявява като физическо и психическо изтощение. Хората със СЕП обикновено имат хронична умора, когнитивна дисфункция (нарушения на

паметта и вниманието), проблеми със съня и личностни изменения. Възможно е развитие на тревожност, депресивно разстройство, пристрастяване към психоактивни вещества, соматични симптоми като главоболие, сърдечно-съдови нарушенияи др. [1, 2]. Специалистите отбелязват, че синдромът на прегаряне може бързо да се разпространи в екипа сред служителите. С други думи, тези, които са склонни към прегаряне, взаимодействайки с хора на работното място, могат бързо да превърнат цяла група в колекция от "прегарящи". И още една неприятна особеност на СЕП. Човек, податлив на този синдром, обикновено е слабо запознат с неговите симптоми. Той не вижда себе си отвън и не разбира какво се случва.

Търсенето на методи за диагностика, както и начини за защита от емоционален стрес и СЕП, вече придобива голямо практическо значение. Емоционалното прегаряне не е неизбежно, тъй като коригиращите и превантивните стъпки могат да предотвратят стреса, да намалят влиянието на негативните психологически фактори или да изключат появата им.

Всичко изброено прави особено актуални изследванията за ранна диагностика на СЕП, превенцията и прилагането на терапевтични и възстановителни мерки.

Проблемът диагностика на професионалното прегаряне

Понастоящем диагнозата на СЕП е насочена предимно към откриване наличието на стрес, определяне устойчивостта на стрес и степента на социална адаптация чрез използване на психологически тестове. По правило за провеждането им обаче е нужно много време. Освен това трудно може да се оцени надеждността на получените резултати. Също така при тестването напълно се игнорират първоначалните признаци проява на психосоматични разстройства. Според нас е необходим друг подход.

На първо място, ние отбелязваме, че СЕП е болест. Това се доказва от факта, че СЕП наскоро е включен в Международната класификация на болестите (ICD-10), описан е под заглавието Z.73.0: „Burnout. State of vital exhaustion", („Прегаряне. Състояние на жизнено изтощение") или по-просто казано: преумора, дефинирана като адаптационни разстройства. Хората със СЕП обикновено имат комбинация от психопатологични, психосоматични, соматични симптоми и признаци на социална дисфункция. При СЕП се регистрират различни имунологични нарушения, по-специално намаляване на имуноглобулин G, броя на лимфоцитите, повишаване на нивото на антивирусните антитела и интерферона. Трябва да се отбележи, че чувството на силна умора може да се появи внезапно и често е свързано с грипоподобни симптоми. Понякога началото на заболяването се предхожда от признаци на респираторна инфекция [2].

От тези позиции за пълна и достоверна диагноза идеално е подходящ методът биофотонна визуализация (газоразрядна визуализация). Възможностите на този метод и неговото практическо приложение за оценка на психосоматичния потенциал на аерокосмическия персонал са описани достатъчно подробно в нашите публикации [3, 4]. Безспорно предимство на този метод е цялостната оценка на всички функционални системи и човешки органи. Прилагането му обаче изисква специално обучение на медицинския персонал, а обработката на резултатите отнема сравнително дълго време.

Откриването на СЕП в ранните етапи е възможно и е важно поради факта, че този синдром е следствие от професионален стрес и има широко разпространение. След изследвания и анализ на данни можем да предложим като най-подходящ метод за оперативна диагностика вариационната пулсометрия.

Методология на изследванията

Методът вариационна пулсометрия (ВП) е основан на разпознаването и измерването на времето на R-R интервалите в електрокардиограмата, изграждането на серия от R-R интервали и последващ анализ с различни математически методи. Благодарение на трудовете на академик В. Парин и професор Р. Баевски [5] математическият анализ на ритмограми се прилага в бившия Съветски съюз (в космическата медицина) от 60-те години на миналия век. От 90-те години анализът на ритмограми започва широко да се използва в целия свят. През 1996 г. са публикувани международни стандарти, написани от работна група на Европейското дружество по кардиология и Северноамериканското дружество по кардиостимулации и електрофизиология [6].

Ценността на ВП се състои в: обективно оценяване състоянието на хомеостазата на организма чрез анализиране тонуса на симпатиковия и парасимпатиковия отдел на вегетативната нервна система; определяне степента на напрежение в регулаторните механизми и степента на адаптация на организма към външните въздействия.

За обекта на нашето изследване е особено важно, че промяната в ритмограмата е универсална реакция на целия организъм в отговор на всяко влияние на външната среда.

Нашите изследвания показват, че с използване на ВП достатъчно информационни показатели мога да бъдат [7]: RMSSD - стандартно отклонение на сърдечния цикъл; ИН - индекс на напрежението на регулаторните системи. ИН често се нарича и стрес индекс – SI (stress index), тъй като отразява психоемоционалното напрежение, степента на потопяване на организма в стреса.

За по-точна диагностика е необходимо да се използва спектралният анализ на вълновата структура на ритъм отговора. Според стандартите, приети в Европейския съюз [6], за анализа са използвани следните показатели: TP - обща мощност на спектъра на ритмограмата; VLF - мощност на спектъра на ритмограмата в много нискочестотната област, LF - в нискочестотния диапазон, HF - във високочестотния диапазон; ИВВ=LF/HF - индекс на вагосимпатиковото взаимодействие, отразяващ баланса на симпатиковите и парасимпатиковите регулаторни влияния върху сърцето.

Възможността на вариационната пулсометрия като експресен метод за диагностика на СЕП илюстрираме с пример за оценяване състоянието на човека при психическо възстановяване чрез използване на музикална психокорекция в система за виртаулна реалност.

Проучванията са извършени със следното оборудване: реоплетизмограф и портативен кардиограф на компания "ART INTECH", очила за виртуална реалност, модел SC-G04C/SC-B03; мобилни телефони Xiaomi Redmi Note 4 и Xiaomi Redmi Note 9.

Теоретични предпоставки за използване на музикална психокорекция при профилактика на СЕП

Ефектът от музикалното влияние върху човек е много разнообразен. Музиката засяга организма не само на естетическо, но и на клетъчно ниво. Действайки върху клетката с акустично поле, музиката е в състояние да промени ритмите на мозъка, да нормализира мозъчното кръвообращение, да синхронизира активността на мозъчните полукълба, да промени скоростта на междуклетъчните процеси и клетъчната биохимия. Сложният механизъм на въздействие на музиката и видео информацията върху човека поставя повишени изисквания към избора както на музика, така и на съпътстващите видео серии.

За оптимизиране на този подготовителен процес са използвани методите на комбинаторното планиране [8]. Такъв подход рязко съкращава времето за експеримента и едновременно – за сметка на специална статистическа обработка, чувствително повишава достоверността на получената информация.

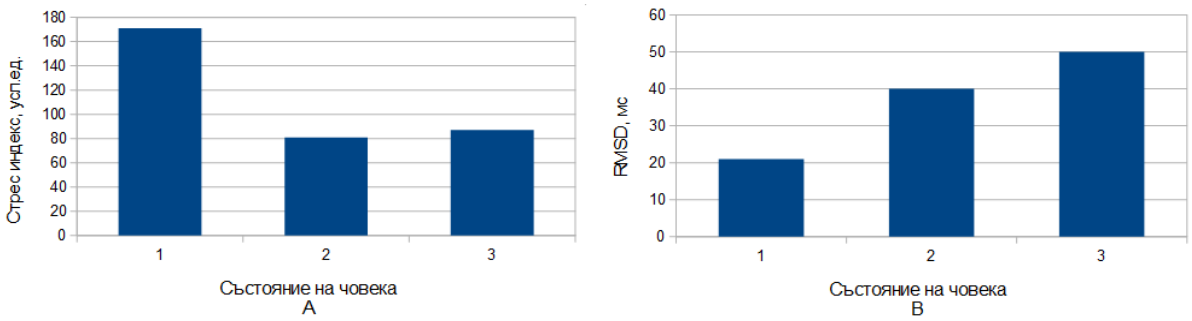
Организмът на човека се разглежда като «черна кутия», на входа на която се подават музикални композиции със съответни видеосюжети. Като отклик на системата се явяват параметрите на вариационната пулсометрия, отразяващи психосоматичното състояние на човека. Подробното разглеждане на комбинаторните планове позволява да изберем метод за планиране, основан на ортогонални латински квадрати. Планиран е експериментът с използване на ортогонален латински квадрат от трети ред. Факторите са входните променливи, постъпващи на входа на системата (x_1, x_2,…, $x_к$). В нашия случай това са видео сюжети, свързани със съответна музика. Всеки фактор се оценява чрез качествени оценки (семантично съдържание), т.е. той по принцип не може да има количествена оценка на нивата. Откликът е: изходни променливи, взети от изхода на системата (y_1, y_2…, y_k). В нашия случай – параметри на вариационна пулсометрия (ВП). Всеки фактор x_i, i = 1, 2, …, k може да приеме в експеримента едно или повече значения, наречени нива. Фиксираният набор от нива на факторите определя едно от възможните състояния на разглежданата система, по които, използвайки известни методи за оптимизация, се определя аудиовизуалната композиция, осигуряваща най-ефективно въздействие върху дадено лице.

Проведени са експерименти за определяне предпочитанията на конкретния ползовател по жанрове музика: българска фолклорна (вкл. гайди), класическа, романтична, духовна (вкл. богослужебно пеене). На основата на музикалните произведения са създадени видеоклипове, преобразувани чрез специално програмно осигуряване в 3D филми. Проучванията показват, че върху психосоматичното състояние на човека много силно влияят музикални произведения (видеоклипове) на будапещенския и унгарски митрополит Иларион (Алфеев) .

Анализ на резултатите от изследванията

Да разгледаме някои резултати от проучванията. Като илюстрация за използване на музикална психокорекция в СВР ще представим анализ за въздействието на видео филми на митрополит Иларион (Алфеев): “Свете тихий” и “Великое славословие”, преобразувани от нас

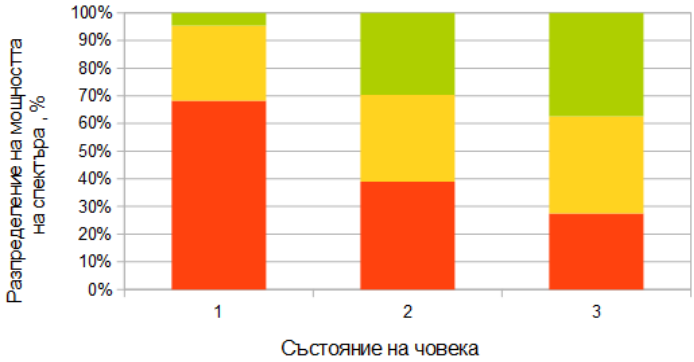
във формат 3D и адаптирани за използване в СВР. На Фиг. 1 е показано състоянието на параметрите SI и RMSSD преди и след сеанс със СВР, типично за мъже на възраст 70-75 г.



Фиг. 1. Нива на параметрите SI (A) и RMSSD (B) преди (1) използване на СВР и след филмите “Свете тихий” (2) и “Великое славословие” (3).

Както се вижда от диаграмата, преди използване (Фиг. 1а) на СВР, SI има стойност 170 ед. Това свидетелства за наличие на силен дистрес, който може да доведе до различни функционални разстройства; след използване на система за виртуална реалност SI намалява примерно до 80 ед., което показва компенсиран дистрес. Увеличението на параметъра RMSSD (Фиг. 1в), сочи нарастване във възможностите на организма за възстановяване след физически и/или емоционален стрес.

Особено ценен е спектралният анализ на вълновата структура на сърдечния ритъм. На Фиг. 2 е показано изменение в мощността на спектъра на параметрите в много нискочестотния диапазон (VLF), в нискочестотния диапазон (LF) и във високочестотния диапазон (HF) преди и след сеанса със СВР, типично за мъже на възраст 70-75 г.

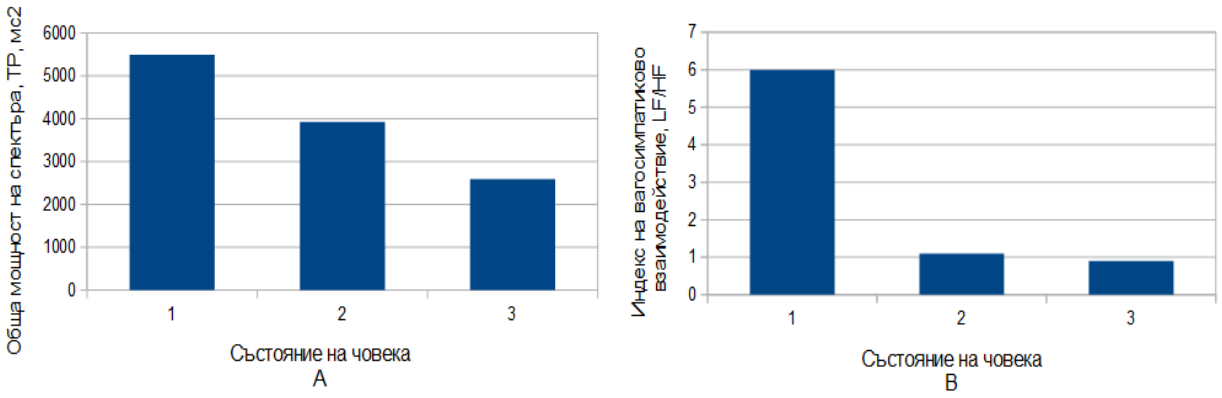


Фиг. 2. Разпределение на мощността на спектъра в областите VLF, LF, HF (черв.- VLF, жълт- LF, зел.- HF) преди (1) използване система за СВР и след филмите “Свете тихий” (2) и “Великое славословие”(3)

Както се вижда от диаграмата (Фиг. 2), извършва се преразпределение на спектъра. Ако до въздействието със СВР разпределението на мощността на спектъра е HF=4%, LF=28%, VLF=68%, то след филма “Свете тихий” е HF=37%, LF=35%, VLF=28%, след филма “Великое славословие” е HF=29%, LF=32%, VLF=39%. С други думи, регистрирано е, че след въздействието със СВР се увеличава мощността на високочестотните вълни, което свидетелства за засилване активността на парасимпатиковата система, а значи и за намаляване на стреса. За същото говори намаляването на мощността на вълните с много ниска честота.

На Фиг. 3 е показано състоянието на параметрите TP и ИВВ преди и след сеанс със СВР, типично за мъже на възраст 70-75 г.

Преди използване на СВР, TP (Фиг. 3а) има стойност 5487 мс^2, което свидетелства за пренапрежение в регулаторните системи на организма. След сеанса със СВР, при филма “Свете тихий” стойността на TP намалява до 3927 мс^2, а при филма “Великое славословие” - до 2588 мс^2, което означава, че хомеостатичните системи на управление работят хармонично, адаптационно-приспособителната дейност на цялостния организъм е на високо равнище. Човек може лесно да изпълнява различни задачи. След сеанса със СВР се наблюдава и рязко понижаване на индекса ИВВ на вагосимпатиковото взаимодействие (Фиг. 3в), което отразява балансираност на симпатиковата и парасимпатиковата система, което от своя страна косвено показва нарастване на творческия потенциал.



Фиг. 3. Нива на параметрите ТП (А) и ИВВ (В) преди (1) използване на СВР и след филмите “Свете тихий” (2) и “Великое славословие” (3).

Всички данни от анализа на ритмограмите потвърждават ефективността на виртуалната реалност за оптимизиране процеса на рехабилитация на човек със СЕП.

Заключение

Професионалата дейност на авиационния и космическия персонал предполага емоционална наситеност и висок процент фактори, предизвикващи стрес. Формира се синдром на емоционално (професионално) прегаряне, което значително намалява нивото на професионална компетентност и допринася за влошаване на психосоматичното състояние.

Прегарянето трябва да се разглежда като особено състояние на човека, което се явява следствие от професионален стрес. Това състояние е сложно психофизиологично явление и се проявява като физическо, психическо и емоционално изтощение. В резултат се наблюдава хронична умора, нарушения на паметта и вниманието, личностни изменения, различни соматични симптоми (главоболие, сърдечно-съдови нарушения и др).

Водеща роля в решаването на проблемите, свързани със стреса и емоционалното прегаряне, има психотерапията. Според нашите проучвания емоционалното прегаряне може да се предотврати, а в много случаи и да се коригира с помощта на музикална психокорекция, базирана на виртуална реалност. За експресен контрол при възстановяване психосоматичното състояние в случаи на синдром на емоционално прегаряне е целесъобразно да се използва методът вариационна пулсометрия.

Литература:

1. Freudenberger, H. J. Staff burnout //Journal of Social Issues. 1974. V. 30. P. 159–165.
2. Чердымова, Е., Чернышова Е., Мачнев В. Синдром эмоционального выгорания специалиста . Самара: Изд-во Самарского университета, 2019.
3. Маклаков, Г., Възможности за прилагане на ГРВ-биоелектрографията за оценяване и прогнозиране на психо-физиологичното състояние на работещите в транспорта. // Конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии „БулТранс-2016 “. Сборник доклади. ТУ-София. Sozopol. 2016. С.19–23.
4. Маклаков, Г., Гецов П. Перспективи за използване на ГРВ-биоелектрографията в психологическите изследвания на сигурността и поведениетона човека в екстремални ситуации // Международна конференция «Приложната психология: възможности и перспективи». Сборник доклади. ВСУ. Варна, 2017. С. 193–206.
5. Парин, В., Баевский Р. Космическая кардиология. Л., Медицина, 1967.
6. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. // Circulation. Vol. 93, 1996. p. 1043–1065.
7. Маклаков, Г., Георгиева Н. Система за виртуална реалност, моделираща влиянието на околната среда върху човека, оптимизира рехабилитацията на болни с постковиден синдром. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност “SES-2021”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2021. С. 9–20.
8. Маклаков, Г., Георгиева Н. Музикотерапия в програмите за възстановителна корекция на психо-физиологичното състояние на работещите в транспорта. // Конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии „БулТранс-2017 “. Сборник доклади. ТУ-София. Sozopol. 2017. С. 33–35.

МУЛТИСЕНЗОРНА СИСТЕМА ЗА ОТКРИВАНЕ И КЛАСИФИКАЦИЯ НА БЕЗПИЛОТНИ ЛЕТАТЕЛНИ АПАРАТИ С ЕЛЕМЕНТИ НА ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ

Евгений Хубенов, Георги Сотиров, Зоя Чифлиджанова

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

Ключови думи: *мултисензорна система, БЛА, анти-дрон, изкуствен интелект, човешки фактор, мрежово-центрична среда*

Резюме: *В доклада е разгледана и направена оценка на функционалната ефективност на мултисензорна система за откриване и класификация на безпилотни летателни апарати (БЛА). Структурата е синтезирана по критерии, които осигуряват минимално време за откриване и класификация на целите при висока технико-икономическа ефективност. Класификацията се извършва в реално време с елементи на изкуствен интелект, а адаптацията на моделите за класификация на БЛА е с участието на човешкия фактор.*

MULTISENSOR SYSTEM FOR DETECTION AND CLASSIFICATION OF UAV WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE ELEMENTS

Evgeni Hubenov, Georgi Sotirov, Zoya Chiflidzhanova

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

Keywords: *multisensor system, detection and classification, unmanned aerial vehicles, artificial intelligence, human factor, communication and information system, network-centric environment*

Abstract: *This paper discusses and evaluates the functional effectiveness of a multisensor system for detecting and classification of unmanned aerial vehicles (UAVs). The structure is synthesized according to criteria that ensure minimum target detection and classification time with high techno-economic efficiency. The classification is performed in real-time with artificial intelligence elements, and the adaptation of the UAV classification models with the participation of the human factor.*

Въведение

Системната цел при защитата от БЛА в случаите на злонамерено използване (тероризъм, защита на критична инфраструктура, охрана) е избор и използване на средства за неутрализация или унищожаване на БЛА. Това изисква откриване на БЛА в рамките на определена зона на отговорност, определяне на пространствено-временните характеристики на обекта (географски координати, височина и скорост на полета), както и разпознаване с цел отнасяне към известен клас за избор на ефективни средства за неутрализация. За защита на военни обекти и обекти на критичната инфраструктура (КИ) всички техническите средства за защита са в единна система, която е съобразена с очакваните цели за неутрализация и поражение и обслужват ограничени географски зони.

Увеличаването на броя на активните БЛА във въздушното пространство налага развитието на мултисензорни системи за откриване и класификация (МСОК) на БЛА по различни демаскиращи признаци. Регулациите в тази област гарантират квалификация и нормативна подготовка на пилотите, но не могат да предотвратят криминални, нерегламентирани или терористичн и приложения. Това налага МСОК да бъде изградена като комуникационно-

информационна система (КИС), да позволява развитие и включване на различни сензори и да бъде отворена към публично достъпни мрежи за контрол. Резултатите от откриването и класификацията на БЛА трябва да дават възможност за избор при необходимост на средства за неутрализация и поражение и да бъдат достъпни в мрежово-центрична среда. Функциите на мултисензорната система за откриване и класификация на БЛА и нейната адаптация и развитие се осигуряват с инструменти на изкуствен интелект (ИИ) и с участието на човешкия фактор.

Откриване и класификация на целите

При откриването на БЛА за оценката на условната вероятност за настъпване на събитие, след като е станала известна нова информация, се използва формулата за апостериорната вероятност по теоремата на Бейс (Thomas Bayes). За непрекъснат поток от събития вероятностите за наличие (P_A) или отсъствие на цел (P_B) определят хипотезите за целта, като пълна система от взаимно изключващи се събития.

(1) $$P(A,B) = 0; \quad P_A + P_B = 1$$

В радиолокационните системи процесите на откриване и класификация на целите са разделени. Откриването на целта на фона на смущения при предположение за съгласувана филтрация зависи от енергията на сигнала по отношение на шума, а функцията на неопределеност на избрания сигнала определя разрешаващата способност по разстояние и скорост. Обемът на разрешение, в който се открива целта, се формира от диаграмата на насочена антена. При наличие на цел с вероятност P_A са възможни две събития - за правилно откриване с условна вероятност P_{TD} и за пропуск P_{FM}. При отсъствие на цел с вероятност P_B възможните събития са правилно неоткриване с вероятност P_{TM} и за лъжлива тревога с вероятност P_{FA}. Системите максимизират вероятността за правилно откриване при фиксирана честота на лъжлива тревога.

В МСОК на БЛА се фиксират множество хипотези $\mathrm{H} = \{\mathrm{H_i}\}$ от взаимно изключващи се събития и пълна система от събития за принадлежност на БЛА към даден клас.

(2) $$P(H_i,\ H_j) = 0; \quad \sum_{i=1}^{k} P(H_i) = 1$$

Свързването на обекта с известен клас се прави след множество експерименти $\boldsymbol{E} = \{\boldsymbol{E_j}\}$, $\boldsymbol{j} = \mathbf{1}, \ldots \boldsymbol{n}$. Събитията $\boldsymbol{E_j}$ са изключващи се.

(3) $$\boldsymbol{P}(E_j \mid H_i) \geq 0 \ ; \ \sum_{j=1}^{n} P(E_j \mid H_i) = 1$$

(4) $$P(E_j) = \sum_{i=1}^{k} P(P_j \mid H_i)\ .\ P(H_i)$$

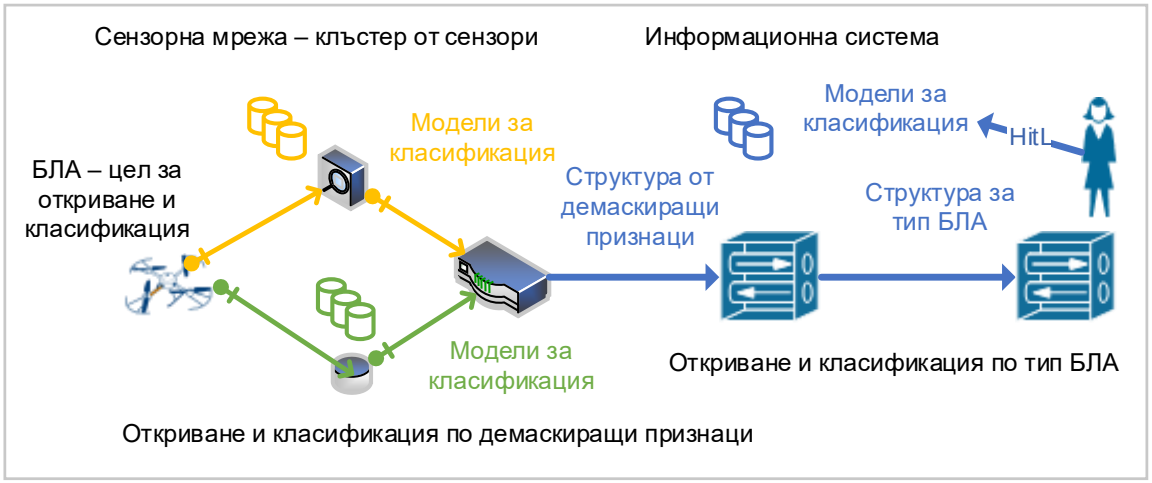
Обектът се отнася към известен клас ако условната вероятност за принадлежността на обекта към даден клас превишава условната вероятност за принадлежността към друг клас [1]. БЛА като обект може да бъде отнесен към различни класове, с различни апостериорни вероятности поради физическата същност на демаскиращите признаци. При паралелна класификация на целите се дефинират класове в пространството на всеки демаскиращ признак и класове в информационното пространство за типове БЛА. Разпознаването означава еднозначно свързване на обекта към един от взаимно-изключващи се класове в информационното пространство на класовете БЛА. Мултисензорната система трябва да осигури като системна цел еднозначно решение за избор и прилагане на средства за неутрализация в известен пространствен обем за определен клас БЛА. Многомерният характер на задачата предполага адаптация и обучение, които са присъщи и са решими с инструменти на ИИ.

Поради различната физическа природа на демаскиращите признаци на БЛА откриването и присъединяването към известен клас се извършва паралелно с данни от едновременно работещи сензори по различни физически признаци. Системата трябва да осигурява интегриране на сензори за различни демаскиращи признаци. Недостатъчната апостериорна информация, която е свързана нерегламентирано използване на БЛА, предполага и налага наличие на възможности за адаптация и обучение както при създаване на моделите, така и при класификацията. При откриване на БЛА вероятността за правилно откриване с оценка на пространствените координати се повишава, ако се използват различни сензори за обема на разрешение. В общия случай сензорите са разположени на различни носители в точки с различни географски координати, както и с различна точност на определяне на обема на откриване.

Особеностите на решението на задачата за откриване и класификация при наличието на повече демаскиращи признаци са аргумент за изграждане на мултисензорната система за откриване и класификация на БЛА като КИС с разпределена обработка на информацията и централизирано управление. Такава структура в мрежово-центрична среда осигурява целта на системата и информационно взаимодействие с други подсистеми, които имат отговорности за въздушното пространство. Информационните потоци трябва да бъдат с транспорт в мрежово-центрична среда, а данните трябва да бъдат форматирани във вид на информационни обекти. Необходимо условие е възможността за развитие по отношение на сензори и методи за обработка в различни области но системата. Системата трябва да бъде отворена по отношение на други публични информационни системи за контрол и управление на въздушното пространство, които улесняват изпълнението на целите.

Структурна схема

Предназначението и връзките между отделните подсистеми на МСОК е показано на Фиг. 1. В структурата има две подсистеми за класификация. Първата осигурява откриване и класификация на БЛА по сигнатури на физически признаци в клъстери от сензори за различни демаскиращи признаци (радиочестотен спектър, шумово излъчване, изображение). На изхода на сензорната мрежа от всеки сензор от клъстера се формира структура (вектор) от демаскиращи признаци, специфични за даден клас, към който се добавят данни за пространствено-временните координати на открит БЛА и идентификатор на класа. Моделите за класификация са предварително разработени и са елемент на програмно-апаратната част на сензорния модул, където се извършва откриването и присвояването на клас по демаскиращ признак. Информацията на изхода от всички сензорни модули в рамките на клъстера се обработват с цел визуализация и вземане на решение, осигуряващо системната цел на локално ниво (оперативна употреба на средства за противодействие в зоната на клъстера).

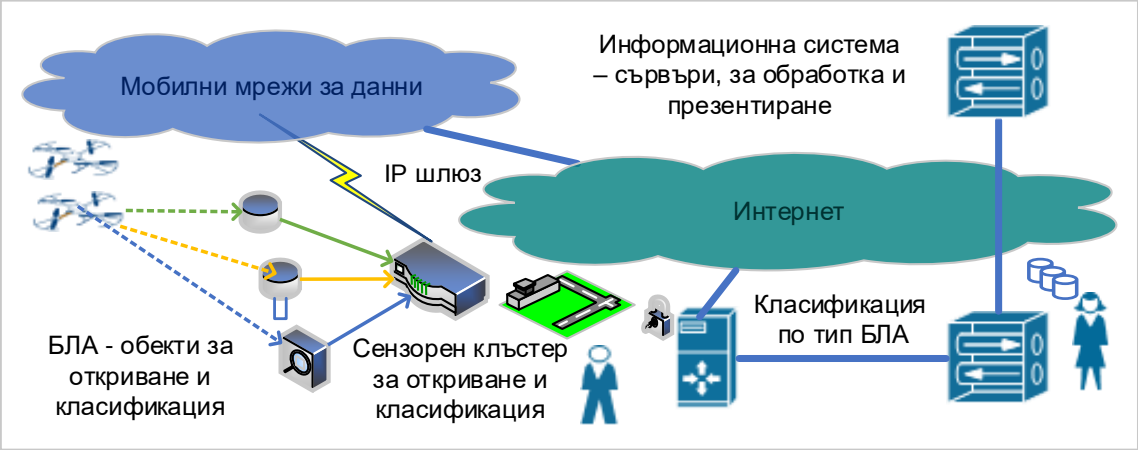


Фиг. 1. Структурна схема на мултисензорна система за откриване и класификация

Във втората система за класификация за данните от сензорите на локалните клъстери се прави предварително централизирано повишаване на точността със съвместяване на данните по пространствено-времеви координати и подобряване на вероятностните характеристики на откриване (по Бейс). Преди класификацията по тип БЛА се извършва групиране, което в практиките на ИИ се разглежда като обучение “без учител”. Класификацията се осигурява с инструменти на ИИ. Моделът за класификация осигурява принадлежността на БЛА към определен клас и еднозначно може да се свърже със средствата за неутрализация и противодействие. На всяка открита цел се присвоява уникален идентификатор. Оператор оценява ефективността на откриване, класификация и неутрализация на целите. В модела за класификацията се дава възможност за прилагане на методики за обучение на системата с участие на човешкия фактор (“Human in the Loop“, HitL). В режим на реално време (онлайн-режим) хората помагат на модела с прогнози и оценки (например за групов интелект и поведение на БЛА в ято). В офлайн-режим след избор и употреба на средства за противодействие на база на обработените структури човешкият фактор осигурява с оценки развитието на модела за повишаване на достоверността при условия на малка апостериорна информация [2, 3].

Функционална схема

Информационното взаимодействие предполага изграждането на МСОК на БЛА като КИС [4]. Комплексната разпределена пространствено-временна дискретно-събитийна система включва в структурата си две взаимно-свързани подсистеми (комуникационна и информационна), които са създадени с цел транспорт и обработка на потоци от информационни обекти. Сензорите за демаскиращи признаци на БЛА са групирани в локални клъстери и комуникационно-осигурени в сензорна мрежа. Сензорната мрежа има централен възел, който е шлюз към IP мрежа (Интернет). Изчислителните ресурси в сензорите осигуряват откриване и класификация по демаскиращи признаци. Потоците от информационни обекти от различни сензори, които са групирани в различни клъстери в сензорна мрежа, постъпват за допълнителна обработка с цел информационно осигуряване за използване на средства за неутрализация и поражение съобразени с класа на БЛА. Системните функции на МСОК на БЛА включват своевременно откриване, класифициране, опознаване и следене на събития, свързани с БЛА, включително и от други информационни системи. Целта в информационен план е осигуряване в реално време на ситуационна осведоменост, която да подпомага вземането на решения за прилагане на технически средства за неутрализация. Събитийно-ориентираните КИС включват апаратни и програмни компоненти, които работят едновременно в различни области на взаимно свързани комуникационни среди с използването на събитията в ролята на основен обект за организация на динамичната комуникация между компонентите и адаптиране на структурата към параметрите на потока от данни. Информационните потоци, свързани с мониторинга на БЛА осигуряват взаимодействие с други подсистеми за управление на въздушното пространство [5]. Функционалната схема на МСОК е показана на Фиг. 2.



Фиг. 2. Функционална схема на мултисензорна система за откриване и класификация

Комуникационната свързаност трябва да осигури сигурен транспорт и защита на данните в различни комуникационни среди, което налага използване на технологии за виртуални частни мрежи. На ниво приложения е осигурена свързаност към други информационни системи, осигуряващи контрола на използване на БЛА. Достъпът до данни и изискванията към мрежовата свързаност в МСОК трябва да създават информационна сфера за взаимодействие на различни звена, с крайна цел информационно осигуряване за вземане на решения, свързани с употреба на средства за противодействие или оръжия.

Мрежово-центрична среда

Мрежово-центричната среда е информационна рамка за взаимодействие (framework) и пълна човешка и техническа свързаност, които позволяват на всички потребители на системата да споделят необходимата информация, когато се нуждаят от нея и във формата, който е необходим за изпълнение на техните функции [6]. Принципите, възможностите и атрибутите на мрежово-центричната среда са разделени в две области: зоната на знанието и техническата област. Мрежово-центричният системен подход определя специфични информационно-структурни характеристики на МСОК в комуникационната подсистема (обща транспортна мрежова среда), зона на сензорите (сензори за преобразуване на физически параметри в данни и сензорна мрежа за достъп) и зона на управление на техническите средства за събиране на данни от сензорите. Задължително е наличие на подсистема за управление и мониторинг на

мрежите и услугите. Всички подсистеми трябва да са достъпни чрез общата транспортна среда. МСОК осигурява услуги за отдалечен достъп до информация и управление на функционалните характеристики на системата, включително нейното управление:

- Услугите са дефинирани и описани с начина за достъп и правата на потребителите и могат да се ползват в произволна точка в адресното пространство на комуникационна среда. За всяко услуга в регистъра на услуги трябва да е определен начинът за достъп, доставчикът на услуги, процесите, които създават услугата и информационните обекти, на които тя се базира.
- Информационните обекти, които доставчиците на услуги ползват трябва да са формирани по общи правила и стандарти и да позволяват повторно използване в други информационни системи или процеси като “строителни блокчета”.
- Потребителите на системата трябва да могат да използват услуги от регистъра, а разработчиците на услугите да имат достъп до информационните обекти.
- В системата трябва да е дефинирана и да работи политика и система за информационна сигурност.
- Потребителите на системата трябва да могат да обменят информация и да споделят функционалните ресурси.
- Необходимо е формиране на зони на отговорност и контрол по отношение на създаване, поддържане и ползване на информационните обекти.

Областта на знанието включва когнитивното и социалното взаимодействие, на хората, които са необходими за успешно функциониране в мрежово ориентираната среда. Терминът е свързан с реализация на военна доктрина за информационно осигуряване за задачи и мисии, където съществува строга субординация и дефинирани квалификационни, длъжностни и функционални характеристики на човешкия фактор в индивидуален и групов план. Дефинирани се принципи, които реализират конкурентното информационно превъзходство на средата при запазване на връзките и субординацията във военните звена. Това предполага обобщаването на експертни знания и опит от минали събития, модели и сценарии за действия, които осигуряват вземане на решения. При съвременното състояние на информационните технологии това са задачи на ИИ. Поради тази причина се използва понятието когнитивен (рационално-ментален сегмент или слой). Към него ще отнесем задачите, свързани с адаптацията на МСОК към динамичните условия на средата, развитието на моделите за класификация с участието на човешкия фактор, презентирането на информацията във вид, улесняващ вземане на решения, развитие на сценариите за изпълнение на системните функции, които могат да се реализират без участие на човека, програмните задачи с елементи на ИИ.

Техническата област включва информацията и физическите аспекти (инфраструктура, системи, мрежова свързаност и околна среда). Развитието в двете области е от ключово значение за постигането на функциите на мрежово-центричната среда.

Заключение

В доклада са представени резултатите от синтез на структура на МСОК на БЛА със системна цел информационно осигуряване за използване на технически средства за ефективна неутрализация на БЛА, която има следните предимства**:**

- откриване и класификация на целите с мултисензорна система, която подобрява статистическите и точностни характеристики на процеса;
- двустепенна паралелна класификация в реално време по физически характеристики на демаскиращите признаци и по клас БЛА, който клас е свързан еднозначно с избор и решение за ефективното използване на средства за неутрализация;
- използване на изкуствен интелект и развитие на моделите за класификация с използване на човешкия фактор с цел адаптация и създаване на работещи модели с малко количество на данни и качествени прогнози;
- активно обучение на системата с участието на човешкия фактор и анотиране на данните за бърза сходимост на моделите, които са необходими за изпълнение на системните цели;
- дефинирана е структура, която осигурява скалируемост с клъстерната си организация, разрастване с нови по тип сензори и връзка с други информационни системи.

Благодарности*: Настоящият доклад е изготвен в рамките на проект по т. 3.1.7 от Национална научна програма „Сигурност и отбрана” (приета с РМС №731 от 21.10.2021 г.) и съгласно Споразумение № Д01-74/19.05.2022 г. между МОН и Институт по отбрана „Проф. Цветан Лазаров“.*

Литература:

1. Hunt, E., Artificial Intelligence, Academic Press, New York, San Francisco, London, 1975
2. Olusiji O M., Martins Ezuma, Adrian P Lauf, and Ayodeji A Adeniran, Hierarchical Learning Framework for UAV, Detection and Identification, a Air Defence Regiment, Swedish Armed Forces, Sweden Center for Applied Intelligent Systems Research (CAISR), Halmstad University, Halmstad SE 301 18, Sweden с RISE, Lindholmspiren 3A, Gothenburg SE 417 56, Sweden 2012
3. Medaiyese Olusiji O., Abbas Syed, Adrian P. LaufMachine Learning Framework for RF-Based Drone Detection and Identification System, 2021 2nd International Conference On Smart Cities, Automation & Intelligent Computing Systems (ICON-SONICS), pp. 58–64. https://ieeexplore.ieee.org/document/9617168
4. Хубенов, Е., З. Чифлиджанова, Моделиране на процесите в събитийно ориентирани комуникационно-информационни системи, Научно списание „Механика Транспорт Комуникации“, бр. 3, 2013, DS-23-29
5. Хубенов, Е., Г. Сотиров, З. Хубенова, Безпилотни авиационни системи с елементи на изкуствен интелект в Интернет среда. Seventeenth International Scientific Conference „Space, Ecology, Safety”, PROCEEDINGS SES`21, стр. 121-127, София, p-ISSN 2603 – 3313; e-ISSN 2603 – 3321. http://space.bas.bg/SES/archive/SES%202021_DOKLADI/PROCEEDINGS%20SES%202021.pdf
6. Net-Centric Environment Joint Functional Concept Department of Defence USA, version 1.0 2005 https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA490440.pdf

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЧОВЕШКИЯ ФАКТОР В БЕЗПИЛОТНИТЕ АВИАЦИОННИ СИСТЕМИ ЗА МОНИТОРИНГ В КРИТИЧНИ СИТУАЦИИ

Зоя Хубенова[1], Константин Методиев[1], Георги Сотиров[1], Любомир Алексиев[2]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]Военномедицинска академия-НЦВМЕАММ – София
e-mail: zhubenova@space.bas.bg

Ключови думи: *БАС, човек-оператор, БЛА, критични ситуации*

Резюме: *Статията е свързана с провеждане на фундаментални изследвания за дейността на човека в сложна информационна среда като елемент от безпилотните авиационни системи (БАС) за мониторинг и управление на бедствия и аварии в критични ситуации. Изследването касае оптимизиране на човешкия фактор при управление на безпилотни летателни апарати (БЛА) за мониторинг на критична инфраструктура с използването на иновативни методи за оценка на когнитивното и психо-емоционалното състояние на човека-оператор. Предлага се създаването на мултимодална биосензорна лабораторна станция към „Лаборатория за подбор, обучение и контрол на оператори“, която да обединява комбинираното използване на няколко неинвазивни физиологични и психологични методи на изследване.*

HUMAN FACTOR RESEARCH IN UNMANNED AIRCRAFT MONITORING SYSTEMS OF CRITICAL SITUATIONS

Zoya Hubenova[1], Konstantin Metodiev[1], Georgi Sotirov[1], Liubomir Alexiev[2]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]Military Medical Academy– Sofia
e-mail: zhubenova@space.bas.bg

Keywords: *UAS, human operator, UAV, critical situations*

Abstract*: The article is related to carrying out fundamental research on human activity in a complex information environment as an element of unmanned aviation systems (UAS) for monitoring and managing disasters and accidents and critical situations. The research is related to the human factor optimization in terms of unmanned aerial vehicles (UAVs) control for monitoring critical infrastructure by means of innovative methods for assessing the human operator's cognitive and psycho-emotional state. A multimodal biosensor station at the "Laboratory for Selection, Training and Control of Operators" is proposed which would unify simultaneous usage of several non-invasive physiological and psychological research methods.*

Въведение

В настояще време в болшинството страни на света се разширява използването на разнообразни безпилотни летателни апарати (БЛА) поради относително ниската себестойност, многофункционалност и безопасност. Разнообразни са сферите на приложението им: мониторинг при бедствия и аварии, ликвидиране на последствията при извънредни ситуации наблюдение за обекти и нефтопроводи, патрулиране в горски масиви и др. Масовото използване на БЛА, доказва високата им ефективност в най-различни условия, променяйки фундаменталните основи на провеждането на такъв род наблюдение на Земята и въздуха. Ефективността и безопасността на такива безпилотни комплекси в значителна степен зависи от професионалните качества и подготовката на операторите в наземните пунктове за управление.

Работната среда за управление на БЛА е силно динамична и поставя специфични изисквания към оператора, което е свързано с възприемането и обработката на голямо количество информация. От него се очаква бързо да оценява тази информация и да реагира по съответния начин в зависимост от решаваните мисии и задачи. В същото време той трябва да комуникира и общува с други членове на екипажа. Допълнително усложняване на ролята на оператора е високото ниво на отговорност и изискванията за безопасност, тъй като БЛА може да лети в ограничено въздушно пространство или близо до земята, като застрашава други самолети, инфраструктура или хора.

През последните 30-40 години се наблюдава тенденция за постепенно намаляване на общия брой авиационни злополуки (включително и в безпилотната авиация), свързани с технически проблеми – в резултат на технически откази, отказ на двигателните системи със загуба на скорост и височина, като относителният дял на инцидентите, свързани с човешкия фактор и човешка грешка, остава сравнително постоянен, дори нараства.

С развитието на БЛА започват да възникват важни въпроси по отношение на човешкия фактор (ЧФ) в безпилотната авиация – неговите възможности и ограничения. Управлението на безпилотните летателни апарати изисква интегрирането на различни умствени ресурси като знания, внимание и вземане на решения. Тези ресурси са ограничени и лесно могат да бъдат повлияни в условия на стрес и работно натоварване каквито са наблюдението и контрола на множество БЛА едновременно, прехвърлянето на контрол от един оператор на друг по време на активно изпълнение на мисия и др. Също така, в безпилотната авиация няма строго определени стандарти по отношение дизайна на работното място; липсват предварително определени изисквания за подбор на оператори на БЛА, както и много други фактори, които биха оказали негативно влияние върху представянето на оператора. Прекомерното изразходване на умствени активи може да предизвика състояние на претоварване с изчерпване на когнитивните ресурси, което да причини разсейване, да генерира грешки в перцепцията и обработката на информацията, да предизвика стрес и фрустрация (чувство на неудовлетвореност), а като резултат - да намали способностите на индивида за планиране и вземане на решения за действие, което неминуемо води до грешки в изпълнението, [1].

Моделирането и изследването на човека в безпилотните авиационни системи (БАС) е актуален интердисциплинарен научен проблем, изискващ използването на теорията и методите на различни клонове от науката: кибернетика, психология, инженерна психология, физиология, ергономия, математика, системен анализ и др. Отчитайки казаното, в последните години приоритет за авиацията в световен план се явява изследователската и експериментална работа по създаване и използване на безпилотни летателни апарати, както и изучаването, разбирането и подобряването на човешките възможности в такъв род комплексни системи „човек – машина“ [2]. Разглеждането и анализирането на инцидентите с БЛА, могат да бъдат от помощ при определянето на проблемите свързани с човешкия фактор в безпилотната авиация.

Актуалност на проблема

Понастоящем БЛА за наблюдение и контрол на земната повърхност са получили широко разпространение и се използват при разнообразни задачи и мисии на полета: изследване на замърсявания в почвата, водите и атмосферата; проследяване на състоянието на растителността; определяне на енергийната ефективност; аерофотограметрия; управление на трафика и т.н. Мониторингът на природните и техногенните бедствия и явления, е важен елемент от националната сигурност [3]. Това предполага разработката и използването на национална система за мониторинг позволяваща оперативното решаване на задачите свързани с превенцията и действията по време на кризите, както и предотвратяване на последствията от тях. Изхождайки от направения анализ и съществуващия опит, концепцията за екологичен мониторинг и управление на кризи се заключава в комплексното използване на космическите, авиационните и наземните методи за наблюдение [4]. В тази връзка важен компонент е критичната инфраструктура, свързана със състоянието в енергетиката и транспорта, телекомуникациите, химическа промишленост и други свързани с нея технически енергийни и комуникационни съоръжения.

През последните години намаляването на риска от бедствия се превърна в световен приоритет. Доказателство са документите, приети от страните членки на Европейския съюз (ЕС), както и Рамката за действие Хиого 2005- 2015 на ООН за устойчивост на нациите и обществата към бедствия, която приканва всяка страна да създаде Национална платформа и стратегия за намаляване на риска от бедствия. Съгласно Европейска директива 2008/114/ЕО се препоръчва да бъдат разработени общи методологии за определяне и класифициране на уязвими места, заплахи и рискове по отношение на инфраструктурните елементи, както и значителен обмен на информация между съответните секторни и национални оператори на

страните-членки, и с органите на Европейската комисия [5]. Освен това, Европейската комисия организира създаването на общоевропейски системи за мониторинг и оповестяване, като: „Global Monitoring for Environment and Security (GMES)", „Critical Infrastructure Warning Information Network (CIWIN)" и „European Information Sharing and Alert System (EISAS)".

Статистиката на най-големите авиокатастрофи в света за периода (01.01.1950 – 30.06.2019). показва, че основна причина за трагедиите във въздуха си остава човешкия фактор (грешките на екипажа или диспечера) [6]. Данните от статистиката, показват, че около 70% от катастрофите се дължат на «човешкия фактор», при което, примерно 50 % от тях са от грешки на пилотирането (табл. 1).

Таблица 1. Причини за възникване на катастрофи с фатален край по десетилетия (в проценти)

CAUSES OF FATAL ACCIDENTS BY DECADE								
DECADE	**1950s**	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s	2010s	All
Pilot Error	50%	53%	49%	42%	49%	50%	57%	49%
Mechanical	26%	27%	19%	22%	22%	23%	21%	23%
Weather	15%	7%	10%	14%	7%	8%	10%	10%
Sabotage	4%	4%	9%	12%	8%	9%	8%	8%
Other	5%	9%	13%	10%	14%	10%	4%	10%

Източник: PlaneCrashInfo.com (http://www.planecrashinfo.com)

Растящият брой от най-разнообразни БЛА – от най-миниатюрните до най-големите, задължават обществото и съответните оторизирани органи в редица страни да отделят все по-голямо внимание на подготовката на пилоти от нова класа, които работят в командни пунктове на земята. Имайки предвид насочеността и обема на многобройните съвременни научни публикации, посветени на човешкия фактор в безпилотната авиация, има основание да се мисли за ново качествено ниво на световната авиационна наука, свързана със спецификата и начините за оптимизиране на включването на ЧФ в безпилотна авиационни системи.

Иновативни методи за изследване на оператори на БЛА

Правилното разбиране на възможностите и ограниченията на човека и предсказуемите аспекти на поведението му в експлоатационна /работна среда са главните проблеми на човешкия фактор. Оптимизиране ролята на човека, в сложна високотехнологична работна среда обхваща всички аспекти на човешката дейност като: вземане на решения и други познавателни процеси, подбор на дисплеи и различни органи за управление, ергономичност на работно място, връзки и програмно осигуряване, документация, инструкции, стандартни процедури и пр. При това познаването на различните аспекти на ЧФ играе важна роля при подбора на персонала, при подготовката и обучението му, а също при предотвратяване и разследване на авиационни произшествия. Съществуват разнообразни модели за изследване на човешкия фактор, прилагани при обучение на авиационни специалисти и при разследване на авиационни произшествия. Като основна концепция за описание на ЧФ и представяне на взаимовръзките между различните компоненти в авиационните системи се използват модела SHEL, модела на Reason J., значимост на човешките грешки и др. [7, 8].

Основният психологически проблем на управлението на БЛА е пространствената отдалеченост на оператора от управляваното устройство. Поради това операторът е лишен от значително количество сензорна информация, която обикновено придружава полета, а това е предпоставка за грешки при вземането на решения. Основният източник на информация е видеокамера с ограничено зрително поле, а при такива условия грешките при пилотиране са честа причина за аварии при БЛА.

Особено внимание се отделя на проблема за взаимодействието между човека и машината (компютърно-информационна система) в процеса на ориентация на човека в сложна пространствено-времева обстановка, вземане на решения и действие. Такъв проблем исторически за първи път е бил поставен в авиацията, а по-късно се разпространява в наземния транспорт, в управлението на въздушното движение, ядрената енергетика, медицината, в изследването на космоса и системите за ситуационен анализ и поддръжка на вземането на решения. Проблемът е получил название ситуационната осведоменост (Situational awareness, SA) и се дефинира като способност на потребителите напълно да възприемат, разбират и вземат решения в дадена ситуация [9, 10]. Възприятие (Ниво 1 SA) е най-основното ниво и включва разпознаване и наблюдение на елементи като хора, обекти и

фактори на околната среда, както и тяхното текущо състояние. Разбиране (Ниво 2 SA) се основава на възприятието и включва способността за разработване на картина на текущата ситуация чрез използване на разпознаване на модели, оценка и интерпретация за синтезиране на информация. И накрая, най-високото ниво на SA, Проекция (Ниво 3 SA), включва разбиране на динамиката на околната среда и прогнозиране на бъдещи състояния. Ефективният дизайн на потребителския интерфейс трябва да поддържа и трите нива на SA.

В когнитивната психология се използва понятието концептуален модел, чрез който операторът в определен момент отразява обекта за управление и управляващата ситуация в тяхната цялост. Концептуалният модел се разглежда като основно вътрешно средство за дейност, създадено в процеса на обучение и тренировка. Този модел включва житейския опит и знанията на човека, получени по време на специализирано обучение, както и информацията, получена в процеса на управление.

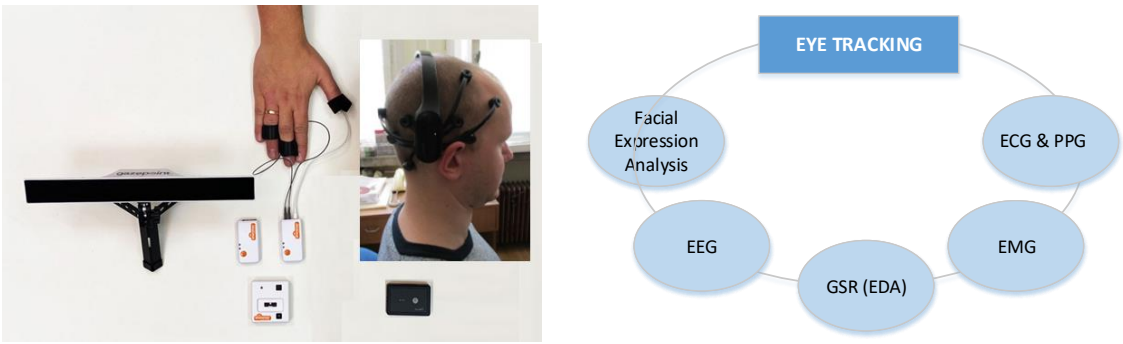
В тази връзка използването на физиологични мерки и биосензори в изследванията на човешкия фактор и човешкото поведение непрекъснато расте. Мултимодалните изследвания се извършват с няколко биосензора или модула, като всеки отделен хардуер е свързан към един компютър или в лабораторна станция чрез специален софтуер. Такива инструменти са проследяване на очите, анализ на изражението на лицето, ЕЕГ (Електроенцефалография), ЕМГ (Електромиография), ЕДА (Електродермалната активност (EDA/GSR) и ЕКГ (Електрокардиограма), които допълнят традиционните изследователски подходи. В момента производителите на софтуер и хардуер все повече разработват инструменти, които позволяват на потребителите да провеждат изследвания на човешкото поведение, използвайки повече модалности наведнъж, например чрез комбиниране на проследяване на очите с анализ на изражението на лицето или ЕЕГ, [11]. В резултат на това изследванията стават не само по-удобни, но и по-ефективни и прецизни. Мониторингът на такъв род физиологични сигнали помага за разбиране на процесите на вземане на решения от човешкия фактор в критични задачи и среди.

При възможност от финансиране ще се проведат пилотни експерименти за физиологични измервания в „Лабораторията за подбор, обучение и контрол на оператори на безпилотни летателни апарати“ в ИКИТ-БАН, като се използва наличния специфичен инструментариум: за Eye tracking – мобилен окулограф Pupil Labs Core и настолен окулограф GazePoint GP3 HD (за проследяване движенията на очите), с комплект прибори за събиране на биометрични данни: сърдечен ритъм (heart rate), електродермална активност (galvanic skin response) и аналогов потенциометър (analog self-reported user engagement), както и системата Emotiv (ЕЕГ технология за количествено измерване на мозъчната дейност), [12, 13].

Предлага се създаването на *мултимодална биосензорна лабораторна станция* към Лабораторията, която да обединява комбинираното използване на няколко неинвазивни физиологични и психологични метода на изследване:

А. Физиологични изследвания. Използването на обективни физиологични измервания и биосензори за мултимодално изследване на човешкия фактор дава възможност да се направи оценка на физиологичното състояние на оператора и неговото поведение при управление на БЛА чрез използване на специфични инструменти като:

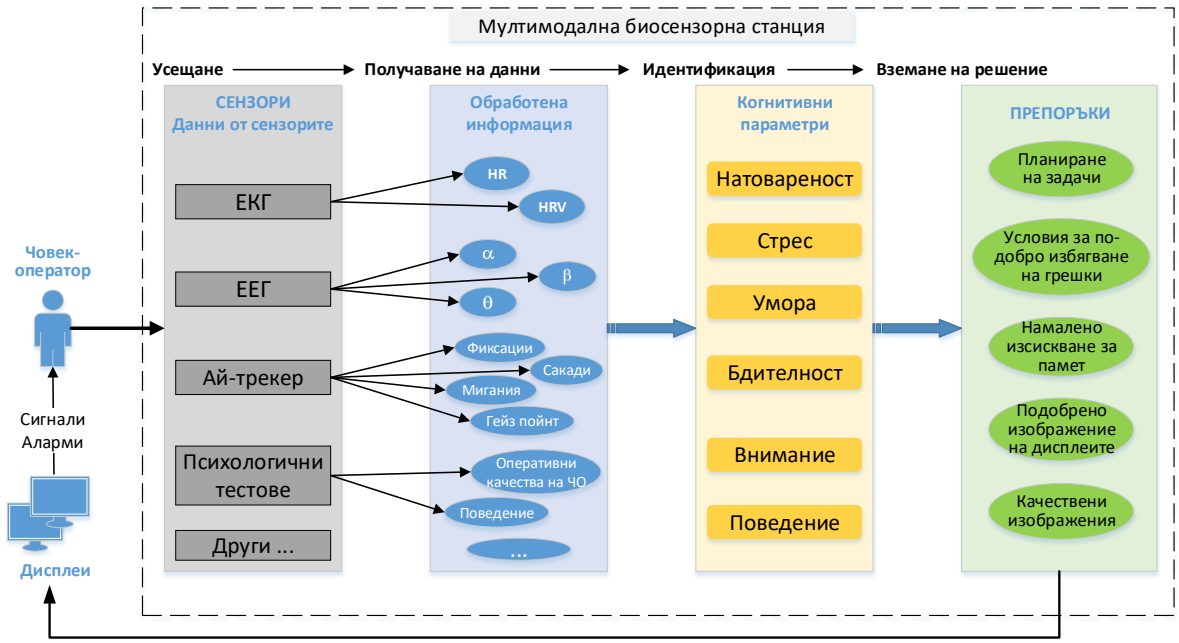
- Eye tracking – окулографски метод за регистриране движенията на очите, измерване на диаметъра на зениците и честота на миганията за изследване на когнитивното натоварване и зрителното внимание на ЧО;
- ЕЕГ метод (иновативна безжична система Emotiv), който позволява софтуерна обработка на ЕЕГ данните с изчисляване на показатели за ефективност (Performance metrics) и анализ на изражението на лицето (facial expression analysis)?;
- ЕМГ за регистриране на моторния отговор и измерване време на реакция;
- HRV (Heart rate variability) - ЕКГ с изчисляване на вариабилитет на сърдечната честота.



Фиг. 1 . Неинвазивни психо-физиологични методи за изследване

Б. Психометрични изследвания. Използване на батерия от Психометрични тестове ще предостави на операторите персонализирана обратна връзка за техните нива на стрес, внимание и фокус, поносимост към умствено натоварване, стрес и умора, как тези фактори повлияват изпълнението на летателната дейност и повишават риска от човешка грешка, и как операторите могат активно да работят за подобряване на своите умения и представяне. Психологичните тестове предлагани от Vienna Test System (VTS) на д-р Шуфрид [14] са подходящ метод за изследване на оперативните качества на участниците, включително и на тяхното поведение в ситуации на голямо работно натоварване и стрес.

Чрез горе посочената тестова система предвиждаме да се направи оценка на: 1) Тридименсионалната пространствена ориентация (пространствена ориентация и мислене), необходима за ефективното и безопасно управлението на БЛА; 2) Стресоустойчивост (неговата реакция към бързо променящите се стимули и възможностите му да се справи с изпълнението на задачата при сложни условия); 3) Бдителност - тестът се използва за оценка на вниманието на оператора на БЛА при изпълнение на продължителни и монотонни задачи, при които може да настъпи умора и влошаване в представянето, което крие риск да компрометира безопасността на полета. Психологичните изследвания ще бъдат провеждани преди и след изпълнението на полетите с БЛА.



Фиг. 2. Блокова схема, илюстрираща параметрите на *мултимодална биосензорна станция*

Резултатите от психометричните тестове ще бъдат използвани като предиктор за индивидуалните умения, възможности и качество/ниво на изпълнение на задачите. Получените резултати и установени зависимости от психологичните и физиологични изследвания, и тези от представянето на всеки един оператор при управлението на БЛА, ще дадат възможност за установяване критерии за подбор на оператори на БЛА.

Целта на изследването е създаване на концепция и методики за оценка на качеството на функциониране на авиационна система за мониторинг и управление при кризи с отчитане на човешкият фактор в този процес, включвайки следните основни дейности

– Симулация на кризисна ситуация във флайт симулатор; Изпълнение на полетна задача за ранно откриване, наблюдение и оповестяване на извънредната ситуация (напр. горски пожар) от участниците в експериментите;

– Създаване на експериментална безпилотната авиационна система с дрон с наземен пункт за мониторинг с дистанционен пилот;

– Провеждане на пилотни експерименти с оператори (контингент от доброволци) на тренажори на БЛА и коптери в „Лабораторията за подбор, обучение и контрол на оператори на БЛА“ в ИКИТ-БАН.

Заключение

За операторите, управляващи БАС, работещи в пилотски кабини, контролни зали и други критични среди, информираността за ситуацията е жизненоважна в процесите на пилотиране. Ситуационната осъзнатост на човека-оператор – правилното възприятие, обработка и интерпретация на полетната информация, и прогнозиране състоянието/ поведението на летателния апарат в близко бъдеще, има ключово значение при вземане на правилните решения при пилотиране. Безпилотните авиационни системи не могат да бъдат лишени от човешкото звено за управление (с изключение на някои случаи на пълна автоматизация), като се създава възможност БЛА да се управлява дистанционно, а същевременно да се изпълнява и целия набор от задачи, типични за пилота или полетния екипаж.

Комбинираното използване на горепосочените съвременни физиологични методи на изследване допълва традиционните изследователски подходи, давайки възможност да се направи оценка именно на ситуационната осъзнатост, която повлиява доброто представяне на човека-оператор и би помогнало за разбиране в дълбочина на процесите на вземане на решения от ЧФ в критични ситуации, неговите реакции и поведение в контекста на ефективно и безопасно изпълнение на летателната задача. В проучванията за вземане на решения проследяването на очите ще помогне на да се оценят процесите на вземане на решения, като предоставя допълнителна представа за основните когнитивни механизми. Мониторингът на тези физиологични сигнали може също да се използва в програми за обучение оператори и дистанционни пилоти. Като се предоставят на операторите персонализирана обратна връзка за техните нива на стрес, внимание и фокус, те могат активно да работят за подобряване на своите умения, което води до безопасността и ефективността на полетите. Оценката на човешките когнитивни състояния въз основа на измерване на ключови психофизиологични наблюдаеми параметри се използват за прогнозиране и подобряване на работата на оператора при изпълнението на авиационни задачи.

Литература:

1. Valavanis, K. P., G. J. Vachtsevanos, Editors. Handbook of Unmanned Aerial Vehicles, Springerq 2015
2. Getsov, P., G. Sotirov, Z. Hubenova, Human Factor Problems in Unmanned Aerial Systems, Aerospace Research in Bulgaria, Volume 35, 2022
3. Националната система за мониторинг на околната среда (НСМОС), https://eea.government.bg/bg/nsmos
4. Пенев, П., Космос и сигурност, и-во „Витал“, София, 2014
5. ДИРЕКТИВА 2008/114/ЕО НА СЪВЕТА, относно установяването и означаването на европейски критични инфраструктури и оценката на необходимостта от подобряване на тяхната защита https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0114&from=HR
6. PlaneCrashInfo.com (http://www.planecrashinfo.com
7. Reason, J: Human error: models and management. BMJ 2000, 320:768-70
8. Safety Management Manual (SMM) Doc 9859; AN/474 https://www.icao.int/SAM/Documents/RST-SMSSSP-13/SMM_3rd_Ed_Advance.pdf
9. Situational Awareness, Edited By Eduardo Salas, Aaron S. Dietz, 2011 by Routledge, SBN 9780754629733
10. Mica, R. Endsley, Designing for Situation, Awareness: an Approach to User-Centered Design, Second Edition (2nd ed.). CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, 2011, USA
11. NeuroSky. EEG & ECG Biosensor Solutions; http://neurosky.com/
12. Хубенова, Системно-информационен анализ на човешкия фактор в сложни технически системи, УИ „Св. Климент Охридски”, София, 2021
13. Sotirov, G., K. Metodiev, L. Aleksiev, Z. Hubenova, P. Getsov, D. Zafirov, D. Aleksandrova, D. Ivanova, Investigating the Cognitive Characteristics of UAV Operators During the Training Process Using Eye Tracking Methods, Aerospace Research in Bulgaria, Volume 35, 2022
14. Vienna Test System, SCHUHFRIED, https://www.schuhfried.com/vienna-test-system/

EVALUATION OF MEMBRANE STABILITY OF LEAF CELLS OF CYNODON (CYNODON DACTYLON) AND FOUR WHEAT GENOTYPES AFTER EXPOSURE TO ETHANOL

Petar Petrov[1], Ivan Dimitrov[2]

[1]Institute of Plant Physiology and Genetics – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: pivanovp@abv.bg
[2]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: IDimitrov@mail.space.bas.bg

Keywords: *Wheat, Drought resistance, Cold resistance, Membrane stability, Ion leakage, Ethanol resistance, Leaf injury index*

Abstract: *The stability of leaf cell membranes is one of the factors on which the resistance of agricultural crops to the abiotic factors of the environment depends. Ethanol, as a very good solvent of lipids and highly damaging to cell membranes, was used to test the membrane stability of leaf cells of cynodon (Cynodon dactylon) and four genotypes of wheat. The membranes of the cynodon leaf cells are the most resistant. A concentration of 15% ethanol was chosen as the most suitable for testing the wheat genotypes. Of the wheat genotypes, the leaf cells of Katya and Enola have the greatest membrane stability. The rates of damage to leaf cell membranes are constant in the cynodon and the Katya genotype, while in the other genotypes they increase exponentially.*

ОЦЕНКА НА СТАБИЛНОСТТА НА МЕМБРАНИТЕ НА ЛИСТНИТЕ КЛЕТКИ НА ТРОСКОТ (CYNODON DACTYLON) И ЧЕТИРИ ГЕНОТИПА НА ПШЕНИЦА СЛЕД ТРЕТИРАНЕ С ЕТАНОЛ

Петър Петров[1], Иван Димитров[2]

[1]Институт по физиология на растенията и генетика – Българска академия на науките
e-mail: pivanovp@abv.bg
[2]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: IDimitrov@mail.space.bas.bg

Ключови думи: *пшеница, сухоустойчивост, студоустойчивост, стабилност на мембраната, йонна пропускливост, устойчивост на етанол, индекс на увреждане на листата*

Резюме: *Стабилността на мембраните на листните клетки е един от факторите, от които зависи устойчивостта на селскостопанските култури към абиотичните фактори на околната среда. Етанолът, като много добър разтворител на липиди и силно увреждащ клетъчните мембрани, беше използван за тестване на мембранната стабилност на листните клетки на троскот (Cynodon dactylon) и четири генотипа на пшеница. Най-устойчиви са мембраните на листните клетки на троскота. Концентрация от 15% етанол е избрана като най-подходяща за тестване на генотипите на пшеница. От генотипите на пшеницата листните клетки на Катя и Енола имат най-голяма устойчивост на мембраната. Темповете на увреждане на листните клетъчни мембрани са праволинейни при троскота и генотипа Катя, докато при останалите генотипи нарастват експоненциално.*

Introduction

Climatic changes require the selection of wheat genotypes resistant to the abiotic factors of the environment. The stability of cell membranes of leaf cells is key to the tolerance of wheat genotypes to abiotic stresses. Electrolyte leakage method provides an assessment of the stability of cell membranes, i.e. the greater the electrolyte leakage, the more damaged the cell membranes. This method helps in the selection of more cold tolerant (Yazdi-Samadi et al., 2006), more heat tolerant (Dias et al., 2010)

and more drought tolerant (Bajji, Mohammed et al., 2002; Ahmadizadeh et al., 2011; Petrov et al., 2018) wheat genotypes. The method is also used to assess salinity tolerance of wheat (Basra et al., 2005).

The organization of cell membranes is very complex. Lipids are a major component of membranes. Ingólfsson et al., 2014 proposed a model of 63 different types of lipids. The lipid bilayer environment surrounding membrane proteins strongly influences their structure and functions (Tero et al., 2017). The dynamically structured mosaic model proposed by Vereb et al. (2003) suggested a dynamic rearrangement of lipids and proteins through Brownian motion. According to Bhat et al. (2005) biological membranes are not a simple homogeneous layer of proteins and lipids, but rather are organized into discrete regions that can be characterized by different lipid and protein contents. These membrane microdomains are called "lipid rafts". Rafts in membranes are defined by the physical properties of the lipid bilayer and function by selectively partitioning membrane lipids and proteins into membrane domains with specific phase behavior and lipid packing (Harder, 2003).

Lipid solvents could damage the structure of cell membranes and disrupt their functioning. Ethanol, as a very good lipid solvent, has a toxic effect on membranes. Studies of the resistance of cell membranes to ethanol have been carried out in animal and human cells. The fluidity of cell membranes is important for their functioning and stability. One of the effects that ethanol induces on membranes is to alter their fluidity by altering the fluidity of membrane lipids. Alcohol treatment induces changes in rat synaptic membrane fluidity (Zerouga et al., 1992). Goral et al. (2008) suggested that ethanol may have dose-dependent effects on cell membrane fluidity in human cells. No studies are known to assess the tolerance of plant cell membranes to ethanol. Testing the membrane stability of agricultural crop cells with ethanol solutions, by conductometry with a simplified protocol, is performed in a short time as an express test applicable in breeding practice.

Materials and methods

Plant material and growing conditions

The cynodon leaves were plucked from plants growing under natural conditions. Leaves of wheat genotypes were plucked from plants grown for 21 days under controlled conditions. The four Bulgarian wheat (Triticumaestivum L.) varieties were used, of which 1 old historic varieties and 3 modern releases. The old varietie Slomer represent relatively homogeneous selection made within landraces, or early breeding releases. This germplasm is not cultivated anymore and is nearly extinct. Seed samples have been kindly provided by Dr. Andreas Börner, German Federal Genebank, Leibniz Institute of Plant Genetics. Seeds were soaked for 4 h in tap water and planted in 1-kg pots with alluvial meadow soil (pH 6.2). Plants were grown in a climatic chamber with 22/18 °C day/night temperature, 14-h photoperiod, irradiance of 250 lmol m_2 s_1 and 70 % relative humidity. Tap water was supplied daily sustaining 60 % of full soil moisture capacity.

Leaf injury index (LII) and electrolyte leakage kinetics

For determination of LII 15 leaf pieces (2 cm in length) were cut from plants. The solutions was measured with a conductometer Elwro 5721 (Poland). Finally, samples were boiled for 30 min, cooled at room temperature and conductivity was read again. LII was measured by a modification of the Premachandra formula (Premachandra et al., 1992). The original formula is:

$$I\% = \left[\frac{1 - \left(1 - \frac{t1}{t2}\right)}{1 - \frac{c1}{c2}} \right] \times 100 \quad (1)$$

where t1 and t2 are the first and second (after boiling) conductivity measurements of the solutions in which they are treated samples were immersed and c1 and c2 are the corresponding values of the controls. In our case, t2 = c2, since leaves from untreated plants were used for the experiments. For c1, the conductivity values of ethanol solutions with distilled water, which are close to the values of distilled water, are taken.

Statistical analysis

Two independent experiments were conducted and parameters were measured in at least 3 replications. Data are presented as mean values ± SE

Results

LII of the cynodon (Cynodon dactylon) and of the wheat genotype with low drought tolerance (Slomer) treated with a series of ethanol concentrations. At concentrations of 5 and 10% of the cynodon leaves, no significant electrolyte leakage was recorded until the end of the experiment (Fig. 1).

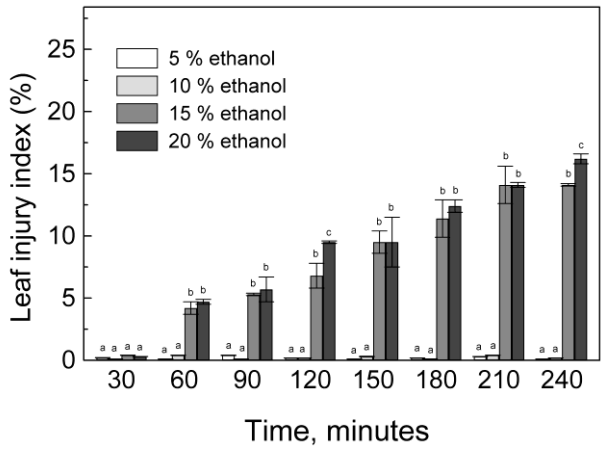


Fig. 1. Leaf injury index of cynodon (Cynodon dactylon) treated with ethanol solutions

At the higher concentrations (15 and 20 %) from the 60th to the 240th minute, a gradual increase in electrolyte leakage up to about 15% was reported (Fig. 1). After the 120th minute, the lowest concentration of ethanol that causes an increase in the electrolyte leakage from the membranes of the leaf cells of the Slomer wheat genotype is 5% (Fig. 2). At the higher concentrations of ethanol, the electrolyte leakage increased from the 30th minute and reached about 20% at the 240th minute at all three concentrations (Fig. 2).

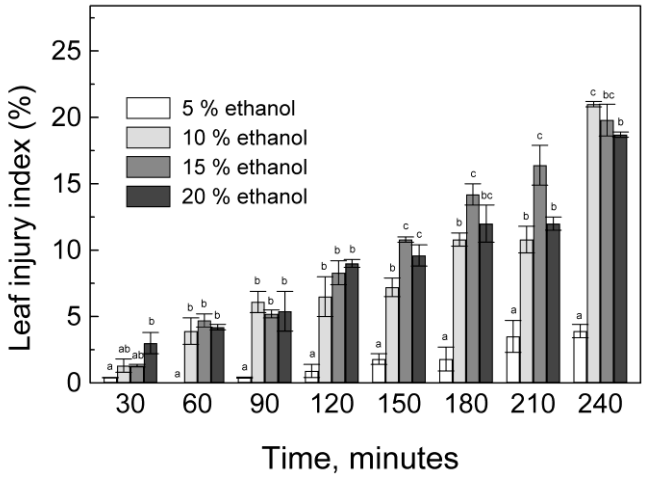


Fig. 2. Leaf injury index of the leaves of the Slomer wheat genotype treated with ethanol solutions

LII of 4 wheat genotypes treated with 15% ethanol.

By the 90th minute, electrolyte leakage increased to the same extent in all four genotypes. After the 120th hour, electrolyte leakage has higher values in the Slomer and Prelom genotypes (Fig. 3). At the end of the experiment, the electrolyte leakage was the highest in the Prelom genotype (Fig. 3). The electrolyte leakage of the Slomer genotype has a lower value (Fig. 3). The electrolyte leakage is the lowest in the Katya and Enola genotypes (Fig. 3).

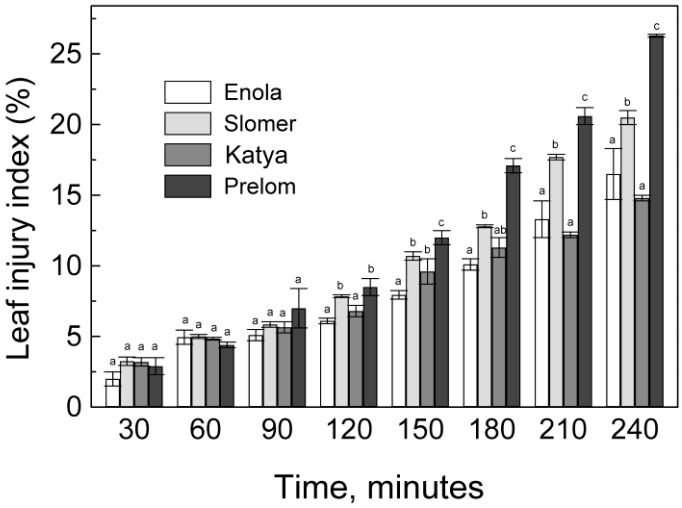


Fig. 3. Leaf injury index of 4 wheat genotypes treated with 15% ethanol solutions

Rates of damage to leaf cell membranes

The rates of damage to the cell membranes of cynodon leaves treated with 15 and 20% ethanol solutions were constant (Fig. 4).

The rates of damage to the leaf cell membranes of the Enola, Slomer and Prelom genotypes treated in 15% increased exponentially (Fig. 4). In the Katya genotype, the rates of leaf cell membrane damage are again constant (Fig. 4).

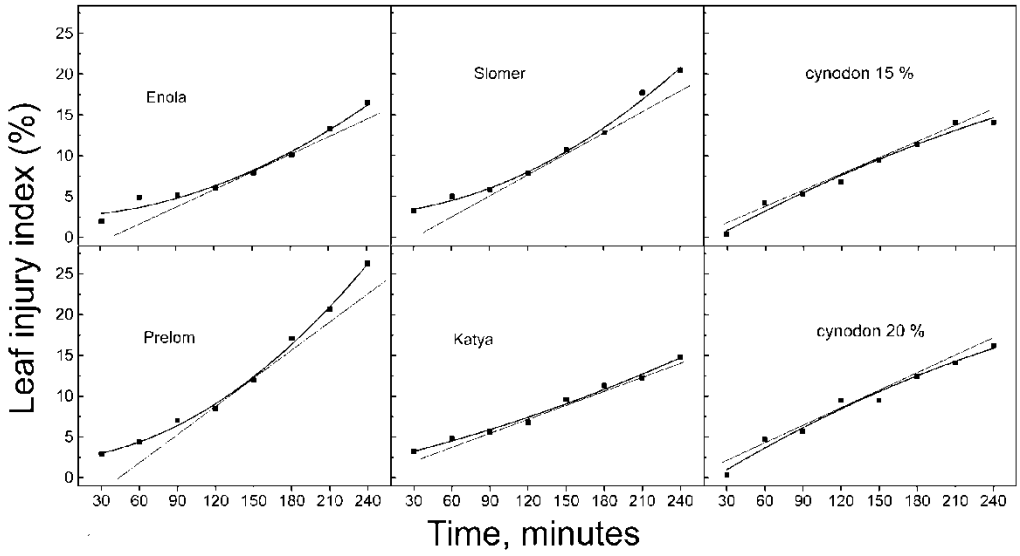


Fig. 4. Rates of damage to cell membranes of leaves of 4 wheat genotypes treated with 15% ethanol solution and cell membranes of cynodon (Cynodon dactylon) leaves treated with 15 and 20% ethanol solutions

Discussion

LII of cynodon to ethanol

The minimum concentration of ethanol at which significant damage to the cynodon cell membranes is observed is 15% (Fig. 1), while it is 10% for the Slomer wheat genotype (Fig. 2). As a rule, wild plants are more viable than cultivated ones, which was also observed in our research. These results confirm the workability of our approach.

Optimization of ethanol concentration for LII testing of wheat genotypes

For the tests, a concentration of ethanol was chosen that was not too low (causing no or little damage to the membranes) or too high (causing strong and equal damage to the membranes of all genotypes). Slomer is a wheat genotype of old Bulgarian selection. Our previous research showed that the genotype has a low degree of drought resistance and labile membranes of leaf cells (Petrov et al.,

2018). Slommer leaves were treated with a series of ethanol concentrations in order to select an appropriate concentration to compare the LII of wheat genotypes (Fig. 2). At the end of the experiment, at all three concentrations (10, 15 and 20%), the damage to the leaf cell membranes was significant (about 20% - Fig. 2). The lowest concentration at which there is significant damage to cell membranes is 10% (Fig. 2). Taking into account the sensitivity of the Slomer genotype and the lack of response of the cynodon to an alcohol concentration of 10% (Fig. 1), the next strongest concentration - 15% - was chosen to compare the membrane stability of the wheat genotypes. An approach similar to ours (via ethanol solutions) has been used to study the ethanol resistance of brewer's yeast (Jones et al., 1987). According to research by Pratt et al. (2003) 10% ethanol inhibited yeast growth and 20% also inhibited their fermentation capacity. The concentrations of ethanol that affect the life processes of the yeast (between 10 and 20%) are same to the test concentration we used (15%).

LII of 4 wheat genotypes treated with 15% ethanol solution

Differences in electrolyte leakage between genotypes were clearly evident at 210 minutes and persisted at 240 minutes (Fig. 3). The maintenance of differences between genotypes in the last two measurements indicates that a treatment period of 4 hours is sufficient to obtain stable results. The average level of electrolyte leakage at the end of the experiment (about 20 %) indicates a strong but not complete damage to the membranes of the leaf cells and allows the achievement of contrasting differences between the genotypes in terms of their membrane stability (Fig. 3). Genotype Slomer is an old selection, while genotypes Enola, Prelom and Katya are new selection wheat.

The Katya genotype known for its drought resistance (Vassileva et al., 2011; Vassileva et al., 2009; Petrov et al., 2018; Doneva et al., 2021; Kocheva et al., 2013) is expected to have stable membranes. Our studies confirm the membrane resistance of this genotype, i.e. the degree of damage to its membranes after exposure to ethanol is weak (Fig. 3). Unexpectedly, ethanol damaged the leaf cell membranes of the new selection genotype Prelom to a significantly greater extent than the leaf cell membranes of the drought-sensitive genotype old selection Slomer (Fig. 3).

Rates of damage to leaf cell membranes

The exponential increase in the rate of leaf cell membrane damage in the Prelom, Slomer and Enola genotypes indicates that ethanol causes a time-progressive destruction of the leaf cell membranes largely beyond the control of the cellular mechanisms for maintaining membrane stability (Fig. 4). The constant rate of electrolyte leakage from the leaf cells of the cynodon after exposure to ethanol (with concentrations of 15 and 20% - Fig. 4) leads to the assumption that the cellular mechanisms for maintaining membrane stability work significantly more efficiently in it. The constant rates of electrolyte leakage after exposure to ethanol and in the Katya genotype suggest that cellular mechanisms maintain the stability of cell membranes in it with an efficiency close to that of the cynodon.

Conclusion

LII of cynodon and 4 wheat genotypes was evaluated by conductometric study with 4 hourly experiments. 15% ethanol was chosen as the test concentration. The leaf cells of the cynodon have the most resistant membranes. Among the wheat genotypes with the highest resistance are the membranes of the leaf cells of the Katya and Enola genotypes. The approach we used allows with a simple protocol and in a short time to successfully compare the membrane resistance of the leaf cells of the wheat genotypes.

Acknowledgments

I thank Prof. Svetlana Misheva for kindly providing wheat genotypes

Thanks for the technical assistance of Mrs. A. Petrova

References:

1. Ahmadizadeh, M., M. Valizadeh, M. Zaefizadeh, H. Shahbazi. Antioxidative protection and electrolyte leakage in durum wheat under drought stress condition. Journal of Applied Sciences Research, 2011, pp. 236–246.
2. Bajji, M., JM. Kinet, S. Lutts. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. Plant growth regulation, 2002, pp. 61–70.
3. Basra, S. M. A., I. Afzal, R. A. Rashid, A. Hameed. Inducing salt tolerance in wheat by seed vigor enhancement techniques. International Journal of Agriculture and Biology, 2005, pp. 173–179.
4. Bhat, R. A., R. Panstruga. Lipid rafts in plants. Planta, 2005, pp. 5–19.

5. Dias, A. S., M. G. Barreiro, P. S. Campos, J.C. Ramalho, F. C. Lidon. Wheat cellular membrane thermotolerance under heat stress. Journal of Agronomy and Crop Science, 2010, pp. 100–108.
6. Doneva, D., M. Pál, L. Brankova, G. Szalai, J. Tajti, R. Khalil, B. Ivanovska. The effects of putrescine pre-treatment on osmotic stress responses in drought-tolerant and drought-sensitive wheat seedlings. Physiologia Plantarum, 2021, pp. 200–216.
7. Goral, J., J. Karavitis, E.J. Kovacs. Exposure-dependent effects of ethanol on the innate immune system. Alcohol, 2008, pp. 237–247.
8. Harder, T. Formation of functional cell membrane domains: The interplay of lipid–and protein–mediated interactions. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 2003, pp. 863–868.
9. Ingólfsson, H. I., M. N. Melo, F. J. Van Eerden, C. Arnarez, C. A. Lopez, T. A .Wassenaar, X. Periole, A. H. De Vries, P. Tieleman, S. J. Marrink. Lipid organization of the plasma membrane. Journal of the american chemical society, 2014, pp. 14554–14559.
10. Jones, R.P., P.F. Greenfield. Ethanol and the fluidity of the yeast plasma membrane. Yeast, 1987, pp. 223–232.
11. Kocheva, K. V., P. I. Petrov, G. I. Georgiev. Physiological and anatomical responses of wheat to induced dehydration and rehydration. Central European Journal of Biology, 2013 pp. 499–503.
12. Petrov, P., A. Petrova, I. Dimitrov, T. Tashev, K. Olsovska, M. Brestic, S. Misheva. Relationships between leaf morpho-anatomy, water status and cell membrane stability in leaves of wheat seedlings subjected to severe soil drought. Journal of Agronomy and Crop Science, 2018, pp. 219–227.
13. Pratt, P.L., J.H. Bryce, G.G. Stewart. The effects of osmotic pressure and ethanol on yeast viability and morphology. Journal of the Institute of Brewing, 2003, pp. 218–228.
14. Premachandra, G. S., H. Saneoka, K. Fujita, S. Ogata.. Leaf water relations,osmotic adjustment, cell membrane stability, epicuticular wax load and growth as affected by increasing water defi cits in sorghum. J Exp Bot, 1992, pp. 1569–1576.
15. Tero, R., K. Fukumoto, T. Motegi, M. Yoshida, M. Niwano, A. Hirano-Iwata.. Formation of cell membrane component domains in artificial lipid bilayer. Scientific reports, 2017, pp. 1–10.
16. Vassileva, V., C. Signarbieux, I. Anders, U. Feller. Genotypic variation in drought stress response and subsequent recovery of wheat (Triticum aestivum L.). Journal of Plant Research, 2011, pp. 147–154.
17. Vassileva, V., L. Simova-Stoilova, K, Demirevska, U. Feller.. Variety-specific response of wheat (Triticum aestivum L.) leaf mitochondria to drought stress. Journal of plant research, 2009, pp. 445–454.
18. Vereb, G., J. Szöllősi, J. Matko, P. Nagy, T. Farkas, L. Vigh, L. Matyus, T.A. Waldmann, S. Damjanovich. Dynamic, yet structured: the cell membrane three decades after the Singer–Nicolson model. Proceedings of the national academy of sciences, 2003, pp. 8053–8058.
19. Yazdi-Samadi, B., H. Dashti, A. Nabipour, A. Sarrafi.. Reciprocal substitutions analysis of freezing resistance in wheat (Triticum aestivum L.). Plant breeding, 2006, pp. 217–220.
20. Zerouga, M., F. Beaugé. Rat synaptic membrane fluidity parameters after intermittent exposures to ethanol in vivo. Alcohol, 1992, pp. 311–315.

РАКЕТНИ ДВИГАТЕЛИ, ПРЕДНАЗНАЧЕНИ ЗА ДИНАМИЧНИ ТЕСТОВЕ НА СТРОИТЕЛНИ КОНСТРУКЦИИ

Христофор Скандалиев[1,2], Весислава Тотева[1]

[1]Химикотехнологичен и металургичен университет – София
[2]Клуб за аерокосмически технологии "Зодиак"– Кюстендил
e-mail: fori2ivanov@yahoo.com

Ключови думи: *Ракетни двигатели, аерокосмически технологии, динамични тестове, екология, „зелени" твърди ракетни горива*

Резюме: *Изследването представя концептуален модел за употреба на твърдогоривни ракетни двигатели като средство за създаване на възбуждаща сила при динамични изпитания на масивни строителни конструкции. Посочени са примери за видовете конструкции, подходящи за приложение на метода - мостове, сгради, кули, комини и блокове на електроцентрали. Направено е описание на технологичния модел и конструктивните особености на разработените твърдогоривни двигатели. Приложени са резултати от проведените балистични тестове на три различни типове двигатели и анализ на получените данни, които показват че всеки един от тях е реално приложим за конструкции със съответния размер и характеристики.*

ROCKET MOTORS DESIGNED FOR DYNAMIC TESTS OF BUILDING STRUCTURES

Hristofor Skandaliev[1,2], Vesislava Toteva[1]

[2]University of Chemical Technology and Metallurgy – Sofia
[1]Club for aerospace technology "Zodiac" – Kyustendil
e-mail: fori2ivanov@yahoo.com

Keywords: *Rocket engines, Aerospace technologies, Dynamic tests, Ecology, "Green" solid rocket propellants*

Abstract: *The study presents a conceptual model for the use of solid-fuel rocket motors as a means of creating an excitation force in the dynamic testing of massive building structures. Examples of the types of structures suitable for the application of the method are given - bridges, buildings, towers, chimneys and blocks of power plants. A description of the technological model and design features of the developed solid fuel motors is made. The results of the conducted ballistic tests on three different types of engines and an analysis of the obtained data are attached, which show that each of them is applicable for structures of the corresponding size and characteristics.*

Въведение

При изпитанията на масивни строителни конструкции се провеждат специфични тестове за определяне на реакцията на конструкцията към дадени въздействия и отчитане на тяхното поведение при динамични натоварвания. Целта е да се установи напрегнато-деформационното състояние на структурата, както и да се оцени действителната схема на работа в режими на собствени, или принудителни вибрации. Регистрирането на параметри като честота и период на собствени колебания, коефициент на затихване, амплитуда, може да се извършва или в режим на нормално експлоатационно натоварване, или чрез принудително предизвикани динамични въздействия. На такива изпитания могат да бъдат подложени стомано-бетонни, стоманени, дървени и други видове строителни конструкции, като мостове, сгради, промишлени халета,

комини, кули и мачти, корпуси на реактори в електроцентрали, язовирни стени и други видове масивни структури [2, 3].

В практиката най-често използваният подход за провеждане на динамични изпитания е модалният анализ, при който обикновено се верифицират математически модели, получени чрез метода на крайните елементи [1, 2]. Целта на модалния анализ е да се намерят формите и честотите, при които структурата ще усили ефекта от приложените натоварвания, които могат да предизвикат разрушителни резонансни честоти без затихване. Модалният анализ може да даде информация за естествените честоти на обекта, параметрите на затихване и вида на модалните форми за различни честоти и възбуждащи сили. Така получените данни позволяват на инженерите да дадат становище за състоянието на обекта, или да променят и оптимизират дизайна му, така че да бъде по-малко чувствителен към приложените сили [1].

Провеждането на мониторинг на строителните конструкции при нормално експлоатационно натоварване дава ценна информация за състоянието и поведението на структурата, но е продължителен във времето процес и от него не се получават достатъчно данни при евентуални екстремни натоварвания. За тази цел се налага да се правят допълнителни динамични тестове с нарочно предизвикани екстремни сили, приложени на точно определени за всяка конструкция точки на въздействие и отчитане на реакцията на обекта. За възбудително силово натоварване (excitation force) се използват няколко основни източници:

- ударно натоварване чрез падане на специално пригодени тежести с маса, която е приблизително 0,1% от масата на изпитваната конструкция;
- ексцентрични вибрационни машини, създаващи вибрации на различни работни честоти и сили в повече от едно направление;
- серво-хидравлични възбудители, работещи в широк спектър от честоти;
- използване на контролирани експлозии чрез взривни вещества (ВВ).

Най-често изследваният честотен интервал е 0-15Hz, но е установено, че посочените типове възбудители не дават достатъчно точни данни за динамичен отговор на изследваните конструкции при честоти под 1Hz, които са характерни за много от големите структури. Също така, проблемно е осигуряването от тези източници на възбуждаща сила в хоризонтална равнина, особено при високи и масивни обекти. Едно удобно решение е използването на ракетни двигатели, създаващи възбуждаща сила в необходимата посока, с подходяща продължителност и големина. За средно големи обекти като мостове, комини, кули и сгради са приложими двигатели, създаващи тягова сила 5-20kN и време на работа 0,5-3s. Използват се химически твърдогоривни ракетни двигатели, поради своята опростеност и лесно обслужване. Възможно е също приложението и на парни или газови цилиндри под налягане, които обаче изискват по-сложно оборудване и системи за монтаж [1, 4–9].

Същност и обхват на метода с ракетна възбуждаща сила

Използването на твърдогоривни ракетни двигатели като възбудители на трептения и модални изследвания на конструкции е метод, който е бил прилаган в някои държави след средата на XX век. Още през 1957г. в Тедингтън, Великобритания са правени подобни тестове на железобетонен комин на електроцентрала, описани от C. Scruton, D.A. Harding в [12].

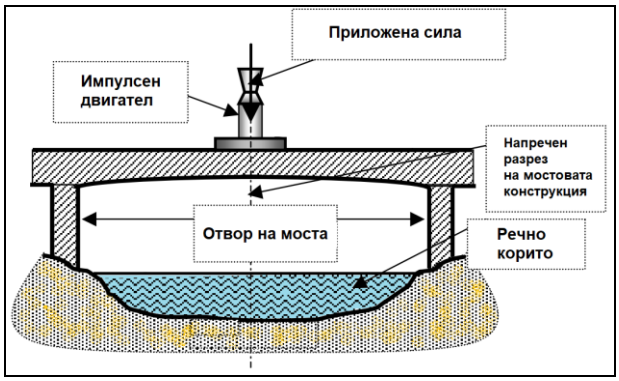
В Канада и Чехословакия през 70-те и 80-те години са използвани ракетни двигатели за изследване на „флатер“ ефект на крилата на самолети, както и динамични изследвания на мостове и сгради [10, 11]. В лабораториите L. L. L., Livermore, California са провеждани изпитания на структурите на блокове и сгради на атомни електроцентрали за противоземетръсна устойчивост с помощта на няколко видове ракетни възбудители на сила. Едните от тях предизвикват импулсна тяга чрез изпускане на студен газ или пара през сопло, а другите са типични химически ракетни двигатели, работещи с едноосновно или композитно твърдо ракетно гориво [4–6].

За изследване на структури с много ниски собствени честоти са провеждани динамични тестове с употреба на много на брой ракетни двигатели, работещи в паралел. В [10] е описано изпитание на 120 метров комин с помощта на 18 броя ракетни двигатели, приложени на върха на съоръжението и работещи едновременно. Всеки един от тях е създавал възбуждаща сила от 5kN, а реакцията на коминното тяло е била с амплитуда от около 5 см в неговия връх. С помощта на акселерометри са измерени натоварванията и е изчислен фактор на затихване (отношение на измерената към критичната стойност) = 0,01.

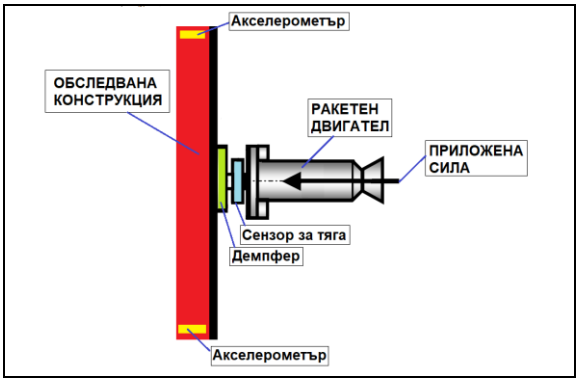
Динамичните изпитания на конструкции чрез принудителна възбуждаща сила изискват определяне на правилното място/места за прилагането и. Това става или чрез използване на модел, създаден по метода на крайните елементи, или получен опитно за дадената структура. Реакцията на съоръжението се измерва с помощта на преобразуватели на сила, или

импедансни глави, разположени в точно определени възли на преместване. Импедансните глави включват в себе си акселерометър, освен преобразувателя на сила. Получените данни от сензорите се обработват софтуерно и по този начин се получават триизмерни модели на поведение при различни честоти и натоварвания (моди).

Когато за възбудители на сили се използват ракетни двигатели, посочената схема на работа е същата. Те могат да бъдат приложени в желани точки от конструкцията в хоризонтално, вертикално, или друго необходимо за теста направление (Фиг. 1 и Фиг. 2).



Фиг. 1. Силово въздействие по вертикална ос



Фиг. 2. Възбудителна сила по хоризонтална ос

Употребата на ракетни двигатели при динамичните изпитания има своите предимства, както и някои слаби страни. Преимуществата пред другите методи на силово възбуждане включват: простота на конструкцията, получаване на много ниски честоти, възможност за бързо провеждане на тестовете, удобство при прилагане на сили в хоризонтални и наклонени направления, малки габарити и собствена маса на възбудителите, лесно обслужване, сравнително ниска цена и икономическа изгода.

През годините, обаче методът с ракетно възбуждане е намалил своя дял в избора на съоръжения за принудителни сили, поради няколко причини: осъществява се по-строг контрол върху общоопасните средства, каквито са твърдите ракетни горива; силно ограничен е достъпът до съвременни ракетни технологии поради икономически и глобални политически интереси; по-строги са изискванията по отношение на екологичното въздействие; има липса на достатъчно практически опит; съществуват опасности от детонация на зарядите, пожари и замърсяване с токсични вещества; има трайна тенденция към покачване на цените на специалните конструктивни материали и компонентите за ракетни горива.

От направения анализ може да се направи извода, че повечето от посочените слабости на ракетните възбудители на сили са напълно преодолими. Ето защо целта на настоящата експериментално-изследователска работа е да се усъвършенства метода за използване на ракетни двигатели като възбудители на динамични натоварвания при тестове на строителни конструкции.

Експериментална дейност

Дейностите по разработване на иновативни модели ракетни двигатели за създаване на възбуждаща сила при динамични тестове на строителни конструкции са провеждани в две основни направления:

- разработване на нови състави твърди ракетни горива, които са нетоксични, не детонират, достъпни и евтини са и не отделят вредни емисии при своето изгаряне
- използване на конструктивни елементи, базирани на природни суровини, разградими биокомпозити и геокомпозити за цялостната структура на двигателните корпуси

Създадените горивни рецептури са базирани на окислители нитрати и перйодати, в замяна на утвърдените в практиката перхлоратни състави. За разлика от тях се избягва риска от детониране, замърсяване с хлорни съединения и риска от пожари. За горивен елемент се използват природни и синтетични захари и естествени полимери. Цената и достъпността за използваните вещества и реактиви е в пъти по-ниска от тези използвани в стандартните перхлоратни горивни състави [14, 16].

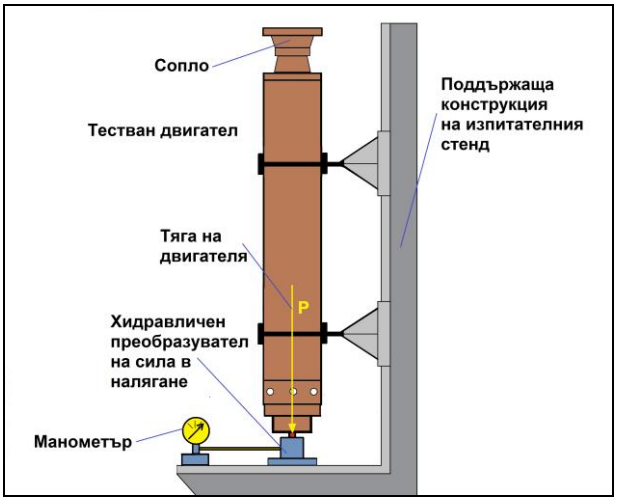
Корпусите на разработваните ракетни двигатели са изградени от метални сплави и от разградими композити на базата на природни влакна и естествени полимери. Термично

натоварените компоненти са от графитни и геокомпозити, способни да издържат температури над 2000℃. Важна особеност, обусловена от сферата на приложение на тези двигатели, е че за разлика от аерокосмическата им употреба, тук масовото съвършенство не е водещ фактор за конструкцията им. Масовото съвършенство изразява отношението на масата на използваното гориво към масата на корпуса на двигателя. Тъй като те не са предназначени за ракетни полети и се използват в урбанизирани територии, то е напълно допустимо конструктивно да бъдат направени с по-висок коефициент за сигурност и по-голяма маса на корпусите, респективно по-ниско масово съвършенство с основна цел повишаване на надеждността и безопасността при експлоатация.

Създадени са 3 групи двигатели за възбуждане на вибрации (Exciting Rocket Motor), съответно със стойности на произвежданата от тях полезна тяга: ERM-5 (тяга до 5kN), ERM-10 (до 10kN) и ERM-25 (до 25kN). Провеждани са експерименти и с по-малки двигатели, създаващи полезна тяга от 0,5kN до 2kN. Времето на работа на всеки конкретен двигател се задава в целевия интервал от 0,5s до 3s, според желаната зависимост „тяга-време на работа“. За целта се прави подбор на химическия състав, гранулометрията на използваните окислители, формата и количеството на твърдогоривните заряди и геометричните размери на камерата и соплото на съответния двигател. Използвани са 5 различни горивни формули, които имат различни: скорост на горене, специфичен импулс и начин на приготвяне. Това са екологични твърди ракетни горива, охарактеризирани при предишни изследвания с добре познати параметри на работа и минимални въздействия върху околната среда.

Два от съставите са от така наречения карамелен тип, защото се приготвят чрез стопяване на хетерогенна смес от окислител калиев нитрат и гориво, което е подсладител Изомалт, или обикновена кристална захар. Последната осигурява високи скорости на горене на съответните горивни състави. Другите три химични формули са с горивосвързващо вещество епоксидна смола, окислители нитрати и перйодати и енергетични добавки от прахообразен алуминий с микронен размер на фракцията (25-50 μm) и катализатори. Времето на работа на съответния двигател е в пряка зависимост от формата и разположението на горивните заряди в двигателя, чрез които се осигурява откритата площ на горене и масовия разход на продуктите от горенето, респективно и получаваната от двигателя полезна тягова сила [13–15].

При изпитанията е измервана създаваната тяга F(N) чрез хидравличен преобразувател на сила в налягане и видеозапис, регистриращ показанията на свързания манометър. (Фиг. 3 и Фиг. 4) След обработка на резултатите се получават дискретни стойности на получената тяга, от които се изчертава графична зависимост, показваща действителния режим на работа на двигателя и времето му на работа t(s). Това позволява да се направи сравнителен анализ с предварителните софтуерни симулации, на базата на които е проектиран съответния двигател, и да се верифицира използвания модел като цяло.



Фиг. 3. Конструкция на изпитателния стенд

Фиг. 4. Хидравличен преобразувател

При проведените три серии тестови изпитания чрез наземни изпитателни стендове, поотделно за трите групи ракетни двигатели, е получена база данни, обобщени в Таблица 1.

Таблица 1. Данни за получената тяга и време на работа на тестовите двигатели

Тип на рак. двигател	№ на теста	Вид гориво	Време на работа, s	Създадена тяга, kN
ERM-5	5T1	**I-8**, Перйодатно	3,02	1,18
ERM-5	5T2	"Плазма"	1,42	3,1
ERM-5	5T3	"Дракон-22"	1,15	4,6
ERM-10	10T1	КН-Изомалт	2,83	2,2
ERM-10	10T2	КН-Изомалт	1,55	5,4
ERM-10	10T3	КН-Захар	0,83	10,25
ERM-25	25T1	КН-Изомалт	2,03	12,1
ERM-25	25T2	КН-Изомалт	1,3	14,6
ERM-25	25T3	КН-Захар	1,04	25,1

Общ изглед на трите разновидности експериментални твърдогоривни двигатели е представен на Фиг. 5, а кадри от проведените тестови изпитания на Фиг. 6, Фиг.7 и Фиг. 8.

Фиг. 5. Експерименталните двигатели след тестовете

Фиг. 6. Стенд за ERM-25

Фиг. 7. Двигател ERM-10 на изпитателен стенд

Фиг. 8. Кадър от теста

Обсъждане на резултатите

В резултат на проведената научноизследователска и конструкторска работа са създадени прототипи на твърдогоривни ракетни двигатели с цел използването им като

възбудители на сили при динамични изпитания на строителни конструкции. Получените експериментални резултати показват, че заложените в предварителните задания параметри „тяга“ и „време на работа“ са достижими чрез използване на няколко вида екологични твърди ракетни горива. Подборът на техния химически състав и технологичните условия на работа осигуряват получаването на широк спектър ракетни двигатели, способни да предизвикат необходимите динамични усилия за провеждане на такъв вид изпитания.

Предимствата на тези двигатели са високата надеждност и безопасност при експлоатация, липса на токсични продукти от изгарянето на горивата, опростена конструкция, достъпност на материалите, икономическа ефективност.

Литература:

1. Herman Van der Auweraer, Structural Dynamics Modeling using Modal Analysis: Applications, Trends and Challenges., Leuven, Belgium, 2001
2. Павлова, Ю, Банков Б., Изчисляване на строителни конструкции по метода на крайните елементи, Техника, 1989
3. Марков, Т., Изпитване и моделиране на строителни конструкции и съоръжения., Техника,1973
4. Agbabian Associates. Verifying seismic design of nuclear reactors by testing., Report R-7931, 4908 (July 1979), prepared for Lawrence Livermore Laboratory
5. H. J. Weaver, Dynamic testing of nuclear power plant structures - the evaluation., Lawrence Livermore Laboratory, 1980
6. P. Ibáñez and al. Methods and benefits of experimental structural dynamic evaluation of nuclear power plants., Nuclear Engineering and Design, Volume 64, Issue 1, 1981, Pages 1–32
7. Charles, R. Farrar, Thomas A. Duffey, Phillip J. Cornwell, Scott W. Doebling, Excitation Methods For Bridge Structures., 17th International Modal Analysis Conference Kissimmee, FL, Feb 1999
8. S. Pietrzko, R. Cantieni, "Modal Testing of Steel/Concrete Composite Bridge with Servo-Hydraulic Shaker., EMPA, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research CH-8600, Dübendorf, 1996
9. Y. Deger, R. Cantieni, S. Pietrzko, "Modal Analysis of an Arch Bridge: Experiment, Finite Element Analysis and Link", Proc. of I2 tlt Intemational Modal Analysis Conference, Honolulu, USA, Jan. 3 I -Feb. 3, 1994
10. C. E. Tammadge, Excitation by rockets., Canadair Limited, Montreal, Canada, 1975
11. František LUDVÍK, Application of energetic materials in civilian sphere., Advances in MT, 2/2006
12. C. Scruton, D.A. Harding. (14th ed.), Measurement of the Structural Damping of a Reinforced Concrete Chimney Stack at Ferry Bridge " B " Power Station, Report NPL/Aero 1323, National Physical Laboratory, Teddington (1957)
13. Сивева, Н., Скандалиев Х. и колектив, *Екологично чисти ракетни двигатели за граждански цели.*, Шеста международна конференция с Младежка научна сесия „ЕКОЛОГИЧНО ИНЖЕНЕРСТВО И ОПАЗВАНЕ НА ОКОЛНАТА СРЕДА” (ЕИООС'2019) 5-7 юни 2019 г., Бургас
14. Крумов, К., Скандалиев Х., и колектив, *„Зелени“ твърди ракетни горива – възможни и невъзможни решения.*, X Международна Научна Конференция ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ. ОБРАЗОВАНИЕ. СИГУРНОСТ, Боровец, 07- 10 юни, 2019
15. Сивева, Н., Крумов К. и колектив, *Изследване на калориметрични свойства и параметри на нови екологични ракетни горива.*, XVII Научна постерна сесия за млади учени, докторанти и студенти, ХТМУ, 2020
16. Niklas Wingborg, *Development of Green Rocket propellants: An overview,* Swedish Defence Research Agency, FOI, 2018

S E S 2 0 2 3
Nineteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
24 – 26 October, 2023, Sofia, Bulgaria

AIRBORNE RISKS: THE INTERPLAY OF COMPATIBILITY AND RISK ASSESSMENT IN AVIONICS COMPONENTS

Siyana Yankova[1], Kristiyana Nikolova[2]

Georgi Benkovski Bulgarian Air Force Academy (BAFA), Faculty of Aviation, Dolna Mitropoliya, Bulgaria,
E-mails:
[1]siyana.yankova@gmail.com;
[2]kristiyana.nikolova10@gmail.com

Keywords: *Avionics, Compatibility assessment, Risk evaluation, Safety*

Abstract: *We explore the vital interplay between compatibility assessments and risk evaluation for avionics components. This symbiotic relationship underpins safety and operational excellence. Our journey encompasses foundational insights into avionics components, the significance of compatibility, risk assessment methodologies, their synergy, key risk factors, effective risk mitigation, and practical applications.*

РИСКОВЕТЕ В НЕБЕТО: ВЗАИМОДЕЙСТВИЕТО МЕЖДУ ОЦЕНКАТА НА СЪВМЕСТИМОСТ И ОЦЕНКАТА НА РИСКА В КОМПОНЕНТИТЕ НА АВИОНИКАТА

Сияна Янкова[1], Кристияна Николова[2]

Висше военно въздушно училище „Георги Бенковски“, Факултет „Авиационен“, гр. Долна Митрополия, България,
E-mails:
[1]siyana.yankova@gmail.com;
[2]kristiyana.nikolova10@gmail.com

Ключови думи: *авионика, оценка на съвместимост, оценка на риска, безопасност*

Резюме: *Разглеждаме важната връзка между оценките за съвместимост и оценката на риска за авионични компоненти. Тази симбиотична връзка подчертава безопасността и оперативното съвършенство. В доклада е включена основна информация компоненти на авиониката, значението на съвместимостта, методологии за оценка на риска, тяхната синергия, ключови фактори на риска, ефективни стратегии за намаляване на риска и практични приложения.*

Introduction

Avionics components are the backbone of aviation, ensuring aircraft safety and efficiency. This current article explores the critical interplay between compatibility and risk assessment in avionics components. Compatibility means seamless interaction between these components to prevent system malfunctions and safety hazards. Risk assessment methods evaluate potential risks. This article also delves into how these factors guarantee aviation safety and reliability.

Avionics Components: An Overview

Avionics components are the electronic systems and software at the heart of aviation, serving as the backbone of aircraft functionality. These components are categorized into hardware (e.g., sensors, processors, communication modules) and software (including embedded software, communication protocols, and data analysis algorithms). Hardware sensors provide critical data for navigation, control, and safety. Processors serve as the computational center, making real-time

decisions, while communication modules enable data exchange. Displays relay essential information, and electronic subsystems manage various aircraft functions. In parallel, software components control the operation of hardware, encompassing real-time operating systems, navigation software, and communication protocols. Data analysis algorithms process sensor information, and user interfaces allow interaction. This harmony between hardware and software is fundamental to aircraft functionality. Understanding avionics components is key to exploring their interplay with compatibility and risk assessment in aviation, critical for ensuring aviation safety and reliability [8].

S *(Software)* – non-physical resources such as organizational policies, rules, procedures, symbols, etc.;

H *(Hardware)* – equipment, tools, apparatus, workplace, buildings and other physical resources;

E *(Environment)* – climate, temperature, vibration and noise;

L_L *(Liveware)* – human interaction factors;

L_C *(Central Liveware)* – knowledge, attitudes, culture, stress, etc.

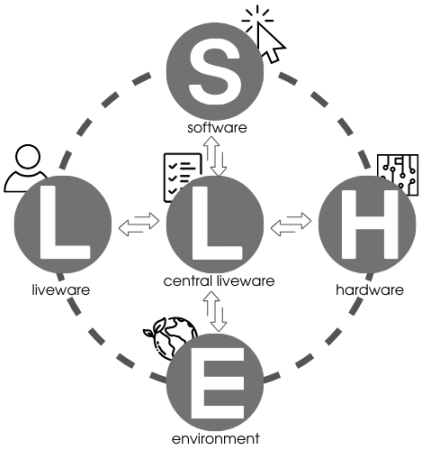


Fig. 1. Main Avionics Components

Compatibility in Avionics Components

Compatibility within avionics components is the bedrock upon which aviation safety and operational efficiency are built. This multi-dimensional concept extends beyond physical connectivity, encompassing electrical, data, environmental, and software dimensions.

In the electrical realm, compatibility ensures that voltage, current, and power requirements of avionics components align seamlessly with the aircraft's electrical infrastructure. This guarantees electrical stability and prevents disruptions that could compromise safety. Data compatibility governs the standardized communication protocols, ensuring information flows harmoniously between systems. Environmental compatibility addresses the challenges of fluctuating temperatures, varying pressures, and the omnipresent electromagnetic interference, demanding avionics components to function optimally under these conditions. Software compatibility involves the interaction of various software components, ensuring that codes, interfaces, and architectures work in concert, mitigating the risk of software bugs or crashes [4, 9].

Risk Assessment

The seamless operation of avionics components in the aviation industry hinges on an essential process known as risk assessment. In this section, the article delves into the core concepts of risk assessment in avionics and the methodologies, and tools employed to ensure the safety, and reliability of these critical systems. In the world of aviation, risk assessment is a meticulous and systematic process, which goes beyond mere compliance. It is the proactive examination of an array of factors, which could compromise the functionality and safety of aircraft systems. This methodical evaluation encompasses potential threats, from electromagnetic interference (EMI) to software anomalies, aiming to identify vulnerabilities before they escalate into operational challenges [10].

To execute comprehensive risk assessment, the aviation industry utilizes a spectrum of methodologies and tools. These include Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA), and Probabilistic Risk Assessment (PRA). These techniques empower experts to dissect complex systems, identifying potential failures, their causes, and their associated risks [2].

Failure mode and effects analysis

A successful Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) activity helps identify potential failure modes based on experience with similar products and processes – or based on common physics of failure logic. Effects analysis refers to studying the consequences of those failures on different system levels. Functional analyses are needed as an input to determine correct failure modes, at all system levels, both for functional FMEA or piece-part (hardware) FMEA. An FMEA is used to structure mitigation for risk reduction based on either failure (mode) effect severity reduction or based on lowering the probability of failure or both. The FMEA is in principle a full inductive analysis, however the failure probability can only be estimated or reduced by understanding the failure mechanism [4].

Fig. 2. Failure Mode and Effects Analysis

Fault Tree Analysis

Fault tree analysis (FTA) is a type of failure analysis, in which, an undesired state of a system is examined. This analysis method is mainly used in safety engineering and reliability engineering to understand how systems can fail, to identify the best ways to reduce risk and to determine or get a feeling for event rates of a safety accident or a particular system level functional failure. FTA is used in fields as diverse as risk factor identification relating to social service system failure. When fault trees are labeled with actual numbers for failure probabilities, computer programs can calculate failure probabilities from fault trees. When a specific event is found to have more than one effect event, i.e. it has impact on several subsystems, it is called a common cause or common mode. Graphically speaking, it means this event will appear at several locations in the tree. Common causes introduce dependency relations between events. The probability computations of a tree, which contains some common causes, are much more complicated than regular trees where all events are considered as independent. Not all software tools available on the market provide such capability. The tree is usually written out using conventional logic gate symbols. A cut set is a combination of events, typically component failures, causing the top event. If no event can be removed from a cut set without failing to cause the top event, then it is called a minimal cut set [5, 7].

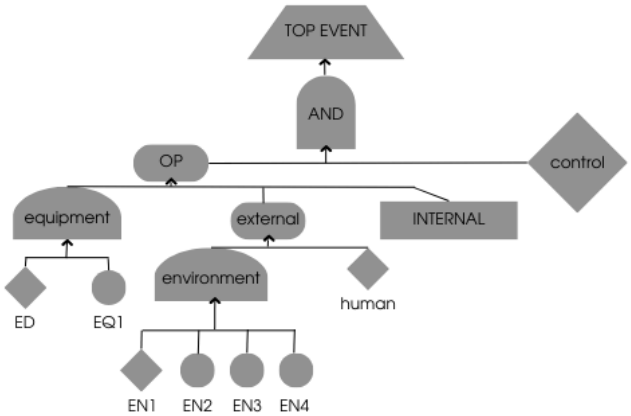


Fig. 3. Fault Tree Analysis

Probabilistic risk assessment

Probabilistic Risk Assessment (PRA) is a comprehensive, structured, and logical analysis method aimed at identifying and assessing risks in complex technological systems for the purpose of cost-effectively improving their safety and performance. Objective is to better understand and effectively manage risk, and thus more effectively ensure mission and programmatic success, and to achieve and maintain high safety standards. Intends to use risk assessment in its programs and projects to support optimal management decision making for the improvement of safety and program performance.

The central objective of risk assessment in avionics is to ensure unwavering safety and reliability. By identifying potential issues across all phases, from design to operation, aviation professionals can proactively implement measures to prevent, mitigate, or rectify risks. This proactive approach is the cornerstone of maintaining aviation's rigorous safety standards, ultimately contributing to the industry's commitment to the well-being of passengers and the integrity of aircraft systems [1, 13].

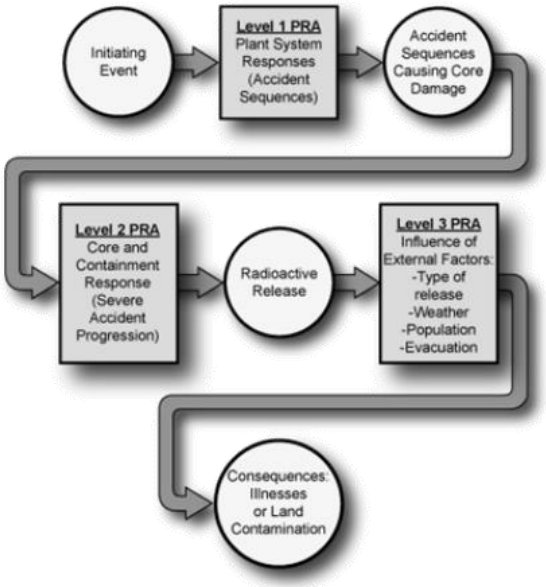


Fig. 4. Probabilistic Risk Assessment

Interplay Between Compatibility and Risk Assessment

In the intricate world of aviation, where the safety of passengers and the integrity of aircraft systems are paramount, the interplay between compatibility and risk assessment is of profound significance. In this section, we explore the symbiotic relationship between these two crucial aspects, demonstrating how compatibility assessments inform risk assessments.

Compatibility and risk assessment are not standalone processes but are intricately intertwined. Compatibility assessments serve as the initial filter, through which avionics components must pass. This assessment not only ensures that various systems can work harmoniously but also significantly reduces the likelihood of incompatibility-related risks. Compatibility assessments consider factors such as EMI, system integration, and software compatibility, among others. By addressing these factors, the aviation industry can preemptively identify potential risks associated with incompatibility.

Compatibility assessments provide valuable input for the subsequent risk assessment phase. When components are deemed incompatible, it not only raises operational concerns, but also elevates the potential for safety risks. This incompatibility is a red flag, which alerts professionals to areas that require a deeper dive in risk assessment. Risk assessments can then focus on the specific elements, which have been identified as high-risk due to incompatibility issues. This targeted approach streamlines the risk assessment process, ensuring that resources are allocated efficiently to address the most critical concerns.

By recognizing the interplay between compatibility and risk assessment, the aviation industry embraces a proactive approach to risk management. Rather than waiting for issues to manifest, aviation professionals can identify and address potential risks at an earlier stage, reducing the likelihood of incidents and enhancing safety. This synergistic relationship between compatibility and risk assessment underscores the aviation industry's commitment to ensuring the highest standards of safety and reliability. In an environment where precision and reliability are non-negotiable, understanding how these processes complement each other is a vital step towards safer skies [9].

Key Factors in Avionics Component Risk Assessment

In the ever-evolving landscape of aviation, ensuring the safety and reliability of avionics components is a multifaceted endeavor. This section delves into the critical factors considered in avionics component risk assessment. It emphasizes the holistic approach required to address potential vulnerabilities, encompassing design, environmental factors, software integrity, compatibility, and human factors.

The design of avionics components is fundamental to their performance and safety. During risk assessment, design aspects are meticulously scrutinized. This includes evaluating the robustness of the design, redundancy measures, and fail-safes. Comprehensive design considerations help mitigate the risk of component failure and enhance overall system reliability. The aviation environment can be harsh, subjecting avionics components to extreme conditions. Risk assessment involves assessing how components will perform under these conditions. Factors, like temperature fluctuations, pressure variations, and exposure to EMI are all considered. Understanding how components interact with their surroundings is critical to risk mitigation. Modern avionics rely heavily on software systems. Ensuring the integrity and reliability of software components is a vital part of risk assessment. This involves evaluating the code for potential bugs, vulnerabilities, and compatibility issues. Rigorous testing and quality assurance are essential to minimize software-related risks.

The Swiss cheese model has become the dominant paradigm for analyzing human errors and aviation accidents and incidents. It illustrates that accidents involve successive breaches of multiple defenses. These breaches are triggered by many enabling factors such as equipment failures or operational errors. The Model contends that complex systems – such as Avionics – are well defended by layers of defenses (otherwise known as barriers). A single-point failure is rarely consequential.

Breaches in safety defenses can be a delayed consequence of decisions made at the higher levels of the organization, which may remain dormant until their effects or damaging potential is activated by certain operating conditions. However, under such specific circumstances, human failures – or Active Failures – at the operational level act to breach the final layers of safety defense. The Model proposes that all accidents include a combination of both active failures and latent conditions – Latent failures.

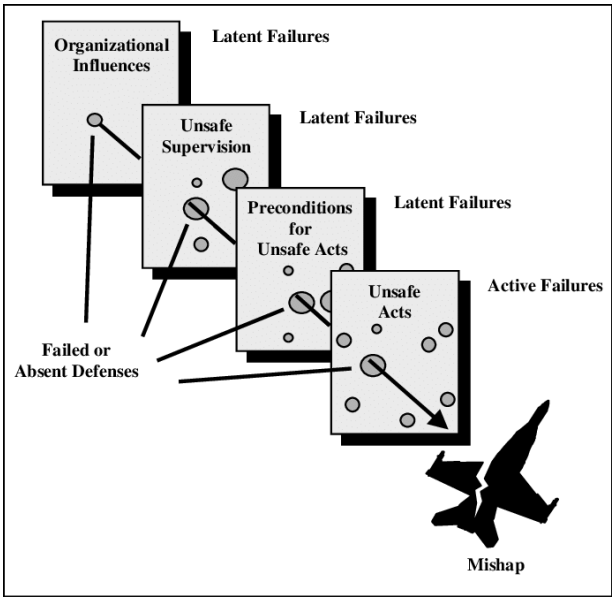


Fig. 5. The Swiss cheese model [11]

As discussed in previous sections, compatibility is a key element in risk assessment. Compatibility assessments help identify potential risks associated with component integration. These assessments play a vital role in determining the safe coexistence of avionics systems. Human error remains a significant source of risk in aviation. Risk assessment also considers the human element, including factors such as training, procedures, and maintenance practices. Addressing human factors through training and clear operational procedures can substantially reduce the risk of accidents. The holistic approach to avionics component risk assessment recognizes that safety and reliability are the results of a combination of these factors working in harmony. By addressing design, environmental, software, compatibility, and human factors, the aviation industry proactively manages risks and strengthens its commitment to passenger safety and operational integrity [12].

Mitigation Strategies

Mitigating risks in avionics components is a paramount concern in aviation safety. This section delves into the strategies employed to address identified risks and ensure the continued reliability of avionics systems. By understanding and implementing effective mitigation measures, the aviation industry demonstrates its commitment to passenger safety and operational excellence.

Mitigation strategies encompass a wide range of measures aimed at reducing the potential hazards identified during the risk assessment process. These strategies are not only proactive but also reactive, designed to respond swiftly to emerging risks and challenges in the dynamic aviation landscape. One key aspect of risk mitigation involves design modifications and the incorporation of redundancy in critical systems. By improving the design of avionics components and introducing backup systems, the aviation industry enhances its capacity to withstand failures, ensuring that a single point of failure does not compromise safety.

Electromagnetic interference can cause avionic equipment performance to degrade or even malfunction. EMI can affect cockpit radios and radar signals, interfering with communication between pilot and control tower. Airborne devices, which can cause interference, include laptop computers, electronic games, cell phones, and electronic toys, and all have been suspected of causing events such as autopilot disconnects erratic flight deck indications, and airplanes turning off course. EMI effects from lightning, solar flares, electrostatic discharge, and high-intensity radiated fields (HIRF) from radar and various kinds of transmitters or communications equipment – have all resulted in numerous aviation incidents throughout the years. As a result, EMI effects are now considered in all aspects of avionics design and certification. New digital flight control systems need to be hardened to all of these EMI effects. One major way to combat EMI is to provide shielding of various line replaceable units (LRUs) and harnesses. Shielding a device or system not only reduces EMI emissions, it improves susceptibility performance. With advances in wireless technology and increased device signal sensitivity, shielding becomes even more important to maintain the functionality and safety of avionic equipment [6].

Mitigation strategies extend beyond design and engineering to encompass proactive maintenance and monitoring. Regular inspections, maintenance protocols, and condition-based monitoring of avionics components help identify and rectify potential issues before they escalate into operational challenges. Real-world examples of successful mitigation efforts underscore the effectiveness of these strategies. Incidents averted and safety maintained due to robust mitigation measures serve as compelling evidence of the aviation industry's commitment to passenger safety and operational continuity.

Conclusion

Our exploration of compatibility and risk assessment in avionics components underscores their pivotal roles in ensuring aviation safety. We have highlighted the importance of compatibility assessments, serving as gatekeepers to harmonious systems and as informants for more focused risk evaluations.

Risk assessment methodologies, such as FMEA, FTA, and PRA, are essential tools for identifying and mitigating potential vulnerabilities. The interplay between compatibility and risk assessments enhances aviation's resilience. Key factors considered in avionics component risk assessments encompass design, environmental considerations, software integrity, compatibility, and human factors. Each factor contributes to safety and reliability. Mitigation strategies, from design enhancements to proactive maintenance, fortify aviation against identified risks, exemplifying the industry's commitment to safety.

References:

1. BOYER, R. L. Probabilistic Risk Assessment (PRA): Analytical Process for Recognizing Design and Operational Risks, NASA JSC S&MA Analysis Branch. October 9, 2018.
2. ERICSON, C. A. (II). Hazard Analysis Techniques for System Safety, John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, July, 2005, ISBN: 978-0-471-72019-5. Retrieved from: doi: DOI:10.1002/0471739421
3. JACKSON, S. Systems Engineering for Commercial Aircraft, INCOSE International Symposium. San Diego,California, August, 1997, vol. 7, issue 1.
4. KAYTON, M., WALTER R. F. Avionics Navigation Systems, John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, May, 1997, ISBN: 978-0-471-54795-2.
5. KORNECKI, A. J., MINGYE L. Fault Tree Analysis for Safety/Security Verification in Aviation Software, ECSEE, Embry Riddle Aeronautical University. Daytona Beach, USA, January 31, 2013, vol. 2, issue 1, p. 41-56. Retrieved from: doi: 10.3390/electronics2010041
6. NAKAUCHI, E. Controlling the EMI effects of aircraft avionics, Aerospace Manufacturing and Design. April-May, 2015.

7. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, NASA/SP-2000-61111. Fault Tree Analysis, A Bibliography. Washington, D. C., July, 2000.
8. R. P. G. COLLINSON, Introduction to Avionics Systems (4 th edition), Springer Nature Switzerland AG. Cham, June 02, 2023, ISBN: 978-3-031-29214-9. Retrieved from: doi: doi.org/10.1007/978-3-031-29215-6
9. SABATINI, R., TERRY M. and Chris H. A New Avionics-Based GNSS Integrity Augmentation System: Part 1 – Fundamentals, *Journal of Navigation, Royal Institute of Navigation*. Cambridge, May, 2013, vol. 66, issue 3, p. 363–384. Retrieved from: doi: doi.org/10.1017/S0373463313000027
10. SADRAEY, M. H. Aircraft Design: A Systems Engineering Approach, *John Wiley & Sons, Inc.* New Jersey, 2013, ISBN: 978-1-119-95340-1.
11. SHAPPELL, S., DOUGLAS A. W. The Human Factors Analysis and Classification System-HFACS. January, 2020.
12. STOLZER, A. J., CARL D. H. and JOHN J. G. Implementing Safety Management Systems in Aviation, First Edition, CRC Press, LLC., Taylor & Francis Group. London, 2011, ISBN: 978-1-315-58798-1. Retrieved from: doi: doi.org/10.4324/9781315587981
13. U. S. NRC. Protecting People and the Environment. *Probabilistic Risk Assessment (PRA)* [online]. N.d. [accessed October 11, 2023.]. Retrieved from: https://www.nrc.gov/about-nrc/regulatory/risk-informed/pra.html

DIGITAL HEALTH: BRINGING LESSONS FROM COVID-19 INTO THE MENTAL HEALTH SUPPORT

Malina Jordanova[1], Todor Uzunov[2], Frank Lievens[3]

[1]Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria
[2]Vitos Südhessen gemeinnützige GmbH, Vitos Philippshospital Riedstadt, Germany
[3]Managing Director of LIEVENS-LANCKMAN BV, Belgium & AKROMED FRANCE Sarl, France
e-mail: mjordan@bas.bg

Keywords: *Digital health, mental health, COVID-19*

Abstract: *The paper focuses on mental health and the influence of COVID-19 on it. It summarizes some of the most important lessons we need to learn and identify questions that remain to be answered. As this will not be the last pandemic that humans will face, it is clear that we need to improve our approach to such sorts of emergencies by improving our flexibility, preparation, answers to other public health and environmental crises in the future.*

ДИГИТАЛНО ЗДРАВЕОПАЗВАНЕ: УРОЦИТЕ ОТ COVID-19 В ПОДКРЕПА НА ПСИХИЧНОТО ЗДРАВЕ

Малина Йорданова[1], Тодор Узунов[2], Франк Ливенс[3]

[1]Институт за космически изследвания и технологии, Българска академия на науките, София, България
[2]Витос, болница „Филипс“, Южен Хесен, Ридщат, Германия
[3]Изпълнителният директор, Ливенс-Ланкман, Белгия & Акромед, Франция
e-mail: mjordan@bas.bg

Ключови думи: *Електронно здравеопазване, психично здраве, COVID-19*

Резюме: *Статията е фокусирана върху влиянието на COVID-19 върху психичното здраве. Тя обобщава някои от най-важните уроци, които би трябвало да научим, и посочва въпроси, на които остава да намерим отговор. COVOD-19 няма да е последната пандемия, пред която ще се изправят хората. Очевидно е, че трябва да усъвършенстваме подхода си към подобни видове извънредни ситуации, за да сме в състояние в бъдеще да отговорим адекватно на други подобни кризи в общественото здравеопазване.*

Introduction

Officially, the COVID-19 began in China in December 2019 [1]. This is an infectious disease caused by the SARS-CoV-2 virus. As the attempts to hold the infection limited to China failed and the virus spread worldwide, on January 30, 2020, the World Health Organization (WHO) declared COVID-19 a public health emergency of international concern. In press, the term used is a pandemic.

Three years later, in May 2023, WHO announced the end of the emergency phase of COVID-19 [2], determining that it is now an established and ongoing health issue which no longer constitutes a public health emergency of international concern. Meanwhile, as per 12 October 2023, globally, there have been 771 191 203 confirmed cases of COVID-19, including 6 961 014 deaths [3].

Despite of the fact that the attention was mainly focused on the acute infection, it soon became clear that the pandemic caused negative mental health effects in a variety of ways, including through illness, loss of beloved people, isolation, loneliness, financial instability, to name some. Increased number of cases of patients suffering from anxiety, depression, traumatic stress, escalation

of substance use, etc. all over the world are some of the well-documented manifestations [4] of the pandemic.

The effect of COVID-19 on mental health is studied globally from healthcare providers. For the moment, it is obvious that it can be expressed differently from one person to another.

The Goal

The goal of this paper is to present, in brief, the results from a scoping review trying to identify what kind of mental health problems were registered and what kind of interventions were tested to support mental health of patients. Conducting it, we had in mind the recommendations in [5].

Method

A systematic search was performed to identify the relevant studies.

The APA PsychNet database was used. APA PsychNet was selected because this is the world's largest resource devoted to peer-reviewed literature in behavioral science and mental health. As per October 2023, it includes 5,861,513 journal articles, book chapters and more in 30 languages. The database is constantly updated. One significant benefit from choosing APA PsychNet is that the database follows the policy of “Advance online publications” of articles that will appear within next months. For over 55 years, APA PsychNet has been evaluated as the most trusted index of psychological and mental health science in the world. The database is a product of the American Psychological Association.

The search period was from January - October 2023.

To make the selection as broad as possible and not to miss any publications, the key words were “COVID” and “Mental health”. All varieties as mental* or "post-trauma*" or depress* or anxiet* were also applied.

Included criteria were:

- The research is focused on both mental health and COVID;
- The research is published in a journal;
- The research is published in English;
- The research is published for the first time;
- The patients are adults;
- The research introduces or discussed mental health problems related to COVID;
- The research is an original one and the full text is available.

Studies that did not meet one or more of the above criteria were excluded from the review.

Microsoft Excel template was created, helping to extract the information needed for the analysis: list of authors, country of research, methodology used; information about subjects included in the study (age, gender, ethnicity), description of findings, impact statements.

To synthesize and describe the data, the narrative approach was applied.

Results and Discussion

The first step of the selection was to extract all articles that were available in “full text” and include "COVID" and "mental health", anywhere in the text, excluding the references. A total of 1197 papers were identified.

After adding “first posting” as an additional requirement, the number dropped to 98 articles. This was done to exclude papers that were updated versions of studies performed at the beginning or before the pandemic.

All studies that were not published in 2023 and where the participants were not adults were also deleted. The result was 60 papers.

These papers were again checked to evaluate whether the index terms are both “mental health” and “COVID”. As the index terms are the terms that captures the essence of the topic of a document, all articles that do not meet these criteria were rejected. Thus, we ended up with 22 papers.

Title and abstracts, then full text screening were carried out to assess the article eligibility against the inclusion criteria. Any arising disagreements were resolved by discussion. Three more papers were excluded. COVID was not the focus in the first one; the second was limited on the image of the gourd (“hulu”) an archetype with rich cultural connotations, as a novel tool for psychological intervention, while the third one discussed the victimization process in Internet communications. Finalizing the selection, we ended with 19 papers for analysis [6-24].

The above mentioned, Microsoft Excel extraction template was updated to optimize the analysis.

General Description of Included Studies

The included studies were conducted in seven countries: Australia, Canada, China (main land and Hong Kong), Israel, Spain, UK and USA.

Ethnicity and/or the cultural background of participants were not reported in all studies. Most of the participants were identified as white. One article discussed Latinos [20], Chinese and Philippines participants [9, 12] were also studied.

Recruited participants were <100 in four studies [6, 10, 17, 19] and >100 in all the other. A total of 269 782 participants were recruited across all included studies, with individual study numbers ranging from 12 [19] to 245 576 [14].

36,8% of the studies were longitudinal [7, 8, 12, 17-18, 21, 23].

The Study Design

As expected, the design of the studies did not vary.

Semi structured qualitative interviews [6, 10, 19], various standard questionnaire batteries [7, 9, 15], the Personality Assessment Inventory [16], traumatic stress scales [8, 15, 24], the Anxiety and Stress Scale [23] were applied to identify and evaluate mental health problems. The interviews were performed online, off-line, via telephone or on the spot.

Two of the articles described clinical trials [11, 18]. [11] presented the effects of the Positive Minds–Strong Bodies [PMSB] inventory, while the other [14] – depicted the outcomes of two virtual care approaches – video-connection and audio care only.

Only one of the studies is nationally representative [15].

Mental Health-Related Findings

The most frequent mental health outcomes found were anxiety, over and above the baseline levels, depression, general distress and posttraumatic stress syndrome.

Participants reported that the pandemic had negatively affected their life, relationships and well-being [6-8, 11, 22]. Contributing stressors included being fearful of getting sick, navigating work changes, experiencing economic and housing hardships, grief and loss, and social isolation [6-7, 13]. Across time, anxiety and depression were linked to clinically significant posttraumatic stress disorder-like symptoms [18].

In addition, there are evidences that COVID-19 pandemic amplified problems with anxiety and depression that already existed before the pandemic [10, 14, 16]. Clinicians and primary care providers perceived increased depression and anxiety among patients with existing psychiatric conditions, attributed to social distancing and isolation restrictions [19, 24].

Gender, Age, Ethnicity and Sexual Orientation

Some more intriguing results related to gender, age and ethnicity were:

The majority of women with post-traumatic stress disorder (PTSD) described their level of fear or perceived safety related to COVID-19 as a major factor influencing their mental health during the pandemic. In contrast, women without PTSD indicated that their level of distress was largely driven by pandemic-related restrictions on normal activities and family events. Many women with PTSD also described feeling anger or frustration toward people they perceived as not taking the COVID-19 pandemic seriously [10].

Younger age was associated with less positive and more negative affect across the first year of the pandemic [21].

Remarkably, the Chinese older adults (>60 years old) in Hong Kong reported significantly lower levels of psychological distress than adults 18-60 years old [9].

A research on 2286 Latino adults in USA revealed that sexual minority Latinos in USA endorsed higher levels of economic and household stress, mental health symptomatology, and alcohol and substance use than nonsexual minority Latinos adults [20].

Another study confirmed these results. Adults with disabilities, who identified themselves as lesbian, gay, bisexual, or transgender (LGBT) experienced worse mental health and had higher levels of unmet needs for mental health treatment than adults without disabilities who did not identify themselves as LGBT [15].

Strategies to Cope with COVID Provoked Mental Health Problem

Not all articles provide coping strategies. The positive effect was underlined, if a coping strategy was mentioned. Some of the strategies, helping to diminish the mental health problems, provoked by the pandemic, are listed below:

- Adopting stress reduction strategy and strategies that enhance individuals' sense of control and predictability in their environment, including clear, consistent, communication and a good perception of one's physical health [8, 23];
- Adopting strategies to enhance cognitive and coping flexibility as low cognitive and coping flexibility are linked to the probability of experiencing chronic mental health problems [18];
- Seeking outside support, engaging in positive reframing, and drawing on internal strength and resources [6-7];
- Community resources and family functioning served as important protectors. Parent–child relations and outdoor family leisure activities significantly mediated the negative effects of COVID-19 stressors on psychological health [9, 12, 20];
- Positive Minds–Strong Bodies [PMSB] inventory intervention promotes enduring mental health and physical functioning resilience, even when exposed to stressors incurred during a global health crisis. Results demonstrated that participants who received the PMSB intervention before the COVID-19 pandemic reported fewer symptoms of depression and improved physical functioning during the pandemic [14];
- Trauma-focused trainings are effective and could be helpful for providers in under-resourced global settings [17].

Summary of Main Results

Researchers and practitioners still do not understand well the social and behavioral consequences of the COVID-19 pandemic on adults' mental health.

The findings suggest that COVID-19 pandemic has amplified mental health problems such as anxiety, depression and posttraumatic stress syndrome.

Some sociodemographic characteristics may influence the appearance of mental health issues during the pandemic as well as the worse progress. Women, younger age, previous mental health diagnosis, sexual minority and contact with people with COVID-19 are linked to worse psychological responses during the pandemic. No sufficient data to make any conclusion concerning the effect of ethnicity.

Notable differences were found in reactions to the pandemic between people with and without post-traumatic stress disorder.

In addition, a priory existing low cognitive and coping flexibility are related to the probability of experiencing chronic mental health problems, making them a potential target for prevention and treatment.

On the other hand, a good perception of one's physical health, the role of prior disability prevention programs or Positive Minds–Strong Bodies inventory, the importance of social support and the community-based family-oriented programs may be valuable protective factors.

Strengths and Limitations

The results of this scoping review contribute to the knowledge on evaluation and coping with COVID-19 provoked mental health problems. It brings us to lessons of digital health applications for mental health support that could be applied in the future.

The strengths of the review are:

- The follow up of [5] guidelines;
- Selection of the most suitable database;
- Selection of studies with sufficient number of recruited participants. As a result, the total number of participants in all 19 studies is 269782, i.e. more than quarter of a million;
- Selection of studies performed within several continents, countries and several ethnicities.

However, this review has its limitations, too:

- Only papers published in English were selected. This is something that the authors will correct in the next step of their research;
- Only studies published in 2023 were chosen;
- There were missing data in some of the included studies that we were not able to obtain, despite of the attempts to contact the corresponding authors;
- The search strategy was limited to studies where mental health and COVID were the index items. This may let us to overlook some important articles where the COVID related mental health problems were not in the focus of the study.

Conclusions

COVID related mental health problems most often include depression, anxiety, stress and post-traumatic symptoms. Omen, younger age, having a previous mental health diagnosis and contact with individuals with COVID-19 were linked to worse psychological evolution.

More large-scale, high-quality trials, especially recruiting participants from more countries and different ethnic groups, are needed. They will be able to outline additional effective intervention strategies.

As COVID related mental health problems and symptoms vary between individuals, interventions addressing a wide range of symptoms including mental health and quality of life could be promising in building an evidence base.

The finding in this scoping review are relevant to future disasters. These outcomes can help and guide the development of preparedness policies for future pandemics or other collective traumas to prevent distress and improve mental health.

References:

1. Kong, WH, Li Y, Peng MW, Kong DG, Yang XB, Wang L, et al. SARS-CoV-2 detection in patients with influenza-like illness. Nat Microbiol, 2020, 5 (5), pp. 675–678
2. WHO, Statement on the fifteenth meeting of the IHR (2005) Emergency Committee on the COVID-19 pandemic, 5 May 2023, https://www.who.int/news/item/05-05-2023-statement-on-the-fifteenth-meeting-of-the-international-health-regulations-(2005)-emergency-committee-regarding-the-coronavirus-disease-(covid-19)-pandemic
3. WHO, WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard, 2023, https://covid19.who.int/
4. Panchal, N., Saunders H., Rudowitz R., Cox C. The Implications of COVID-19 for Mental Health and Substance Use, KFF: The Independent Source for Health Policy Research, Polling, and News, Mar 20, 2023, https://www.kff.org/mental-health/issue-brief/the-implications-of-covid-19-for-mental-health-and-substance-use/#endnote_link_582525-1
5. Tricco, A. C., Lillie E., Zarin W., O'Brien K. K., Colquhoun H., Levac D., et al. PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. Ann Intern Med. 2018, 169 (7), pp. 467–473, https://doi.org/10.7326/M18-0850, https://www.acpjournals.org/doi/full/10.7326/M18-0850?journalCode=aim
6. Fedina, L., Roberto, K. A., Zhang X., Chang, Y., Love J., Herrenkohl T. I. Effects of the COVID-19 pandemic on stress, coping, and well-being among adults with histories of child maltreatment. American Journal of Orthopsychiatry, Oct 12, 2023, https://doi.org/10.1037/ort0000707
7. Mutschler, C., McShane, K., Liebman, R., Junaid, S., & The Canadian Clubhouse Research Group. A multisite longitudinal evaluation of Canadian clubhouse members: Impact on hospitalizations and community functioning. Psychiatric Rehabilitation Journal, 2023, Advance online publication. https://doi.org/10.1037/prj0000581
8. Harkness, K. L., Herbison, J. D., Rowe, J., Atallah, R., Salomons, T. V., Trothen, T. J., Duffy, A., & Craig, W. M. Longitudinal associations between COVID-19 stress and mental health symptoms among university faculty and staff in Canada International Journal of Stress Management, 2023, Advance online publication https://doi.org/10.1037/str0000299
9. Zhuang, X., Wong, D. F. K. Adults' and older adults' mental health during COVID-19 in Hong Kong: An ecological analysis of family resilience. Families, Systems, & Health, 2023, Advance online publication. https://doi.org/10.1037/fsh0000843
10. Johnson, S. T., Dadi, D., Friedman, J. K., Hanson, S., Tavernier, R. L. E., & Mason, S. M. (The role of prior trauma exposure and subsequent posttraumatic stress disorder in reactions to the COVID-19 pandemic: A qualitative study. Psychological Trauma: Theory, Research, Practice, and Policy, 2023, Advance online publication. https://doi.org/10.1037/tra0001541
11. Sánchez González, M. L., Cruz-Gonzalez, M., Falgas-Bague, I., Markle, S. L., & Alegría, M. Resilience of racial and ethnic minority older adults during the COVID-19 pandemic: The role of a prior disability prevention intervention American Psychologist, 2023, Advance online publication. https://doi.org/10.1037/amp0001177
12. Guan, Y., Jiang, D., Wu, C., Deng, H., Su, S., Buchtel, E. E., & Chen, S. X. Distressed yet bonded: A longitudinal investigation of the COVID-19 pandemic's silver lining effects on life satisfaction. American Psychologist, 2023, Advance online publication. https://doi.org/10.1037/amp0001188
13. Tsai, J., McCleery, A., Wynn, J. K., & Green, M. F. Financial health and psychiatric symptoms among veterans with psychosis or recent homelessness during the COVID-19 pandemic. Psychological Services, 2023, Advance online publication. https://doi.org/10.1037/ser0000787
14. Ecker, A. H., Amspoker, A. B., Johnston, W., Walder, A., Lindsay, J. A., & Hogan, J. B. The role of depression and anxiety symptom severity in remotely delivered mental health care. Psychological Services, 2023, Advance online publication. https://doi.org/10.1037/ser0000775
15. Brucker, D. L., Surfus, C., & Henly, M. Mental health experiences in 2021 for adults with disabilities who are lesbian, gay, bisexual, or transgender. Rehabilitation Psychology, 2023, Advance online publication. https://doi.org/10.1037/rep0000511

16. Nails, J. G., Maffly-Kipp, J., DeShong, H. L., Lowmaster, S. E., & Kurtz, J. E. A crisis in college student mental health? Self-ratings of psychopathology before and after the COVID-19 pandemic. Psychological Assessment, 2023, Advance online publication. https://doi.org/10.1037/pas0001241
17. Asnaani, A., Chavez M. G., Samuel R., Pham A., Charlery W. R. Impact of a brief training on mental health stakeholders' implementation of evidence-based strategies for trauma in the Caribbean within the context of COVID-19. International Perspectives in Psychology: Research, Practice, Consultation, Jun 05, 2023, https://doi.org/10.1027/2157-3891/a000083
18. Hemi, A., Sopp, M. R., Bonanno, G., Michael, T., McGiffin, J., & Levy-Gigi, E. Flexibility predicts chronic anxiety and depression during the first year of the COVID-19 pandemic—A longitudinal investigation of mental health trajectories.Psychological Trauma: Theory, Research, Practice, and Policy, 2023, Advance online publication. https://doi.org/10.1037/tra0001517
19. Leung, L. B., Chrystal, J. G., Dyer, K. E., Brayton, C. E., Karakashian, M. A., Yano, E. M., Young, A. S., Shekelle, P. G., & Hamilton, A. B. Primary care provider perspectives on virtual and in-person depression management during the COVID-19 pandemic.Families, Systems, & Health, 2023, Advance online publication. https://doi.org/10.1037/fsh0000801
20. Cerezo, A., Rivera, D. B., Sanchez, D., Torres, L., Carlos Chavez, F. L., & Drabble, L. A. Examining COVID-19 pandemic-related economic and household stress and its association with mental health, alcohol, and substance use in a national sample of Latinx sexual minority and heterosexual adults. Cultural Diversity and Ethnic Minority Psychology, 2023, Advance online publication. https://doi.org/10.1037/cdp0000583
21. Minihan, S., Songco, A., Fox, E., Ladouceur, C. D., Mewton, L., Moulds, M., Pfeifer, J. H., Van Harmelen, A.-L., & Schweizer, S. Affect and mental health across the lifespan during a year of the COVID-19 pandemic: The role of emotion regulation strategies and mental flexibility. Emotion, 2023, Advance online publication. https://doi.org/10.1037/emo0001238
22. Demanarig, D. L. L., Banawa, R., Marquez, C.-S. N., Apostol, N. J., Fernandez, L., & Kreuzova, T. How the pandemic affected Filipinx Americans: Analysis on enculturation levels, health care work, and mental health outcomes. Asian American Journal of Psychology, 2023, Advance online publication. https://doi.org/10.1037/aap0000315
23. Sánchez-Martín, M., Muñoz-Fernández, N., García-Dantas, A., González-Vázquez, A., Lavadiño, L., Justo-Alonso, A., & del Río-Casanova, L. Longitudinal mental health state during the COVID-19 pandemic. Longitudinal change of mental symptoms and its predictors during the COVID-19 pandemic: A prospective longitudinal study on Spanish population. Psychological Trauma: Theory, Research, Practice, and Policy, 2023, Advance online publication. https://doi.org/10.1037/tra0001429
24. Prati, G., & Mancini, A. D. Social and behavioural consequences of the COVID-19 pandemic: Validation of a Pandemic Disengagement Syndrome Scale (PDSS) in four national contexts. Psychological Assessment, 2023, Advance online publication. https://doi.org/10.1037/pas000121

Session 3

Remote Sensing and Geoinformation Systems

Chairman: Prof. Lachezar Filchev
Secretary: Chief Assistant Dessislava Ganeva

SUPERCAPACITORS USAGE IN PASSIVE RADAR AUTONOMOUS STATION

Svetoslav Zabunov, Garo Mardirossian

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mails: svetoslavzabunov@gmail.com, garo.mardirossian@gmail.com

Keywords: *Passive Radar Station, Multistatic Passive Radar, Supercapacitors, Remote Sensing Equipment*

Abstract: *The current article presents an autonomous multistatic passive radar station power storage technology. The autonomous station is connected through wireless means to data server. It has solar batteries as power source and utilizes supercapacitors for energy storage. The station requires no maintenance and is expected to function without aid for at least 10 years. It may require only cleaning in cases of being contaminated with soil and debris as a result of meteorological conditions. The main challenge in such a device is the design of the unit for storing energy during the night hours where there is no solar radiation. The number of charge and discharge cycles of the energy storage module is at least 3650 for 10 years period but may increase tenfold or more due to intermittent surges in power demand during burst communication sessions or high energy consumption transient computational operations. Another factor contributing to increase of the number of charge/discharge cycles is the irregularities in solar irradiation due to the uneven cloud cover and other weather phenomena. Most battery chemistries would degrade significantly throughout the lifetime of the station and beyond a fraction of the expected 30000 charge and discharge cycles.*

Supercapacitors are a new technology for energy storage suitable for stationary apparatuses providing such long periods of operation and large number of charge/discharge cycles reaching millions. This paper elaborates on the benefits of implementing supercapacitors as major energy storage unit in stationary autonomous devices for remote sensing applications and specifically for autonomous solar powered base stations for passive radars. To achieve clarity we disclose the deployment of supercapacitor power bank as part of a complete design of multistatic passive radar station and we analyse the power requirements of all modules in such a station. Further, comparison with wide spread rechargeable battery technologies is provided and all the benefits and drawback of supercapacitors thereof are established.

ИЗПОЛЗВАНЕ НА СУПЕРКОНДЕНЗАТОРИ В АВТОНОМНА БАЗОВА СТАНЦИЯ НА ПАСИВЕН РАДАР

Светослав Забунов, Гаро Мардиросян

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mails: svetoslavzabunov@gmail.com, garo.mardirossian@gmail.com

Ключови думи: *Базова станция за пасивен радар, Мултистатичен пасивен радар, Суперкондензатори, Уреди за дистанционни изследвания*

Резюме: *Настоящата статия представя технология за съхранение на енергията, необходима за работата на автономна базова станция за мултистатичен пасивен радар. Автономната станция е свързана безжично към сървър за данни. Тя разполага със соларни панели, от които получава енергия за работата си. Енергията се съхранява в суперкондензаторен модул. Станцията не се нуждае от поддръжка и се очаква да работи поне 10 години без прекъсване. Единствено е възможно нейното почистване, ако настъпи замърсяване вследствие метеорологичните условия. Основното предизвикателство в устройството е конструкцията на модула за съхранение на енергията по време на тъмнина, нощ, или други ситуации на липса на слънчева светлина. Броят на зарежданията и разреждания на модула за съхранение на енергията е поне 3650 за 10 години, но може да се увеличи десетократно или повече поради краткотрайни нараствания в консумираната мощност поради комуникационни сесии или ограничени по време изчислителни задачи, които изискват голяма мощност. Друг фактор допринасящ към увеличението на броя зареждания/разреждания е промяната в слънчевото греене като резултат от неравномерността на облачна структура и други метеорологични явления. Повечето широко разпространени химически формули на акумулаторни батерии предполагат*

деградиране на батериите значително преди крайния брой зареждания/разреждания по време на експлоатацията на станцията, който брой се предвижда да е поне 30000.

Суперкондензаторите са нова технология за съхранение на електрическа енергия, подходящи за стационарни устройства. Те предоставят много дълъг период на експлоатация и голям брой цикли на презареждане от порядъка на милиони. Настоящата статия дискутира предимствата на внедряване на суперкондензаторите като основен модул за съхранение на енергията при стационарни автономни устройства за дистанционни изследвания и по-конкретно при автономни базови станции за пасивни радари, захранвани със соларни панели. За да се постигне яснота ние разглеждаме приложението на суперкондензаторите в една завършена конструкция на станция за мултистатичен пасивен радар и анализираме изискванията към мощността на всички звена в тази станция. Също така статията прави сравнение между по-разпространените технологии на акумулаторни батерии и суперкондензаторите и извежда предимствата и недостатъците на последните.

Introduction

Remote sensing applications require specialized equipment to carry out data acquisition, data processing in situ, communications and transfer of collected and processed data, data storage, etc. Remote sensing devices are either spaceborne, airborne or Earth's surface based. All spaceborne and airborne applications along with sea sailing equipment require autonomous power sources while Earth based devices may or may not need such power unit. Those Earth based apparatuses that are stationary and located far away from energy infrastructure do require autonomous power systems such as solar panels and rechargeable batteries for energy storage.

Passive radars are remote sensing systems consisting of one or more base stations [1-3] (see Fig. 1). Each base station is, in most cases, non-mobile and located at a distance from city infrastructure or power lines – in areas of low radio interference, i.e. in forests, mountains, distant valleys, structural basins, etc. The unavailability of external power source raises the need for an autonomous one.

There is a variety of power sources that can be used in autonomous remote sensing devices. Some of the available variants are:

- Primary (non-rechargeable) chemical batteries
- Nuclear batteries
- Thermoelectric generators using gas combustion
- Thermoelectric generators using solar heat
- Thermoelectric generators using geothermal energy
- Solar panels
- Solar heat Stirling engine generator
- Wind turbines
- Sea tides generators
- Internal combustion engine generators
- Water column energy generators

Many of these power sources are cumbersome, require specific natural resources in the vicinity of the station, have short life or require frequent maintenance and supply of fuel. As such they are inappropriate for long life remote sensing base stations located in random hardly accessible regions. The following subset lists the more widely used power sources that do not require frequent maintenance:

- Primary chemical batteries
- Solar panels

Primary chemical batteries provide adequate power supply independent from external factors, thus guaranteeing constant maximum power output and being perfectly suitable for the unpredictable and irregular power demand of many remote sensing devices. The major drawback of primary cells is their very limited energy storage. Devices with high power requirements operating for prolonged periods of time would require very large banks of primary cells, which are costly or even not feasible.

Solar panels happen to be the preferred alternative. They have one significant drawback – the power output is not constant and depends of external factors. An energy storage unit is thus required. In satellites where solar power is also often the preferred power source, the electrical energy from the solar panels is stored in capacitors or secondary (rechargeable) cells. The same options are valid for Earth based devices. While secondary batteries have higher power density, they do lack longevity and

provide limited number of charge/discharge cycles in comparison with supercapacitors. For devices located at Earth's surface power density is seldom an issue and here is where supercapacitors come into favour. They have much lower power density in comparison with rechargeable batteries but also have a number of benefits such as:

- Charge and discharge cycles in the range of millions
- Very high efficiency of the charge and discharge cycles
- Long life
- High surge current of charge and discharge
- Wide temperature range of operation having no noticeable degradation of efficiency especially at lower temperatures

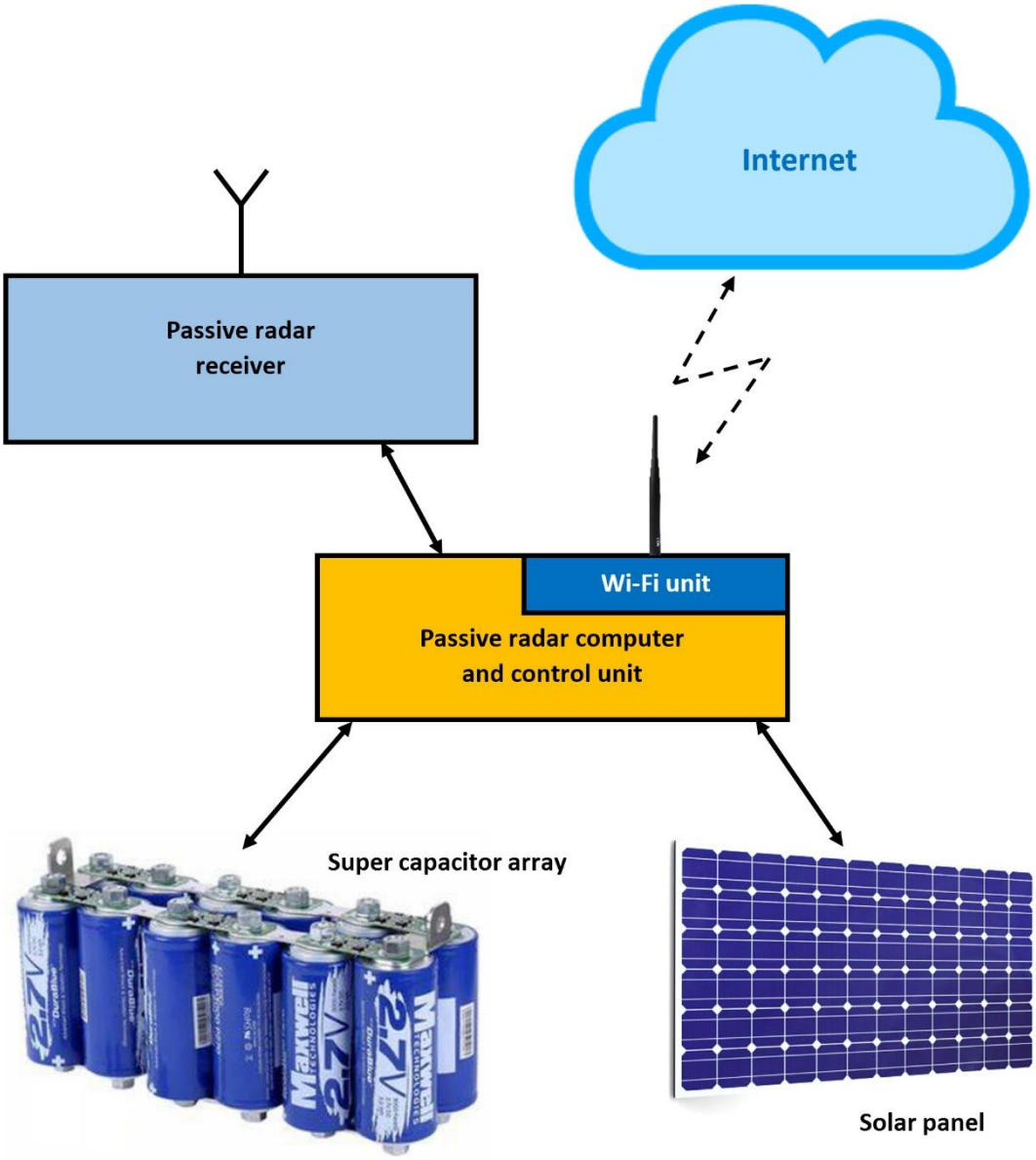


Fig. 1. Passive radar system employing solar panel power supply and supercapacitors energy storage

Multistatic passive radar station

This article discusses the implementation of supercapacitors in multistatic passive radar base station (Fig. 1). Although the approach is suitable for any stationary remote sensing platform, the implementation of supercapacitors as energy storage unit is demonstrated best when viewed as part of a complete device design. Passive radar stations are notorious for their high power consumption that may happen intermittently in bursts or take place for certain medium duration periods of time, both during

the day and night hours [4, 5]. Hence, these remote sensing devices are good examples of the applicability of supercapacitors as power storage unit in remote sensing base stations.

The employed design in this article is of an autonomous passive radar station. The latter consists of antennas, radio receiver, control and computational unit, communications module and energy source. The passive radar station uses communication systems that are wireless due to its In-the-field nature. Various wireless networks may be incorporated such as satellite phones, terrestrial cell phone networks, proprietary wireless networks, and wireless Internet access. The last option is getting increasingly available in many locations. More specifically, in the cases of passive radar station Wi-Fi networks are available when the station is positioned near research or scientific facilities. For these reasons, the currently discussed design relies on Wi-Fi wireless Internet access. With the use of range extenders Wi-Fi communication may be established at long distances of few to few tens of kilometres. We should mention that the implementation of Wi-Fi radio link in the passive radar station renders the latter an Internet-of-things (IoT) device. Available Wi-Fi modules are of various kinds, for example single board modules and standalone devices. On the other hand, if a dedicated personal computer, such as a notebook, is involved in the design of the station it is this computer that will provide the whole system with a Wi-Fi connection hardware.

As it was already stated, a multistatic passive radar system requires, in most cases, significant computational power. The core of the station, for this reason, is a high performance computer. In accord with the implemented algorithms, a single board computer or a notebook might be utilized. Recent developments of single board computers do include Wi-Fi modules, so everything said so far for the laptop option in regard to the Wi-Fi radio link holds for the case of implementing a single board computer.

To be able to fulfil high demand computations, the computer graphics card, also known as graphics processing unit (GPU), is most likely to be utilized by the installed software for computations [6-8]. The GPUs installed in modern personal computers provide high performance parallel computing that outperforms any modern central processing unit (CPU). Even single board computers lately come equipped with inbuilt GPU. The GPUs are power hungry and may require anywhere from 2 to 200 watts of power to run at full capacity depending on the number of cores they involve, the chip die technology they are manufactured with, etc.

As a conclusion, it is beyond doubt that the major power consumer in the passive radar station is the GPU. Energy demand by any of the other systems is tens of times lower and does not impact significantly the energy consumption of the whole station.

Modern supercapacitors

Modern supercapacitors are provided in various capacities, but the most prominent large capacity cell is the 3000 farads cell weighing around 0.5 kg (Fig. 2). Most supercapacitors with the given capacity have maximum voltage of charge of 2.7 V (see Table 1). This voltage establishes energy in the range of 10935 J or 3.0375 Wh. Most cells with 3000 F capacity have energy density in the vicinity of 6 Wh/kg. Another important factor when choosing the supercapacitors for the passive radar autonomous station is the temperature range. Most parts exhibit wide temperature range of operation from –40°C to +65°C.

Table 1. Supercapacitor manufacturers and models suitable for remote sensing base stations

Manufacturer	Capacity [F]	Voltage [V]	Energy [Wh]	Weight [kg]	Energy density [Wh/kg]	Temp. range [°C]	Internal resist. [mΩ]
KEMET	200	2.70	0.203	0.062	3.274	-25/+60	30.00
AVX	3000	2.70	3.038	0.500	6.076	-40/+65	0.20
Eaton	3400	2.85	3.836	0.600	6.393	-40/+65	0.23
Cornell Dubilier	800	2.30	0.588	0.074	7.946	-25/+70	10.00
Maxwell Technologies	3400	3.00	4.250	0.490	8.673	-40/+65	0.13
Vishay	100	3.00	0.125	0.020	6.250	-40/+85	22.00
Würth Elektronik	350	2.70	0.354	0.065	5.446	-40/+65	3.50
Green-Cap	3000	2.70	3.038	0.540	5.626	-40/+65	0.28
SPS-CAP	3000	2.70	3.038	0.548	5.544	-40/+65	0.29
GDCPH	3000	2.70	3.038	0.500	6.076	-40/+65	0.29
IOXUS iCAP™	3000	2.70	3.038	0.510	5.957	-40/+65	0.26

This temperature range is suitable for field deployed base stations installed at locations in Bulgaria. Still another important characteristic of the supercapacitors is the number of charge and

discharge cycles. For all products on the market this number is above half a million – adequate for the described application.

Additional parameters of interest are the internal resistance and leakage current. All supercapacitors have negligible internal resistance and for the 3000 F samples it is around 0.3 mΩ. The leakage current for these capacitors is around 5 mA which is too small to be of significance during the daily charging cycle.

Fig. 2. Some supercapacitors of the 3000 F range most suitable for designing energy storage modules

Comparison between supercapacitors and secondary batteries

There are many benefits of employing supercapacitors for energy storage over the best available types of secondary (rechargeable) batteries. These advantages were already mentioned. Supercapacitors, nevertheless, do have some drawbacks and these are:

1. Lower energy density. Most widely available energy density is only 6 Wh/kg while the secondary batteries of the Li-Ion type (most common) is around 216 Wh/kg or 36 times higher.
2. The voltage varies widely from the maximum completely charged voltage of 2.7 V to near 0 V when fully discharged. Special circuitry for utilizing the full energy capacity of the supercapacitors is required.

Energy requirements of a multistatic passive radar station and suitability of supercapacitors in providing the expected energy storage capacity

Our calculations show that powering a laptop based passive radar station with average power consumption of 100 W and 16 h dark time (worst case) requires 1600 Wh of stored energy. To achieve this energy capacity the station needs 550 cells having total weight of 270 kg. This figure surely seems a lot but it is the solar cells that establish station's dimensions. And the latter are quite large. The needed solar cell area for 200 W power output under overcast sky is equal to 2000 W installed nominal power

under clear sky. This makes for a solar cell area of 20 m^2. Having 270 kg of supercapacitor bank weight now seems adequate in relation to these dimensions of the station.

On the other hand, if lower power consumption computer is implemented, i.e. instead of a laptop, a single board computer with 5 W power consumption and we add another 5 W for the different modules in the base station such as radio receiver and Wi-Fi module, then we come to 10 W total power consumption. This is 10 times less than the first example leading to 27 kg super capacitors and 2 m^2 surface area of the solar cells rendering the base station suitable for easy carrying by two to four people. Whether we choose a laptop computer or a single board low power computer depends on the algorithms implemented [9–11].

Conclusion

To avoid radio noisy environment, a multistatic passive radar station needs to be deployed at locations where nearby infrastructure and maintenance personnel would be unavailable. Device of this kind requires endurance under harsh meteorological conditions. Another necessity is the establishment of a radio communication link to data servers. And finally, said device has to be equipped with an energy source with adequate power capabilities.

The last prerequisite is readily fulfilled by employing solar panels for energy generation and supercapacitors for energy storage. The supercapacitors, being the advisable solution for energy storage in this case, provide many gains over traditional energy accumulating components – secondary batteries. Implementation of supercapacitors in future projects of remote sensing devices is promising feat and the authors intend to investigate and research engineering venues and designs taking advantage of supercapacitors for energy storage [9, 10].

References:

1. Zabunov, S. & Mardirossian, G. (2021) Multistatic Passive Radar for Ionospheric Sounding, *SES 2021, Seventeenth International Scientific Conference, SPACE, ECOLOGY, SAFETY*, 20 – 22 October 2021, Sofia, Bulgaria.
2. Zabunov, S., G. Mardirossian, R. Nedkov (2020) Multistatic Passive Radar, *Bulgarian Patent Office,* Utility Model No 3928 / 29.10.2020, 1–3.
3. Zabunov, S. & Mardirossian, G. (2021) Multistatic Passive Radar employing Magnetic Loop Antennas, *Comptes rendus de l'Acad´emie bulgare des Sciences*, Tome 74, No 6, 2021.
4. HOWLAND, P. E. (1994) A Passive Metric Radar Using the Transmitters of Opportunity, *Int. Conf.on Radar*, Paris, France, 251–256.
5. HOWLAND, P. E., D. MAKSIMIUK, G. REITSMA (2005) FM radio based bistatic radar, *Radar, Sonar and Navigation, IEE Proceedings*, 152(3), 107–115.
6. SAHR, J. D., D. M. GIDNER, CHUCAI ZHOU, F. D. LIND (2001) Passive VHF radar for ionospheric physics, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 63(2–3), 117–122.
7. CARSON, S., D. KILFOYLE, M. POTTER, J. POTTER (2007) A passive, multi-static radar system, *2007 IET International Conference on Radar Systems*, Edinburgh, UK, 2007, 1–4.
8. PÖLÖNEN, K. (2016) Signal Processing Methods for Multicarrier Passive Radar and Communication Systems, Doctoral dissertation 69/2016, *Alto University publication series*, 13.May.2016.
9. ZABUNOV, S., G. MARDIROSSIAN, P. GETSOV, G. JELEV (2022) Internet-of-things stations system for passive radar. Utility model No 4279/08.07.2022, *Patent Office of Republic of Bulgaria*.
10. ZABUNOV, S., G. MARDIROSSIAN, P. GETSOV, G. JELEV, V. VASEV (2022) Multistatic passive radar with magnetic loop antenna. Utility model No 4337/25.10.2022, *Patent Office of Republic of Bulgaria*.

СРАВНЕНИЕ НА СЕЗОННОТО ИЗМЕНЕНИЕ НА ПРАХОВОТО ЗАМЪРСЯВАНЕ ПО НАЗЕМНИ ДАННИ И ПЯСЪЧНИТЕ НАХЛУВАНИЯ ОТ АФРИКА, РЕГИСТРИРАНИ ПО СПЪТНИКОВИ ДАННИ

Мария Димитрова, Йорданка Прегьова

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

Ключови думи: *пясъчни бури, дистанционни изследвания, ФПЧ, АИС, ПМ2.5, ПМ10*

Резюме: *Изследвано е сезонното изменение на праховото замърсяване ПМ10 и ПМ2.5 в АИС, разположени далеч от населени места. Направено е съпоставяне на това поведение с броя случаи на пясъчни нахлувания от Африка за периода 2013 – 2022 г, регистрирани по спътникови данни за същия времеви период. Обяснено е различието в сезонното изменение на двата параметъра.*

COMPARISON OF SEASONAL VARIATION OF GROUND-BASED DUST POLLUTION AND SATELLITE-REGISTERED SAND FALLS FROM AFRICA

Yordanka Pregyova, Maria Dimitrova

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

Keywords: *sand storms, remote sensing, dust pollution, ground PM data, PM2.5, PM10*

Abstract: *The seasonal variation of PM10 and PM2.5 dust pollution in AIS located far from populated areas was studied. A comparison of this behavior was made with the number of cases of sand incursions from Africa for the period 2013 – 2022 recorded by satellite data for the same time period. The difference in the seasonal variation of the two parameters is explained.*

Въведение

Емисията на минерален прах от континентите е основен източник на твърди частици в атмосферата. Тези частици се увличат в атмосферата чрез процеса на дефлация от слабо растителни повърхности. Дребнозърнестите частици обикновено се издигат на по-високи височини и може да имат по-дълго време на пребиваване в атмосферата, до няколко седмици [1]. Наличието на атмосферен прах влияе върху енергийния бюджет на Земята чрез разсейване и поглъщане на входящата слънчева радиация [2, 3]. Аерозолните частици, чрез модифициране на свойствата на облака и намаляване на температурата на повърхността, също играят роля в промяната на моделите на синоптичната система [4, 5]. Праховите частици могат да бъдат покрити с водоразтворими вторични видове [6], като по този начин променят техния хигроскопичен растеж и способността им да действат като ядра за кондензация на облака [7].

Прахови бури, както и много други естествени събития нанасят огромни щети. За да се намали или дори да предотвратят вредните последици от тях, трябва да се анализира терена - микроклимат, преобладаващата посока на вятъра и да извършват дейности, свързани с тях, които биха намалили скоростта на вятъра в близост до земната повърхност и да се увеличи сцеплението на почвените частици.

Трябва да се отбележи, че през последните 60 години, количеството прахови бури в Сахара се е увеличило около 10 пъти, което е довело до значително намаляване на дебелината на повърхностния слой на почвата в Чад, Нигер и Нигерия.

Никак не е за подценяване ефектът на сахарския прах и върху климата на планетата. Той може както да затопля (над сняг и лед), така и да охлажда (над океана). Прахът променя и начина на образуване на облаците, в зависимост дали отразява или улавя топлината от слънцето.

В ролята си на тор за растенията по сушата и под водата и подпомагайки процеса на фотосинтеза, сахарският прах влияе сериозно и на количеството въглероден диоксид в атмосферата. Смята се, че на този ефект се дължи поне 1/4 от промяната на нивата на въглероден диоксид, която пък води след себе си и други – като топенето на ледниците например.

Повечето от праховите частици, получени от Сахара, се отлагат на местно ниво, но значителна част се транспортира в големи райони на Северния Атлантик и Средиземно море.

Рагистрирането на прахови замърсявания на въздуха може да се извършва по два основни метода – посредством спътникови данни и посрвдством наземни измервания.

Пясъчните нахлувания към Балканския полуостров и в частност към България са глобално явление, което се простира на голяма площ и е разтеглено във височина в атмосферата. За целта най-удачно и изследване посредством спътникови данни с ниска и средна разделителна способност.

Влиянието на пренесените частици на всяко едно конкретно място се изразява чрез наличието на прахови частици в приземния слой на атмосферата и подлежо на локално измерване – най-често чрез автоматични измервателни станции – АИС.

Използвани данни и методи

В настоящата работа са използвани данни от АИС на територията на България от два официални портала за получаване на данни за качеството на атмосферния въздух, които отговарят на европейските стандарти и изисквания – European Air Quality Portal [8] и българския портал – Система за информиране на населението за качеството на атмосферния въздух, който е базиран на първия [9].

Използвани са спътникови данни със средна разделителна способност в оптичния диапазон от инструмент MODIS, базиран на борда на спътниците Terra и Aqua [10, 11], както и спътникови данни от инструмента GOME-2, базиран на метеорологичните спътници EUMETSAT и инструмент Tropomi от спътника Sentinel 5P от портала TEMIS [12].

Данните от източник [10] вече не са налични, но се съхраняват като архив на секция Аерокосмическа информация към ИКИТ-БАН.

Влиянието на пясъчните нахлувания от Африка върху атмосферното запрашаване над България може да се отчете единствено на места, където локалните източници на прах са сведени до минимум. Повечето АИС са разположени в големите градове или в изявено промишлени райони. Единствено АИС Рожен отговаря напълно на изискването за отдалееност от антропогенни прахови източници.

За сравнение са използвани и данни от АИС Копитото, която, макар и разположена високо в планински район, се намира близо до гр. София. Данни от АИС Пажлово, която е в пределите на града, но е най-близо до АИС Копитото е използване за демонстрация на сезонното поведение на праховово замързяване в типичен урбанизиран район.

За определяне на сезонното поведение на праховото замърсяване, дневните данни от измевранията на трите АИС са усреднени по месеци, като са използвани PM10 за трите станции и ПМ2.5 за двете планински.

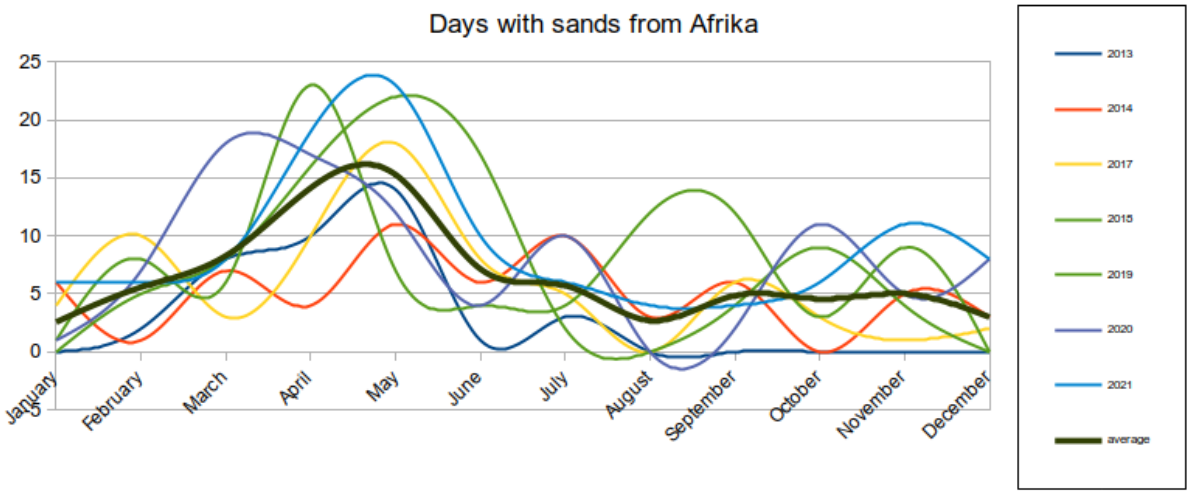
Използвани са данни за периода 2013 – 2021 година, защото само за този период има едновременно данни от АИС и спътникови данни.

Резултати

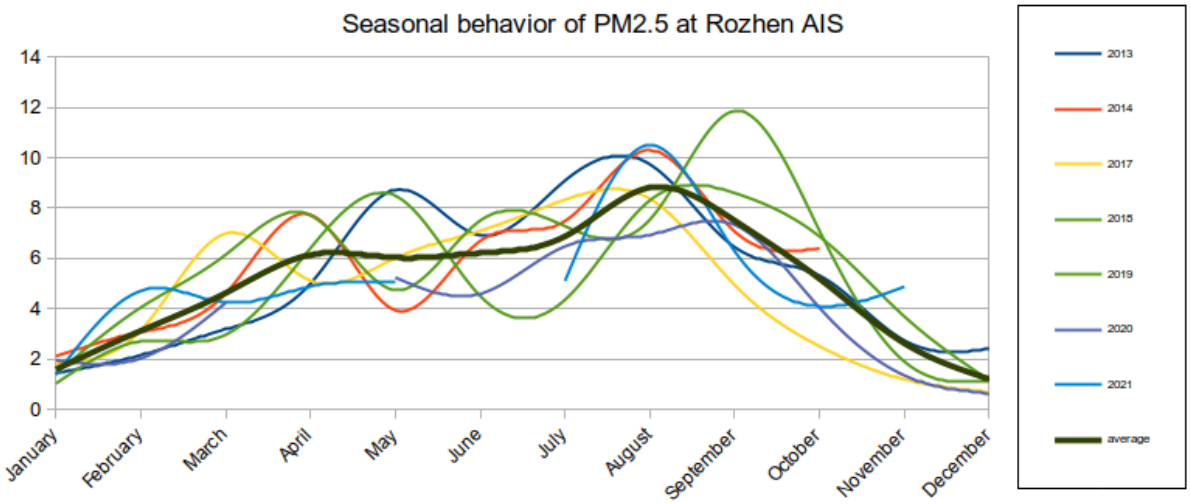
На Фиг. 1, 2 и 3 са представени съответно сезонното поведение на броя дни с пясъчно нахлуване от Африка и сезонните поведения на PM2.5 и PM10 при АИС Рожен.

Както се вижда от Фиг.1, пясъчните нахлувания от Африка показват максимум през пролетните месеци март, април, май.

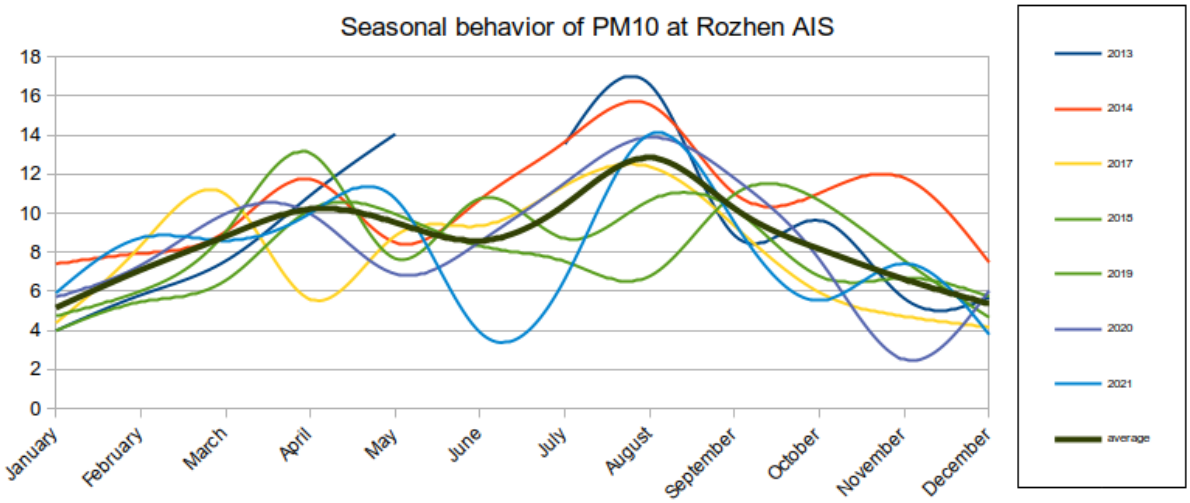
От Фиг. 2 и 3 се вижда, че измерените стойности за PM2.5 и PM10 на Рожен показват подобен максимум през пролетните месеци, но и втори, по-изразен максимум през края на лятото и есента — август и септември.



Фиг. 1. Сезонно изменение на броя дни с пясъчни нахлувания от Африка към територията на България

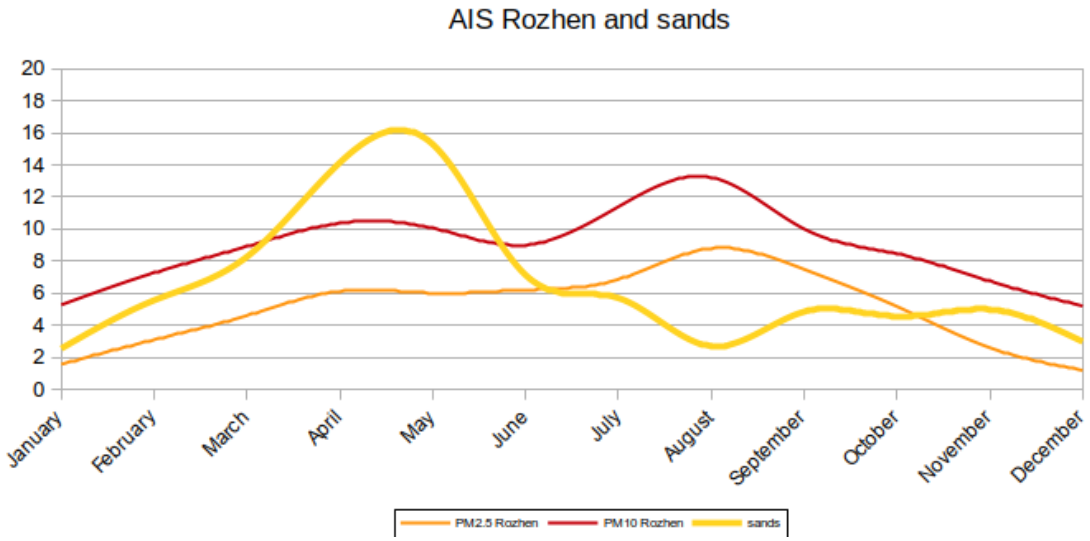


Фиг. 2. Сезонно изменение на PM2.5 за периода 2013-2021 година по данни от АИС Рожен

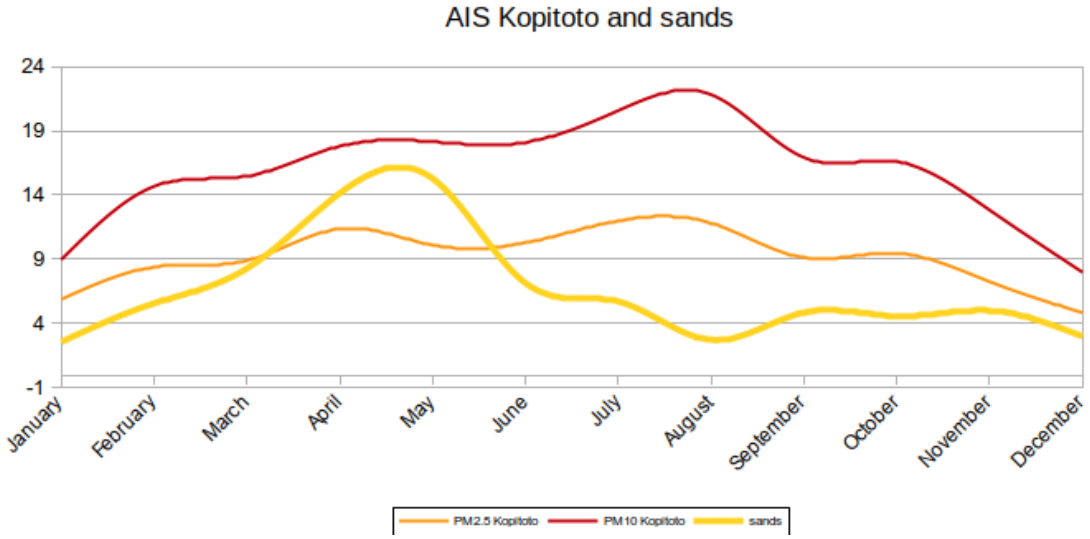


Фиг. 3. Сезонно изменение на PM10 за периода 2013-2021 година по данни от АИС Рожен

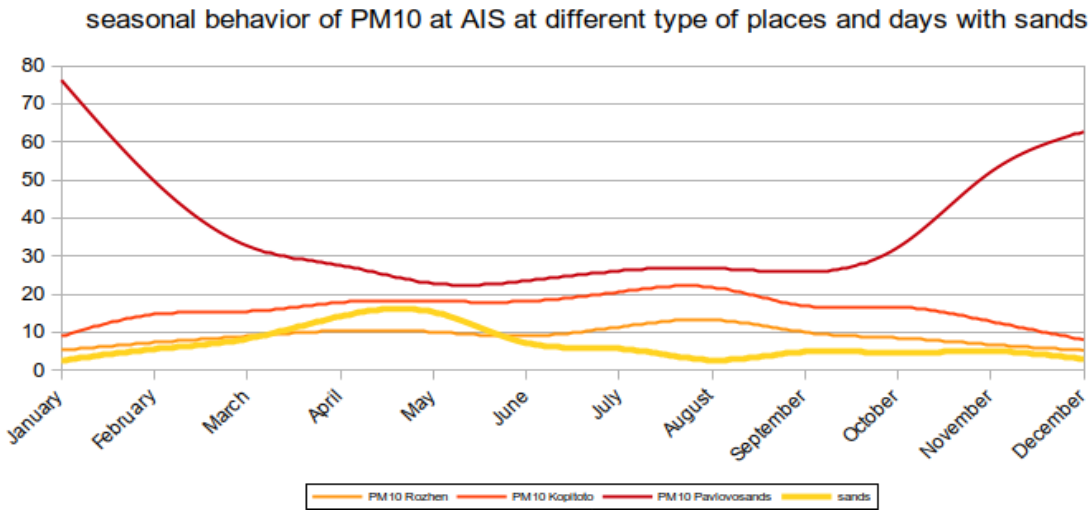
На Фиг. 4 е представено сравнение на среднитв сезонни криви за параметрите, показани на предходните 3 фигури.



Фиг. 4. Сезонно изменение броя дни с пясъчни нахлувания от Африка и PM2.5 и PM10 за периода 2013-2021 година по данни от АИС Рожен



Фиг. 5. Сезонно изменение броя дни с пясъчни нахлувания от Африка и PM2.5 и PM10 за периода 2013-2021 година по данни от АИС Копитото



Фиг. 6. Сезонно изменение броя дни с пясъчни нахлувания от Африка и PM10 за периода 2013-2021 година по данни от АИС Рожен, Копитото и Павлово

На Фиг. 5 е поредставено сезонното поведение на PM2.5 и PM10, измерени от АИС Копитото, сравнени с броя дни на пясъчни нахлувания от Африка.

На Фиг. 6 сезонното поведение на измерванията за PM10 от АИС Рожен и Копитото е сравнен с поведението на PM10, измерен от АИС Павлово.

На Фиг. 1, 2 и 3 липсват данни за 2015 и 2016 години, защото за този период няма данни от измерването на PM2.5 от АИС Рожен. За всички останали графики и сравнения са използвани данни от всичките девет години за периода 2013-2021 година. За 2022 година липсват данни за PM2.5 и от двете АИС Рожен и Копитото, затова тази година не е използвана.

Анализ на резултатите

От графиката на Фиг. 6 ясно се забелязват три различни източника на прахово замърсяване, регистрирани по данни от АИС.

Най-голям принос в градска среда са праховите частици от антропогенни източници, които показват максимална стойност през зимните месеци януари, февруари, ноември и декември.

На второ място се проявяват праховите частици от естествен местен характех – максимум през август, които се дължат на разнасяне на прах и почва от земната повърхност при горещо и сухо време. Този източник е основен за районите извън големите градове. Това се потвърждава от графиките на Фиг. 4, 5 и 6.

Трети, най-нисък максимум се наблюдава през пролетните месеци април и май. Той отговаря на максимума в броя дни с пясъчни нахлувания от Африка и се дължи на далечен прахов пренос.

Максимумите през пролетните месеци за всяка отделна година, показани на Фиг. 1, 2 и 3 си съответстват, като се наблюдава и леко изместване. Това се дължи на климатичните особености, а именно на валежите от мръсен запрашен дъжд, предизвикани от кондензационните пясъчни ядра при по-голяма влажност на въздуха.

Заключение

Далечният пренос на пясъчни частици от Африка се проявява като източник на прахово замърсяване основно през пролетните месеци, април, май. Минералните пясъчни частици през месеците март и април са основни кондензационни ядра за дъжд, понякога замърсен с пясъчни частици.

Литература:

1. Pye, K. (1987). Aeolian Dust and Dust Deposits. London: Academic Press, 334.
2. Claquin, T., Schulz, M., and Balkanski, Y. J. (1999). Modeling the Mineralogy of Atmospheric Dust Sources. J. Geophys. Res. 104 (D18), 22243–22256. doi:10.1029/1999jd900416.
3. Balkanski, Y., Schulz, M., Claquin, T., and Guibert, S. (2007). Reevaluation of Mineral Aerosol Radiative Forcings Suggests a Better Agreement with Satellite and AERONET Data. Atmos. Chem. Phys. 7, 81–95. doi:10.5194/acp-7-81-2007.
4. Barkan, J., Alpert, P., Kutiel, H., and Kishcha, P. (2005). Synoptics of Dust Transportation Days from Africa toward Italy and central Europe. J. Geophys. Res. 110 (D7). doi:10.1029/2004jd005222.
5. Barkan, J., Kutiel, H., and Alpert, P. (2004). Climatology of Dust Sources in North Africa and the Arabian Peninsula, Based on TOMS Data. Indoor Built Environ. 13 (6), 407–419. doi:10.1177/1420326x04046935.
6. Wurzler, S., Reisin, T. G., and Levin, Z. (2000). Modification of mineral Dust Particles by Cloud Processing and Subsequent Effects on Drop Size Distributions. J. Geophys. Res. 105 (D4), 4501–4512. doi:10.1029/1999jd900980.
7. Yu, H., Kaufman, Y. J., Chin, M., Feingold, G., Remer, L. A., Anderson, T. L., et al. (2006). A Review of Measurement-Based Assessments of the Aerosol Direct Radiative Effect and Forcing. Atmos. Chem. Phys. Eur. Geosciences Union 6 (3), 666. doi:10.5194/acp-6-613-2006.
8. European Air Quality Portal - https://aqportal.discomap.eea.europa.eu/.
9. Система за информиране на населението за качеството на атмосферния въздух - https://www.eea.government.bg/kav/.
10. MODIS Изображения Европа - http://lance-modis.eosdis.nasa.gov/imagery/subsets/?subset=Europe_3_03
11. NASA Worldview - https://worldview.earthdata.nasa.gov/.
12. Tropospheric Emission Monitoring Internet Servise – TEMIS - https://www.temis.nl/index.php.

ПРАХОВО ЗАМЪРСЯВАНЕ НА ТЕРИТОРИЯТА НА БЪЛГАРИЯ ПО НАЗЕМНИ ДАННИ

Йорданка Прегьова, Мария Димитрова

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

Ключови думи: *ФПЧ, АИС, ПМ2.5, ПМ10*

Резюме: *Изследвано е времевото и териториално разпределение на замърсяването с ФПЧ ПМ10 и ПМ2.5 зе периода 2013-2022 по данни от АИС на територията на България. В някои от АИС се наблюдава средногодишна стойност, превишаваща пределно допустимите стойности.*

Наблюдаван е ясно изразен спад на средногодишните стойности и на двата параметъра., като за последните 2 години никъде не е регистрирана средногодишна стойност над пределно допустимата.

DUST POLLUTION OVER THE TERRITORY OF BULGARIA ACCORDING TO GROUND DATA

Yordanka Pregyova, Maria Dimitrova

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

Keywords: *dust pollution, ground PM data, PM2.5, PM10*

Abstract: *The temporal and territorial distribution of PM10 and PM2.5 PM pollution in the period 2013-2022 according to AIS data on the territory of Bulgaria was studied. In some of the AIS, an average annual value exceeding the maximum permissible values is observed.*

A clear drop in the average annual values of both parameters was observed, and for the last 2 years, no average annual value above the maximum permissible was recorded anywhere.

Въведение

По-голямата част от аерозолите - около 90 процента от масата - имат естествен произход. Вулканите, например, изхвърлят огромни стълбове пепел във въздуха, както и серен диоксид и други газове, произвеждайки сулфати. Горските пожари изпращат частично изгорял органичен въглерод. Някои растения произвеждат газове, които реагират с други вещества във въздуха, за да дадат аерозоли, като „дима“ в Great Smoky Mountains в Съединените щати. По същия начин в океана някои видове микроводорасли произвеждат серен газ, наречен диметилсулфид, който може да се превърне в сулфати в атмосферата.

Морската сол и прахът са два от най-разпространените аерозоли, тъй като пясъчните бури разнасят малки парчета минерален прах от пустините в атмосферата, а водените от вятъра пръски от океанските вълни изхвърлят морска сол нагоре. И двете са склонни да бъдат по-големи частици от техните двойници, създадени от човека.

Останалите 10 процента от аерозолите се считат за антропогенни или създадени от човека и идват от различни източници. Въпреки че са по-малко изобилни от естествените форми, антропогенните аерозоли могат да доминират във въздуха надолу по вятъра на градските и индустриалните зони.

Изгарянето на изкопаеми горива произвежда големи количества серен диоксид, който реагира с водни пари и други газове в атмосферата, за да създаде сулфатни аерозоли. Изгарянето на биомаса, обичаен метод за разчистване на земя и консумиране на отпадъци от фермите, дава дим, който се състои главно от органичен въглерод и черен въглерод.

Пустинният прах, летливите органични съединения от растителността, димът от горските пожари и вулканичната пепел са естествени източници на аерозоли.

Автомобилите, инсинераторите, топилните заводи и електроцентралите са плодотворни производители на сулфати, нитрати, черен въглерод и други частици. Обезлесяването, прекомерната паша, сушата и прекомерното напояване могат да променят земната повърхност, увеличавайки скоростта, с която праховите аерозоли навлизат в атмосферата. Дори на закрито цигарите, готварските печки, камините и свещите са източници на аерозоли.

Доколкото основната част от хората живеят в големите градове, по-важно за здравето е да се разгледа праховото замърсяване локално, в градска среда и на ниво от няколко метра над земната повърхност.

Това най-добре може да се извърши по данни от АИС (автоматични измервателни станции) които дават 2 основни стойности – PM2.5 и PM10.

PM10 включва прахови частици с диаметър 10 μm или по-малко. Излагането на частици може да повлияе неблагоприятно както на белите дробове, така и на сърцето на човека и води до преждевременна смърт при хора със сърдечни или белодробни заболявания. През 2020 г. 71% от градското население е било изложено на концентрации на ФПЧ10 над насоките на СЗО от 40 μg/m^3 [1].

PM2.5 включва прахови частици с диаметър 2.5 μm или по-малко. Една такава частица може да пътува дълбоко в човешката дихателна система, достигайки до белите дробове. Експозиция на PM2.5 е свързана с респираторни и сърдечно-съдови заболявания и намалена белодробна функция. 96% от градското население е било изложено на концентрации на фини прахови частици (PM2.5) над годишната насока на СЗО от 25 μg/m^3 [1].

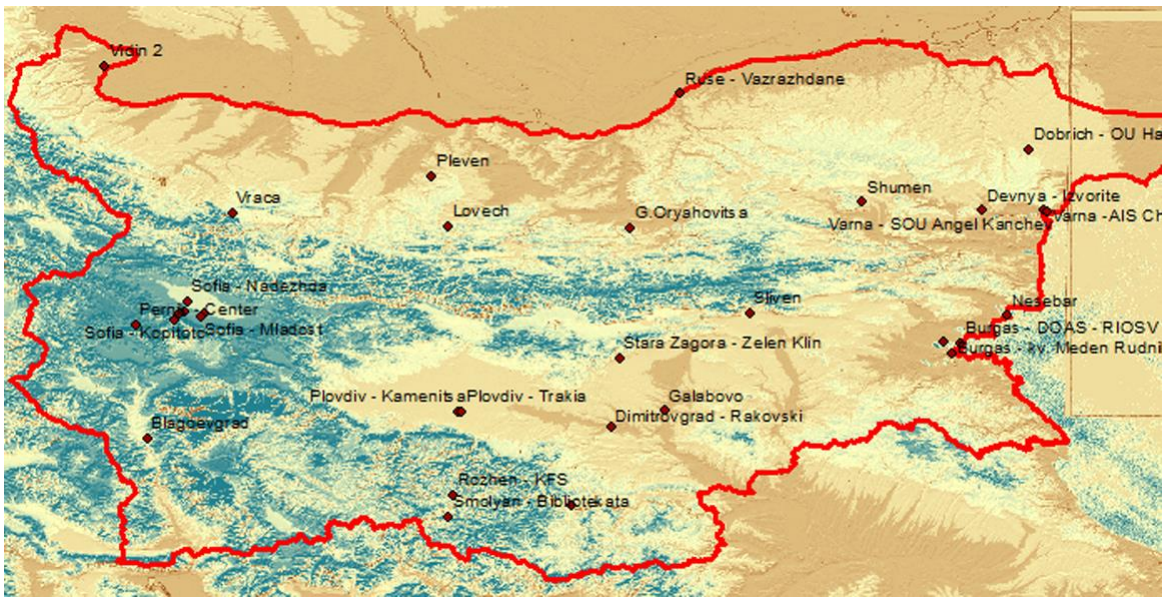
Използвани данни и методи

В настоящата работа са използвани данни от АИС на територията на България от два официални портала за получаване на данни за качеството на атмосферния въздух, които отговарят на европейските стандарти и изисквания – European Air Quality Portal [1] и българския портал – Система за информиране на населението за качеството на атмосферния въздух, който е базиран на първия [2].

Българският портал е много удобен за ползване, интерактивен, дава данни от началото на 2015 година до момента на часова, дневна и годишна база за всеки един замърсител, измерван от конкретната АИС за избран от потребителя период. В настоящата работа са използвани средногодишни данни за PM2.5 и PM10 от всички налични в този източник АИС. Такива са 3 АИС за PM2.5 и 29 за PM10.

Европейският портал [2] предоставя данни единствено за една година за всеки един замърсител и всяка една станция по отделно, като данните са или почасови, или дневни. Данните там са от началото на 2013 година и за територията на България са в реално време за същите АИС, които са налични до края на 2022. В портала, обаче, се предоставят данни до края на 2021 година от 41 АИС за PM10 и 9 за PM2.5. От този източник са попълнени всички липсващи данни за първите 2 години 2113 и 2014, както и за останалите АИС за цалич период. За тази цел дневните данни са усреднени за да се получат средногодишните стойности.

За определяне на средните стойности за всяка една АИС, средногодишните данни отново се усредняват за периода 2013-2022 година. На Фиг. 1 е представено разположението на АИС на територията на България.



Фиг. 1. Местоположение на АИС на територията на България

Както се вижда от горната фигура, основното количество АИС са разположени в големите градове и в промишлените райони.

Само две станции са извън населените места — АИС Рожен и АИС Копитото, като последната е в непосредствена близост до гр. София, макар и на доста по-голяма височина.

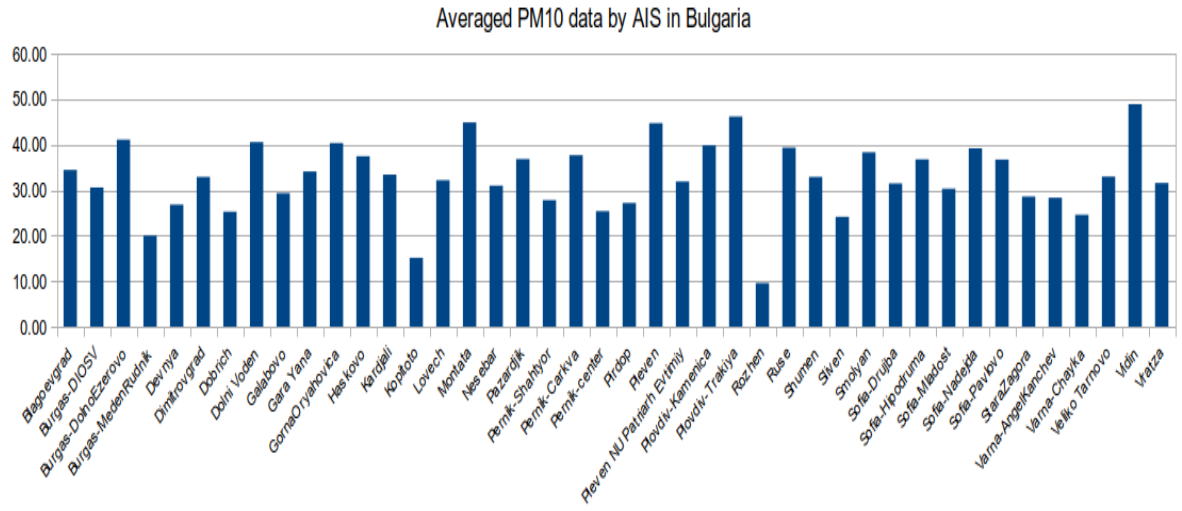
Резултати

На Фиг. 2 са представени средните стойности на PM10 за всички 41 АИС, усреднени за периода 2013-2022 година.

Както се вижда от фигурата, в седем АИС средната стойност за периода надвишава пределно допустимата годишна норма (ПДН). Такива са данните от следните станции -

- Бургас – Долно езерово
- Долни Воден
- Горна Оряховица
- Монтана
- Плевен
- Перник – Тракия
- Видин

Съвсем близо до нормата са данните за Пловдив – Каменица, Русе и София – Хиподрума.



Фиг. 2. Измерени средни стойности на PM10 за периода 2013-2022 година
в различните АИС в България

Броят на станциите с превишаване на ПДН също спара с годините, като мпрез последните 2 години няма станция с превишаване на ПДН. През отделните години превишавания са наблюдавани както следва:

2013 — в 19 АИС като максималната стойност е 62.18 μg/m^3 в Пловдив-Каменица

2014 – в 21 станции, като максимум се наблюдава в Монтана – 64 μg/m^3.

2015 – в 13 станции – максимум във Видин – 69.97 μg/m^3.

2016 – в 13 станции

2017 – в 11 станции

2018 – в 7

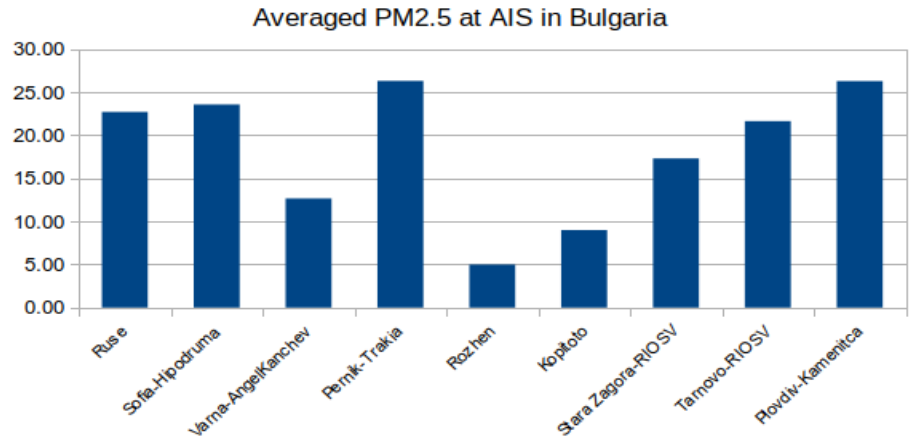
2019 – в 6

2020 – единствено в Пловдив - Тракия

На Фиг. 3 е представена същата информация за PM2.5

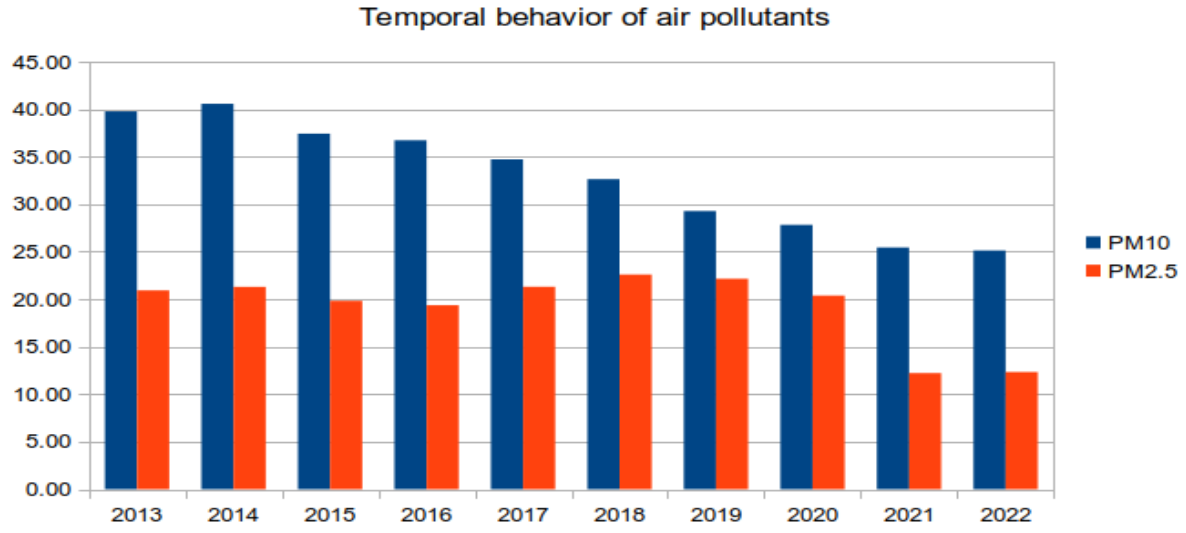
Както се вижда от фигурата, отново се наблюдава превишаване на пределно допустимата норма в две станции:

- Пловдив — Каменица
- Перник – църква



Фиг. 3. Измерени средни стойности на PM2.5 за периода 2013-2022 година в различните АИС в България

На Фиг. 4 е представена средната за страната стойност на PM2.5 и PM10 по години за периода 2013-2022.



Фиг. 4. Разпределение на средногодишните стойности на PM2.5 и PM10 по години

Както се вижда от фигурата, за 2013 година средната стойност на PM10 от АИС в България е на границата на ПДН, а за 2014 година я превишава. За PM2.5 превишение не се наблюдава.

Основната тенденция, обаче, особено за PM10 е към трайно и драстично намаляване. За целия период от 10 години се наблюдава спад с 36.82 % от началната стойност и 38.05% от максималната.

За PM2.5 поведението е по-колебливо, но съответното спадане е по-осезаемо — съответно 41.04% от началната стойност, като през последните две години средната стойност е на под половината от ПДН.

Заключение

В заключение можем да отбележим че, праховото замърсяване в големите Български градове бележи значителен спад през последните 10 години – съответно с над 36% за десетгодишен период за PM10 и над 41% за същия период на PM2.5.

Въпреки тази похвална тенденция, следва да се отбележи, че положението през началните 3-4 години от разглеждания период съвсем не е толкова добро – в някои АИС са измерени средногодишни данни, надвишаващи ПДН с над 50%.

Всичко това води до извода, че качеството на атмосферния въздух в страната следва да се наблюдава внимателно и в бъдеще.

Литература:

1. Наредба № 12 от 15 юли 2010 г. за норми за серен диоксид, азотен диоксид, фини прахови частици, олово, бензен, въглероден оксид и озон в атмосферния въздух - В сила от 30.07.2010 г. - Издадена от министъра на здравеопазването и министъра на околната среда и водите- Обн. ДВ. бр.58 от 30 Юли 2010г., изм. и доп. ДВ. бр.48 от 16 Юни 2017г., изм. и доп. ДВ. бр.79 от 8 Октомври 2019г. - https://lex.bg/bg/laws/ldoc/2135691821
2. European Air Quality Portal - https://aqportal.discomap.eea.europa.eu/
3. Система за информиране на населението за качеството на атмосферния въздух - https://www.eea.government.bg/kav/

SEASONAL AND TEMPORAL BEHAVIOR OF BACKGROUND NO_2 POLLUTION OVER BULGARIA ON THE BASE OF SENTINEL P5 DATA

Maria Dimitrova

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

Keywords: *Air pollution, Remote sensing, Nitrogen dioxide*

Abstract: *Tolking about air pollution it is important to know backgroun pollution level and level of increase over this level. In case of NO_2 in Bulgaria there are many close positioned sources such as big cities, high rouds and industrial regiones. To be able to measure impack of each one of them, it is reasonable first to obtain background level ant its seasonal and temporal behavior.*

In this paper we show background NO_2 level behavior, measured from monthly Sentinel P5 data.

СЕЗОННО И ВРЕМЕВО ПОВЕДЕНИЕ НА ФОНОВО ЗАМЪРСЯВАНЕ С NO_2 НАД БЪЛГАРИЯ ПО ДАННИ ОТ SENTINEL P5

Мария Димитрова

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

Ключови думи: *атмосферно замърсяване, дистанционни изследвания, азотен диоксид*

Резюме: *Говорейки за замърсяването на въздуха, важно е да знаете нивото на фоново замърсяване и нивото на увеличение над това ниво. В случая на NO_2 в България има много близки източници като големи градове, високи пътища и индустриални райони. За да може да се измери импактът на всеки един от тях, е разумно първо да се получи фоновото ниво и неговото сезонно и временно поведение.*

В тази статия ние показваме поведението на фоновото ниво на NO_2, измерено от месечните данни на Sentinel P5.

Introduction

Nitrogen Dioxide (NO_2) is one of a group of highly reactive gases known as oxides of nitrogen or nitrogen oxides (NOx). Other nitrogen oxides include nitrous acid and nitric acid. NO_2 is used as the indicator for the larger group of nitrogen oxides.

NO_2 primarily gets in the air from the burning of fuel. NO_2 forms from emissions from cars, trucks and buses, power plants, and off-road equipment [1].

Breathing air with a high concentration of NO_2 can irritate airways in the human respiratory system. Such exposures over short periods can aggravate respiratory diseases, particularly asthma, leading to respiratory symptoms (such as coughing, wheezing or difficulty breathing), hospital admissions and visits to emergency rooms. Longer exposures to elevated concentrations of NO_2 may contribute to the development of asthma and potentially increase susceptibility to respiratory infections. People with asthma, as well as children and the elderly are generally at greater risk for the health effects of NO_2.

NO_2 and other Nox interact with water, oxygen and other chemicals in the atmosphere to form acid rain. Acid rain harms sensitive ecosystems such as lakes and forests [1].

Nitrogen Dioxide (NO_2) is a pungent gas that, along with fine airborne particulate matter, contributes to the reddish-brown haze characteristic of smoggy air in California. NO_2 is comprised of

one atom of nitrogen and two atoms of oxygen, and is a gas at ambient temperatures. It has a pungent smell, and is brownish red in color. NO_2 is a member of a family of chemicals comprised of nitrogen and oxygen that are collectively known as nitrogen oxides. The two most prevalent nitrogen oxides are NO_2 and nitric oxide (NO), and the combination is often referred to as NO_X [2].

Satellite data from Tropomi instrument [3] gives us a possibility fo obtain a NO_2 column ones each day above Bulgaria with spatial resolution of 3.5 x 5.5 km. So we can obtain NO_2 pollution sources as well as background value and averaged value for different time periods.

In this work we pay attention on background value of NO_2 becouse this is the only air pollutant, measured from Tropomi, wich shows very large differences in values, so we can clearly separate pollution sources from a clear areas.

Used data and methods

In this work we use monthly averaged data for NO_2 from Sentinel P5 satellite data. Data source is TEMIS portal [4]. For some visualization we use NASA worldview portal too [5].

Monthly data for NO2 from TEMIS are in TOMS format – with 0.125 degree steps between pixels [4] and in units [$x10^{-15}$ molecules/sm^2].

To obtain background value, we sellect areas with no antropogenic NO2 pollution sources – as big cities, industrial areas and so on. Then values from sellected areas are averaged again.

On Fig. 1 we show an exmple of dayly and monthly NO_2 picture and show one of sellected areas for bachground value calculating.

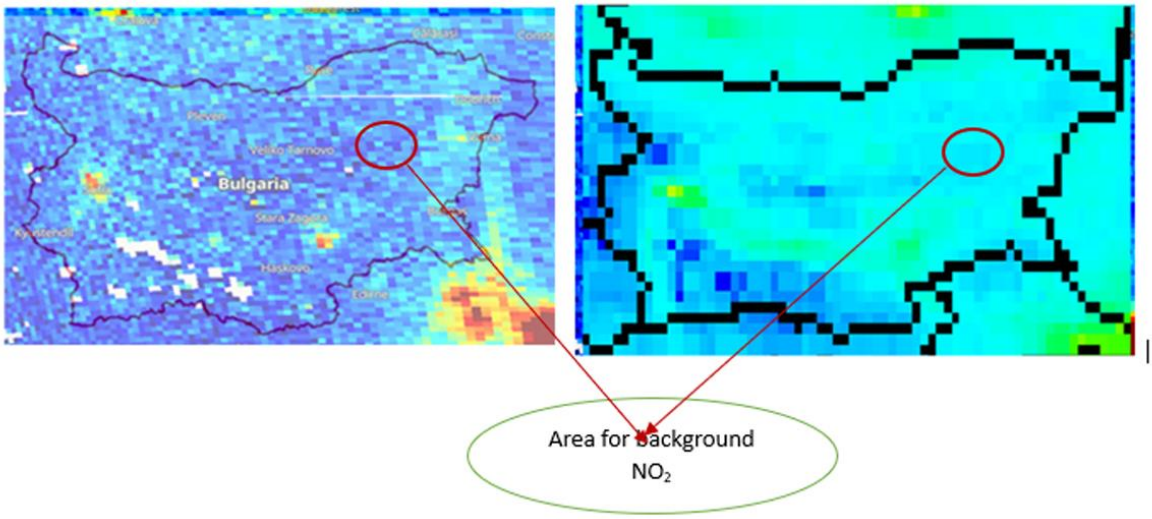


Fig. 1. An example for area for calculating background NO_2 air pollution. On the left- dayly NO_2 [5]. On the right — manthly NO_2 [4]

Results

On Fig. 2 we show obtained background values for each month for the period May 2018 till August 2023, as well as averaged seasonal behavior.

As we see from tha graphics, background NO2 value shows clear maximum at the end of the year — in December, and a minimum value in the middle of the year — May, June.

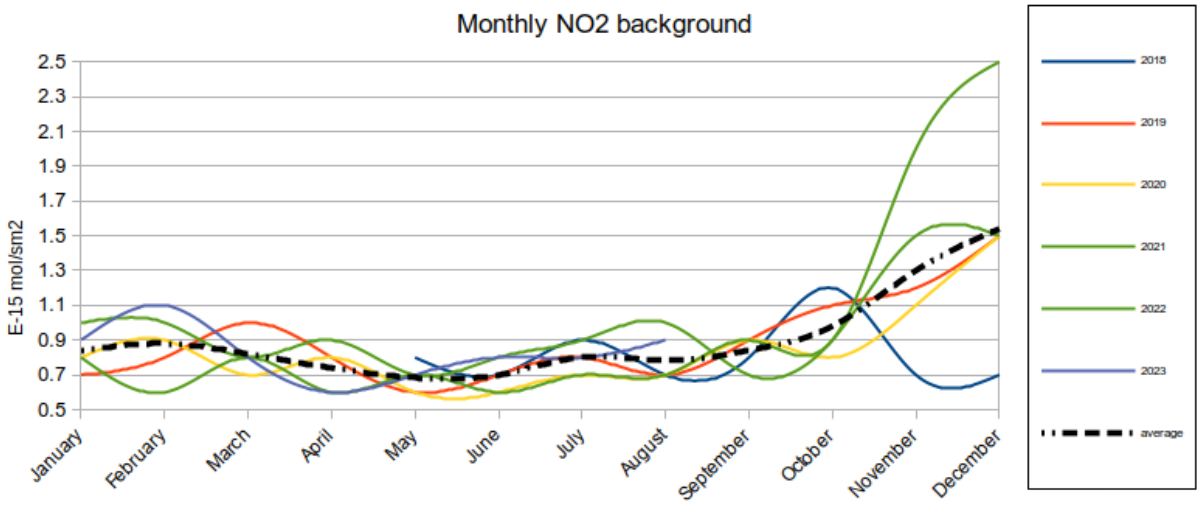


Fig. 2. Seasonal background NO2 behavior

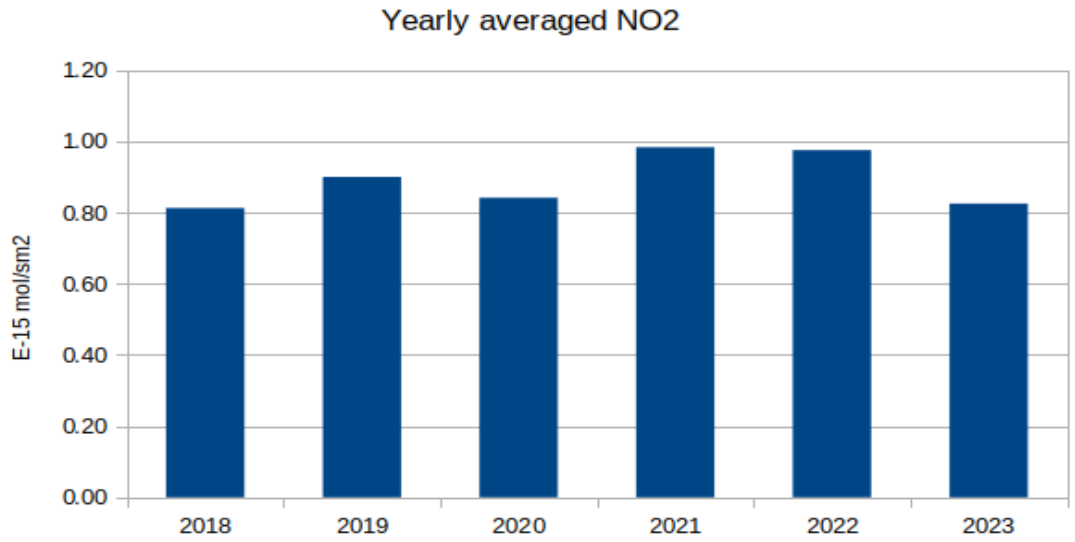


Fig. 3. Temporal background NO_2 behavior

As we see from the fig. 3, there are no evidence for any signifficant temporal tendence during last six years.

Yearly background values varies between 0.81 and 0.98 $x10^{-15}$ malecules/sm^2.

Discussions and conclusion

Seasonal background NO_2 value shous maximum in Decenber almost every year and a minimum at May, June.

We must point that value for the 2023 is not comparable with others, becouse there we average values only for first eight monts. If we assume that monthly values will be simmilar with previous years and larger then in previous months, we can say, that NO^2 background value shows temporal increase.

Refferences:

1. United State Environmental Protection Agency – EPA - https://www.epa.gov/.
2. California Air Resources Board - https://ww2.arb.ca.gov/.
3. Sentinel 5P data HUB - https://s5phub.copernicus.eu/dhus/#/home.
4. Tropospheric Emission Monitoring Internet Servise – TEMIS - https://www.temis.nl/index.php.
5. NASA Worldview - https://worldview.earthdata.nasa.gov/.

S E S 2 0 2 3
Nineteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
24 – 26 October 2023, Sofia, Bulgaria

EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATION, CASE STUDY IN BULGARIA WITHIN DRAGON-5 PROGRAM

Ilina Kamenova[1], Milen Chanev[1], Petar Dimitrov[1], Luchezar Filchev[1], Georgi Jelev[1], Qinghan Dong[2], Liang Zhu[3]

[1]Space research and technology institute – Bulgarian academy of sciences
[2]Department of Remote Sensing, Flemish Institute of Technological Research – Mol, Belgium
[3]State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences – Beijing, China
e-mail: ilina.kamenova@space.bas.bg

Keywords: *Evapotranspiration, Sen-ET plugin, SNAP platform, Dragon-5 Cooperation, ESA*

Abstract: *This publication comprises some results from Dragon-5 project "ID.57160: Monitoring Water Productivity In Crop Production Areas From Food Security Perspectives". Accurately measuring the amount of water (e.g., evapotranspiration—ET) and energy (e.g., of latent and sensible heat) that are exchanged at the Earth's surface is crucial for various applications in fields such as meteorology, climatology, hydrology, and agronomy. Having reliable estimations of these fluxes, particularly of ET, is considered essential for effective natural resource management. The distributed ET models are important tool for policy planning and decision-making in terms of calculating the water productivity in agricultural crops. However, the model calibration and validation present a crucial challenging task. The Sentinel-2 and Sentinel-3 satellite constellation contains most of the spatial, temporal and spectral characteristics required for accurate, field-scale actual evapotranspiration (ET) estimation. The one remaining major challenge is the spatial scale mismatch between the thermal-infrared observations acquired by the Sentinel-3 satellites at around 1 km resolution and the multispectral shortwave observations acquired by the Sentinel-2 satellite at around 20 m resolution. The Sen-ET SNAP Plugin bridges this gap by improving the spatial resolution of the thermal images. We have implemented the model for Purvomaj municipality study area in Bulgaria.*

ОЦЕНКА НА ЕВАПОТРАНСПИРАЦИЯТА НА ТЕРИТОРИЯ В БЪЛГАРИЯ, ИЗСЛЕДВАНЕ В РАМКИТЕ НА ПРОГРАМАТА DRAGON-5

Илина Каменова[1], Милен Чанев[1], Петър Димитров[1], Лъчезар Филчев[1], Георги Желев[1], Чинхан Донг[2], Лянг Чу[3]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]Департамент по дистанционни изслевания, Фламандски институт за технологични изследвания – Мол, Белгия
[3]Държавна лаборатория за дистанционни изследвания, Институт за научни изследвания по аерокосмическа информация, Китайска академия на науките – Пекин, Китай
e-mail: ilina.kamenova@space.bas.bg

Ключови думи: *Евапотранспирация, Sen-ET модул, SNAP, Dragon-5, ЕКА*

Резюме: *Тази публикация включва резултати от проекта Dragon-5 „ID.57160: Мониторинг на водната продуктивност в области с отглеждане на селскостопански култури с оглед повишаване на продоволствена сигурност". Точното измерване на количеството вода (напр., евапотранспирация - ET) и енергия (напр., скрита топлина на изпарение и турбулентен топлинен поток), които се обменят на повърхността на Земята, е от съществено значение за различни приложения в области като метеорология, климатология, хидрология и агрономия. За ефективното управление на природните ресурси е важно да има надеждна оценка на тези енергийни потоци и особено на ET. Наличните модели за изчисление на реалната ET са важен инструмент за планиране и за вземане на решения във връзка с изчисляването на водната продуктивност на селскостопанските култури. Калибрирането и валидирането на моделите представляват важна и предизвикателна задача. Сателитните мисии Sentinel-2 и Sentinel-3 имат на борда си инструменти които разполагат с пространствените,*

времевите и спектралните характеристики, необходими за оценка на реалната евапотранспирация (ET) на полета засети със земеделски култури. Все още седи предизвикателството за преодоляване на несъответствието на пространствената разделителна способност между данните от термалният инфрачервен диапазон, получавани от спътниците на мисията Sentinel-3 с пространствена разделителна способност от 1 км, и многоканалните наблюдения, получени от сателитите Sentinel-2 с резолюция около 20 м. Sen-ET SNAP Plugin преодолява това несъответствие, като повишава пространствената разделителна способност на термалните изображения, посредством регресионно моделиране с данните от Sentinel-2. Реализирахме модела за изследваната територия, община Първомай в България.

Introduction

This publication comprises some results from Dragon-5 project "ID.57160:Monitoring Water Productivity In Crop Production Areas From Food Security Perspectives" [1]. Accurate and spatially distributed estimates of evapotranspiration (ET) are increasingly important with the growing global population and economy putting strain on fresh water resources and food supplies [2]. The utility of ET maps has been demonstrated in a variety of applications, ranging from water rights management, through drought and food shortage monitoring, to more efficient use of land and water in agriculture and crop stress assessment [3, 4].

The aim of this study is to calculate and map the ET in Parvomay municipality (Fig. 1), located in the Upper Thracian Lowland, utilizing satellite data from Sentinel-2 and Sentinel 3. This ET map will be used in further steps in the Dragon-5 project, as input data for calculation and analysis of the water productivity on a regional level. For that purpose we have utilized the SenET plugin that has been developed by ESA [5]. The SenET plugin is working with SNAP platform. The Sen-ET SNAP Plugin has a specific module design to improve the spatial resolution of the thermal images from Sentinel 3 SLTR at 1 km to 20 m spatial resolution, using regression models with Sentinel-2 MSI data [6]. We have briefly compared the results achieved from SenET plugin with Landsat L3 Provisional Actual Evapotranspiration. The main objective of this study is to calculate and map the evapotranspiration (ET) in Parvomaj municipality (Bulgaria). To compare results achieved by SenET SNAP plugin and Landsat L3 Provisional Actual Evapotranspiration Product.

Materials and methods

Parvomay Municipality, the study area in Bulgaria, is located in the Upper Thracian Lowland, in the southern part of the country (Fig. 1). The area is dominated by winter wheat, maize and sunflower but many other crops such as rice or vegetables, making the agricultural landscape diverse. The production much depends on irrigation infrastructures which are poorly maintained. The area is characterized by medium to high baseline water stress which affects farming.

The Sen-ET plugin relies on data sources from Copernicus. Its main inputs are derived from optical data collected by the Sentinel-2 MSI sensor, thermal data obtained from the Sentinel-3 SLSTR sensor, and meteorological data from the ERA-5 dataset. The Sentinel-2 MSI optical data is used to characterize the biophysical state of the land surface at 20 m resolution. The MSI data is also be used to sharpen the lower resolution SLSTR data (Fig. 2). Since the land surface temperature (LST) is acquired at around 1 km spatial resolution, it is sharpened to 20 m using another Sen-ET operator before being used within the evapotranspiration (ET) model.

The land-surface energy fluxes are always modelled at the time of Sentinel-3 overpass. This is because changes in vegetation are not as dynamic as the changes in LST. The meteorological data is essential for establishing the atmospheric conditions that drive factors like air temperature and modulate elements such as wind speed, affecting the energy exchange between the surface and the atmosphere. This meteorological information is sourced from fields within the ECMWF ERA-5 reanalysis dataset. The main output of the Sen-ET plugin are the four modelled instantaneous land-surface energy fluxes: sensible heat flux, latent heat flux, ground heat flux and net radiation. The fluxes represent conditions at the time of Sentinel-3 overpass and are in Wm^{-2}. The latent heat flux is converted to daily ET, in mm/day, representing the total daily ET on the day of Sentinel-3 overpass (Fig. 3). We have briefly compared the results achieved from SenET plugin with Landsat L3 Provisional Actual Evapotranspiration (Fig. 4).

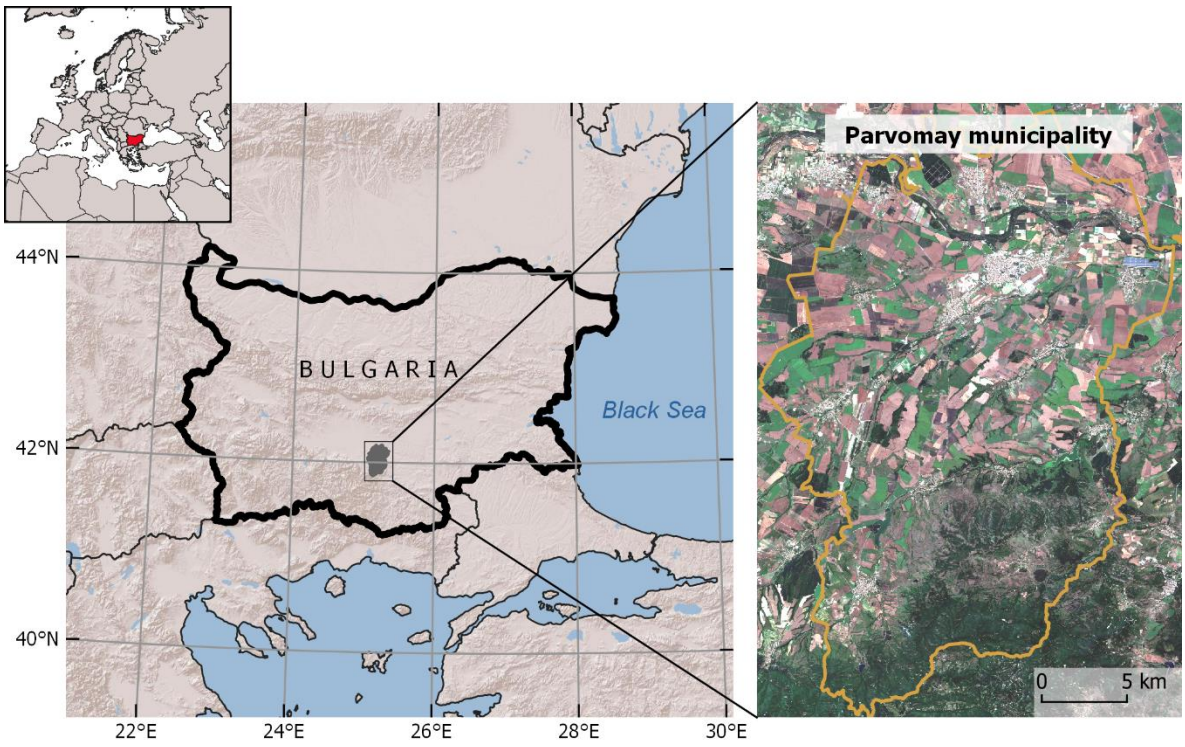


Fig. 1. Parvomay Municipality, the study area in Bulgaria, is located in the Upper Thracian Lowland, in the southern part of the country

Results

In Fig. 2, we can observe an RGB image from the Sentinel-2 MSI sensor and a thermal image from the the Sentinel-3 SLSTR sensor captured over the same area. Additionally, the image presents the result of a model that enhances the thermal channel. This model plays a critical role as it significantly improves the spatial resolution of thermal images, from 300 meters to 20 meters. In the zoomed-in section (Fig. 2), details like land parcels are visible. Thermal images are of utmost importance as they provide essential information for evapotranspiration calculations in SenET plugin.

The calculations for evapotranspiration are conducted on a specific date when Sentinel-3 SLSTR data is available. This approach is particularly crucial because the temperature dynamics are a vital factor in the calculations. These dynamics can vary significantly, in comparison to the dynamics of vegetation for which Sentinel-2 MSI data is used. It's important to note that images from the two satellite systems can be offset by up to 10 days in the calculations While images from Sentinel-3 are available daily, cloud cover can pose challenges for the calculations, and a daily time series cannot always be relied upon. In Fig. 3, we can see a map of daily evapotranspiration for the studied area as of June 30, 2021. This map represents the final result of the SenET plugin.

Within the scope of the study, a comparison was made between the results obtained with the Sen-ET plugin and the Landsat L3 Provisional Actual Evapotranspiration product provided by the USGS. Fig. 4 presents a graph comparing these two types of results. This comparative analysis was performed within a specific agricultural field sown with winter wheat. The time series includes data from all available cloud-free images from the Sentinels and Landsat satellites. Both sensors indicate that evapotranspiration is lowest in the autumn when the wheat is in its initial growth stage. During this period, the plants are relatively small, and the weather is cooler, resulting in lower evaporation rates. This general pattern of reduced evapotranspiration in the autumn is evident with both sensor systems and aligns with observations of the plant growth cycle.

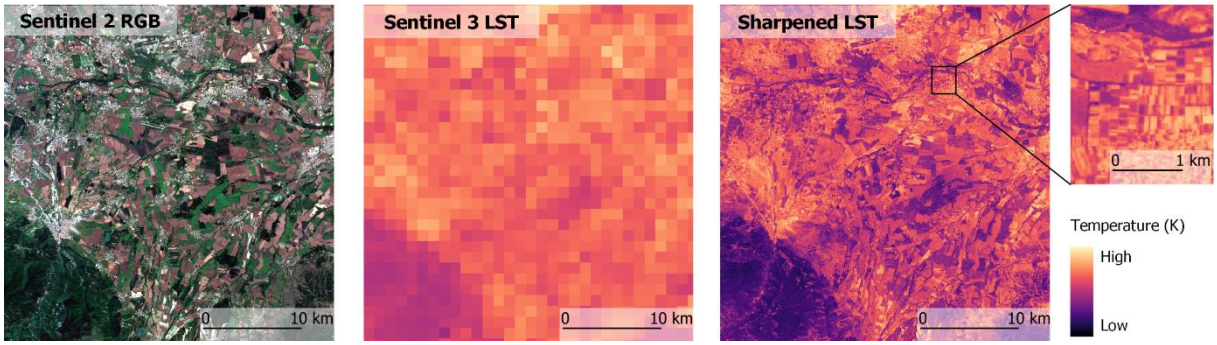


Fig. 2. Images used in the sharpening process of SLSTR data and its results

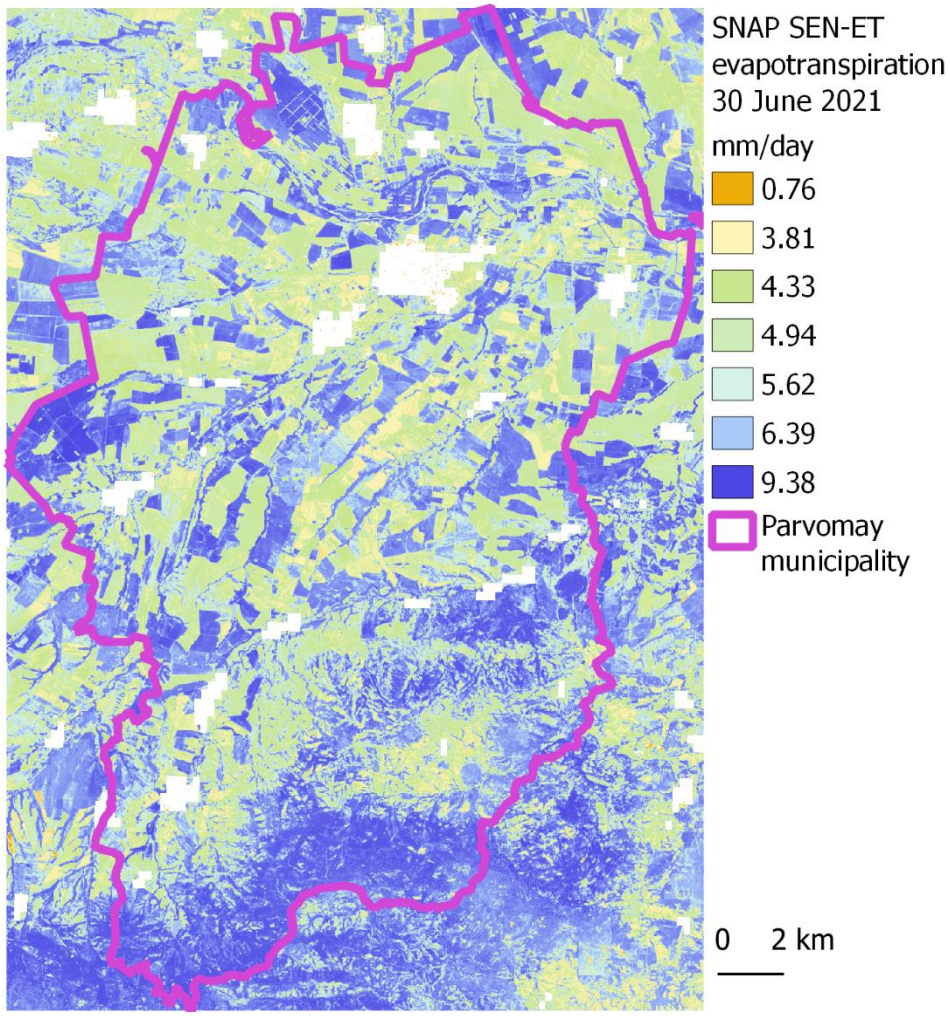


Fig. 3. Evapotranspiration map, 30 June 2021

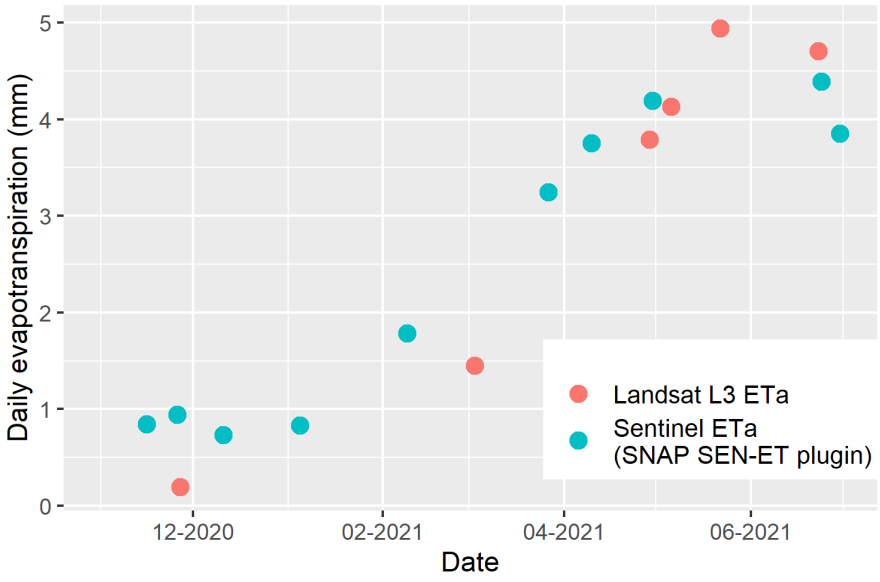


Fig. 4. Comparison of daily ET in a winter wheat plot between Landsat L3ETa and Sentinel ETa

Conclusions

For the Bulgarian agronomical conditions, the SenET plugin gives results with very good spatial resolution, allowing registering ET variation even in small agnomical fields in highly fragmented landscape. Another advantage is the high temporal resolution of Sentinal 3 imagery for monitoring purposes. The results achieved by the SenET plugin are superior to Landsat product in terms of both spatial and temporal resolution. Nevertheless, there is potential for Landsat data to complement Sentinel data where gaps exist. Further research is needed to explore the harmonization and synergies between these two modeling approaches. One drawback to note is that the SenET plugin is computationally intensive and lacks an automated workflow, requiring multiple manual steps and interactions. To address this limitation, our partner VITO is developing a Python module that implements the SenET approach with the aim of automating the entire process.

Acknowledgements

This study was carried out within the Dragon 5 project ID.57160: Monitoring water productivity in crop production areas from food security perspectives. This work was supported under contract № 4000137730/22/I-NB with the European Space Agency as part of the program “Support to European Senior & Young Scientists within the Dragon 5 Cooperation“. We want also to thank the European Space Agency (ESA) for providing free access to Sentinels data. We are appreciative of the United States Geological Survey (USGS) for their valuable contribution of free Landsat L3ETa products. These contributions have enriched our research and fostered meaningful connections in the scientific community.

References:

1. ESA, 2023. https://dragon5.esa.int/.
2. Anderson, M.C., R.G. Allen, A. Mors, W.P. Kustas. Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources. Remote Sensing of Environment, 2012, Vol. 122, pp. 50–65.
3. Guzinski, R., H. Nieto. Evaluating the feasibility of using Sentinel-2 and Sentinel-3 satellites for high-resolution evapotranspiration estimations. Remote Sensing of Environment, 2019, Vol. 221, pp. 157–172.
4. Guzinski, R., H. Nieto, I. Sandholtand, G. Karamitilios. Modelling High-Resolution Actual Evapotranspiration through Sentinel-2 and Sentinel-3 Data Fusion. Remote Sensing, 2020, Vol. 12(9), 1433.
5. DHI Gras. User manual for SenET SNAP plugin, V1.1.0, 2020.
6. Gao, F., P. Kustas, M.C. Anderson. A Data Mining approach for Sharpening thermal satellite imagery over land. Remote Sensing, 2012, Vol. 4(11), pp. 3287–3319.

СРАВНЕНИЕ НА КЛАСИФИКАЦИОННИ АЛГОРИТМИ ЗА ИДЕНТИФИЦИРАНЕ И КАРТОГРАФИРАНЕ НА ПОЛЕТА СЪС ЗИМНА ПШЕНИЦА ПО ДАННИ ОТ САТЕЛИТА RAPIDEYE

Илина Каменова

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

Ключови думи: *класификационни алгоритми, метод на опорните вектори, метод на гора от дървета на решенията, метод на максималното правдоподобие, зимна пшеница*

Резюме: *Наблюдението на земеделските култури е от жизнено важно значение за ефективното производството на храни и устойчивото развитие на земеделският сектор. Основа цел на настоящото изследване е да се оценят възможностите за разпознаване на посеви от зимна пшеница в различни периоди на вегетационния сезон чрез класифициране на сателитни изображения от RapidEye и техни продукти по различни класификационни методи. В изследването са използвани класификационните алгоритми: Метод на опорните вектори (SVM), Метод на случайна гора на решенията (RF) и Метод на максималното правдоподобие (MXL). Тези методи са приложени върху сателитни многоканални изображения заснети от сателитите RapidEye, за тестови район в близост до квартал Требич, София. Заснети са 5 изображения за периода 31.03.2015 - 14.06.2015 г. Тези изображения са класифицирани поотделно и като разновремеви изображения. Резултатите показват, че най-висока точност и за трите класификационни алгоритми се постига при разновремеви изображения, включващи изображения от всички налични дати: SVM(91.4%); RF(91.14%); MXL(90.03%).*

COMPARISON OF CLASSIFICATION METHODS FOR IDENTIFICATION AND MAPPING OF WINTER WHEAT FIELDS USING RAPIDEYE SATELLITE DATA

Ilina Kamenova

Space research and technology institute – Bulgarian academy of sciences
e-mail: ilina.kamenova@space.bas.bg

Keywords: *classification methods, support vector machines, random forest, maximum likelihood method, winter wheat*

Abstract: *The monitoring of agricultural crops is of vital importance for efficient food production and the sustainable development of the agricultural sector. The primary objective of this study is to assess the possibilities of identifying winter wheat crops at different stages of the growing season through the classification of satellite images from RapidEye and their products using various classification methods. The study employed the following classification algorithms: Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF), and Maximum Likelihood (MXL). These methods were applied to satellite images acquired by RapidEye satellites in a test area near the Trebich district, Sofia. Five images were taken between March 31, 2015, and June 14, 2015. These images were classified both individually and as temporal stacks. The results indicate that the highest accuracy for all three classification algorithms is achieved when using temporal stack that include images from all available dates: SVM (91.4%); RF (91.14%); MXL (90.03%).*

Въведение

В България, зимната пшеница е основна зърнено-житна култура и широко разпространено селскостопанско растение, с площ от около 1.2 милиона декара. Зимната пшеница се отглежда основно по конвенционални методи с използване на азотни торове, хербициди и други средства, за да се гарантират по-високи добиви. Поради значителното

въздействие върху околната среда, което земеделието и по-специално конвенционалното отглеждане на пшеница оказват, има нужда да се разработят ефективни методи за наблюдение на посевите от зимна пшеница [1]. В България информация за разпределението и обхвата на пшеничните посеви се извлича от „Интегрирана система за администриране и контрол (ИСАК)“. Тази система е основа за управлението на директните плащания за всички държави-членки на ЕС. Въпреки наличната информация от ИСАК, е важно да се въведат други независими източници на информация, особено в началото на вегетационния сезон на зимната пшеница, когато данните от ИСАК могат да бъдат непълни, тъй като все още не всички парцели са декларирани от фермерите. Данните за състоянието на пшеничните посеви в България на национално равнище не са своевременни, достатъчно надеждни и не обхващат големи площи. Важно е да се разработи метод, който може да генерира карти на пространственото разпределение на посевите от зимна пшеница. Тези карти могат да бъдат използвани за по-ефективната обработка на селскостопанските земи и съответно за намаляване на екологичният натиск от земеделските практики [2].

Множество изследвания подчертават ползите от използването на многоканални сателитни данни, включително за картографиране на земи, заети от селскостопански култури [3, 4]. Методите за дистанционно заснемане предоставят добра възможност за моделиране на биофизични параметри на културите с висока пространствена и времева резолюция. Настоящата статия разглежда приложението на сателитни изображения с фокус върху разпределение на посевите. Целта на изследването е да се идентифицира и картографира пространственото разпространение на посеви от зимна пшеница, базирано на многоканални сателитни изображения то сателита RapidEye.

За постигане на тази цел се налага решаването на следните научни задачи:

1. Оценка на възможностите за разпознаване на посеви от зимна пшеница през различни периоди на вегетационния сезон, чрез класификация на сателитни изображения от сателита Rapid Eye и техните продукти с използване на три метода за класификация: Метод на опорните вектори (от анг. support vector machines, SVM), метод на гора от дървета на решенията (от анг. random forest, RF) и метода на максималното правдоподобие (от анг. maximum likelihood classification, MXL).

2. Създаване на карта на полетата със зимна пшеница на базата на най-ефективния метод за класификация.

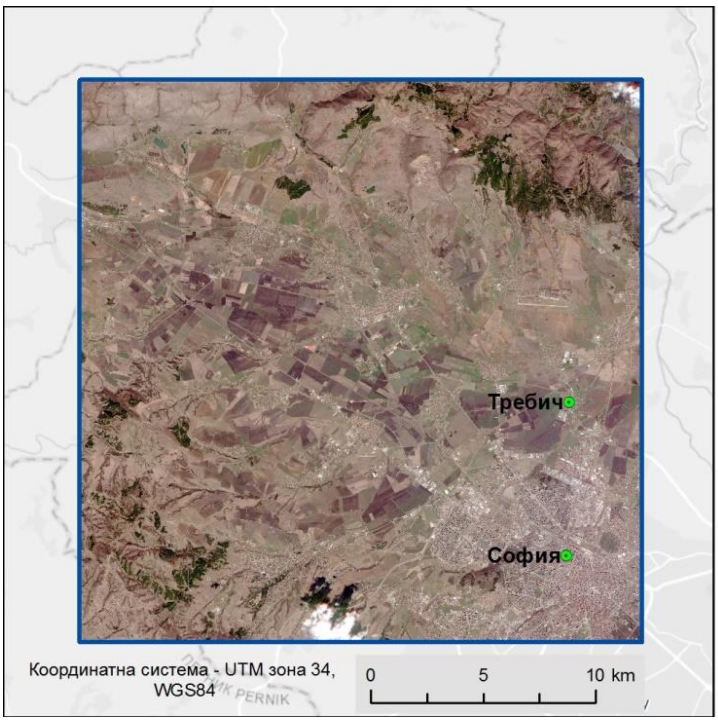
Материали и методи

Сателитни данни

Тестовият район „Требич“ (Фигура 1) обхваща част от Софийската котловина, заема части от град София и части от ограждащите я планини. Този район е част от аерокосмически полигон на територията на България, на чиято територия са проведени редица подспътникови експерименти [5]. Тестовият район обхваща територия припокриваща се с една сцена от сателита RapidEye (със син цвят на Фигура 1). За изследванията в тестови район „Требич“ са ползвани сателитни данни от RapidEye. Съзвездието RapidEye се състои от 5 сателита, всеки от които носи на борда си инструмента JSS-56 (Jena-Optronik Spaceborne Scanner-56). Този сензор събира информация в 5 спектрални канала, с пространствена разделителна способност 5 m. Заснети са седем изображения за нуждите на изследването (Таблица 1).

Таблица 1. Източник на сателитни данни и дата на заснемане

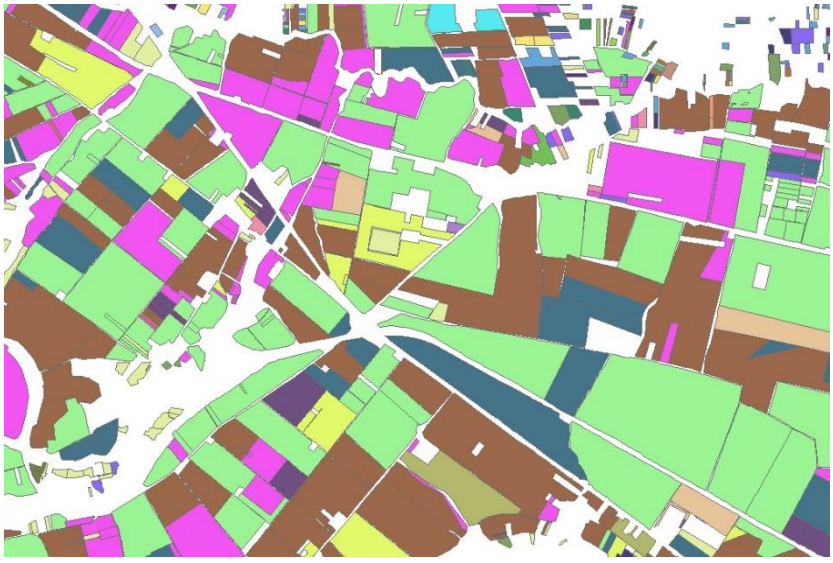
Източник на сателитни данни	Дата на заснемане
RapidEye - 4	31 март 2015
RapidEye - 5	20 април 2015
RapidEye - 3	12 май 2015
RapidEye - 4	18 май 2015
RapidEye - 2	21 юни 2015



Фиг. 1. Тестови район "Требич"

Референтни данни

За обучение на класификационните алгоритми са необходими обучаващи множества. За нуждите на настоящото изследване обучаващи данни са набавени от „Интегрирана система за администриране и контрол (ИСАК)“ (Фигура 2). Той е генериран и подържан от Министерство на земеделието. ИСАК съдържа и информация за границите на земеделските парцели (обработваеми полета, пасища и трайни насаждения), придружена от информация за типа култура или земно покритие във всеки парцел, съгласно декларациите подадени от фермерите. Тази база данни се поддържа на национално ниво и е инструмент за контрол на субсидиите, в рамките на Общата селскостопанска политика (ОСП) на Европейският съюз.



Фиг. 2. Векторен слой от системата ИСАК с данни за земеделските парцели

Методи

Разпознаването на посевите и тяхното наблюдение е от голяма важност, особено в ранните фенологични фази на развитие на пшеницата, тъй като тогава най-ефективно и навременно могат да се вземат решения при земеделските практики и да се намалят загуби от

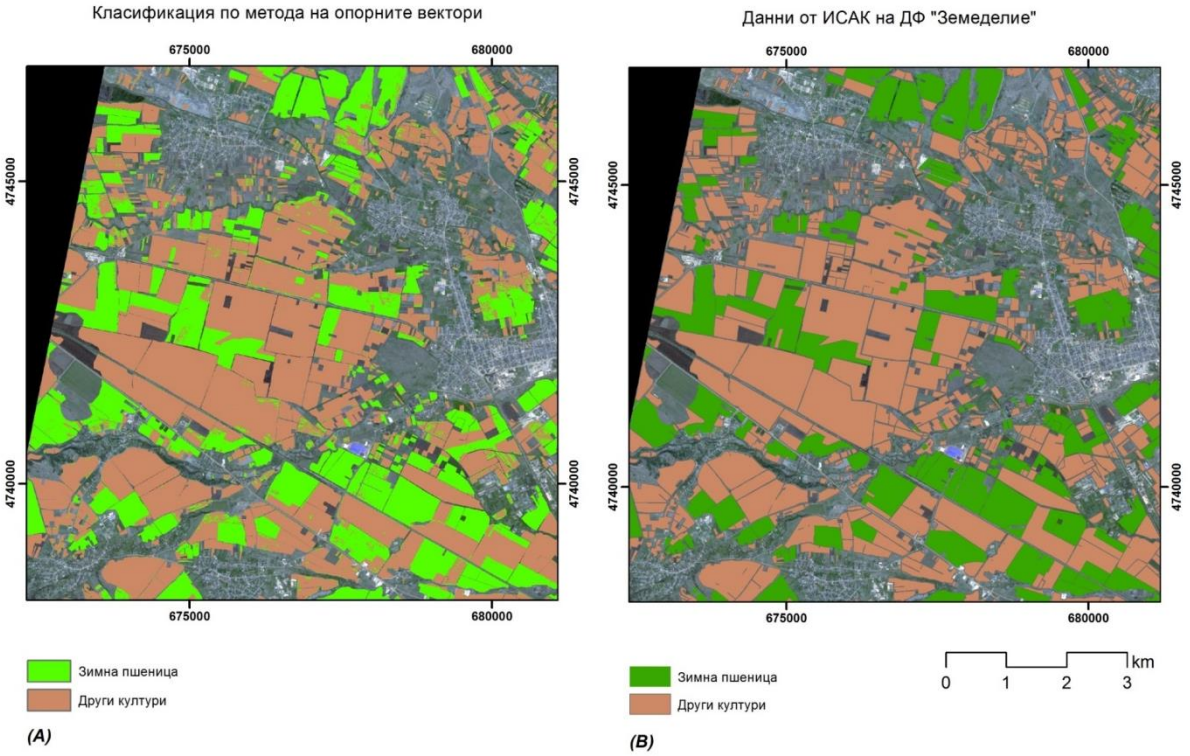
евентуални нарушения на посева. За да се оценят възможностите за разпознаване на посеви от зимна пшеница в различни периоди на вегетационният сезон, посредством класификации на сателитни изображения от RapidEye са приложени и оценени следните класифициращи алгоритми: метод на опорните вектори (SVM), метод на гора от дървета на решенията (RF) и метод на максималното правдоподобие (MXL). И трите класификационни метода са използвани за класифициране и картографиране на полетата със зимна пшеница и в двата района на изследване. За картографиране на площите заети със зимна пшеница в тестови район „Требич“ са използвани пет изображения от сателита RapidEye заснети през периода март - юни 2015 г. Съставени са и три разновремеви изображения, включващи данните от няколко дати на заснемане (Таблица 2).

Резултати

Резултатите от класификациите са обобщени в Таблица 2. Постигнатите общи точности след валидация на класификациите имат обща тенденция за повишаване с напредване на сезона. Между трите класификационни алгоритма има системна разлика, с най-висока точност са класификациите по метода SVM, след това е RF и с най-ниска точност се представя MXL. Въпреки това, разликите не са драстични и не може да бъде изведен метод, който значително да превъзхожда останалите. Например, класификацията на изображението от 31.03.2015 г., постига обща точност от 79.9% за SVM, а изображението от 14.06.2015 г. има обща точност от 84.01% за SVM. При другите класификационни алгоритми, RF и MXL, резултатите показват същата тенденция. При разновремевите изображения се наблюдава очакваната тенденция с добавянето на данни от повече дати точността да се повишава, като най-високата постигната точност бива тази за разновременно изображение, включващо данни от 4 дати: 31.03.2015 г., 20.04.2015 г., 21.05.2015 г. и 14.06.2015 г. Постигнатата обща точност по метода SVM е от 91.4% и е най-висока измежду трите класификационни алгоритми. За сравнение, разновремевото изображение включващо данни от 2 дати от началото на вегетационният сезон (31.03.2015 г. и 20.04.2015 г.) е класифицирано с обща точност от 82.3%.

Таблица 2. Обща точност, kappa коефициент (*kappa*) и F1 точност за класа “Зимна пшеница” (F1), за трите класификационни метода

	Метод на опорните вектори (SVM)			Метод на гора от дървета на решенията (RF)			Метод на максималното правдоподобие (MXL)		
Дати на заснемане	Обща точност, %	*kappa*, %	F1, %	Обща точност, %	*kappa*, %	F1, %	Обща точност, %	kappa, %	F1, %
31.03.2015	79.9	54.59	68.95	78.25	52.07	67.63	71.46	39.38	59.8
20.04.2015	78.65	50.26	65.43	75.74	46.5	63.87	71.95	33.58	53.43
18.05.2015	82.65	61.53	73.95	83.73	63.05	74.66	78.93	53.7	68.78
21.05.2015	82.32	60.54	73.19	83.26	61.88	73.82	76.79	50.9	67.49
14.06.2015	84.01	63.43	74.83	82.67	60.78	73.16	82.86	60.91	73.14
31.03.2015 20.04.2015	82.3	59.93	72.57	81.21	58.01	71.45	77.03	48.09	64.5
31.03.2015 20.04.2015 21.05.2015	88.86	73.93	81.84	88.65	73.48	81.54	85.82	67.59	77.7
31.03.2015 20.04.2015 21.05.2015 14.06.2015	91.4	79.52	85.59	91.14	78.82	85.07	90.03	76.35	83.4



Фиг. 3. Извадка от карта на посевите със зимна пшеница в район „Требич“, класифицирани по метода на опорните вектори от разновремево изображение; (B) Извадка от карта на посевите със зимна пшеница в район „Требич“ по данни от "Интегрирана система за администриране и контрол" на ДФ "Земеделие" 2015

Заключение

Трите тествани класификационни метода показват сходни точности. Макар че не може да бъде откроен само един от тях се забелязва, че непараметричните методи RF и SVM като правило превъзхождат параметричния MXL. С оглед на този резултат, както и на факта, че методите RF и SVM на практика вече са широко въведени в областта на дистанционните изследвания може да се направи изводът, че тези методи следва да се предпочитат пред класическия MXL за решаване на задачи като разглежданата тук. Методът на максималното правдоподобие дава приемлив резултат в тестовия район, но предвид изискванията към разпределението на данните които поставя трябва да се прилага внимателно в други райони, където доминиращите култури и фенологията на посевите са различни от този тестови район. Използването на разновремеви изображения подобрява резултатите от класификацията, като обикновено повишението на точността е около 10%. Това означава, че имайки предвид допълнителния обем данни, който трябва да бъде съхраняван и/или обработван, класификационният подход използващ разновремеви изображения може не винаги да е оправдан. От друга страна недостатък на подхода за картографиране на посевите от зимна пшеница разчитащ на едно конкретно изображение е, че е необходимо да е налично подходящо изображение без облачна покривка над интересуващия ни район. Когато този район е голям това не винаги е възможно. Може да се наложи облаците да бъдат маскирани (чрез автоматична процедура или ръчно) и част от пикселите да бъдат обозначени като райони с липса на данни, което означава, че информацията в картата ще е непълна. Друг проблем се появява, когато интересуващият ни район не се покрива изцяло от дадено изображение и е необходимо мозайкиране на две или повече изображения заснети в различни дати, за да бъде картографиран целият район. Резултатите получени в настоящото изследване могат да бъдат подобрени в бъдеще усъвършенствайки приложените методи. От особено значение е по-доброто разграничаване на зимната пшеница от останалите зимни култури, като зимната рапица. В литературата има примери в това отношение, основаващи се на използването на радарни данни [6], на разликите в отражението в червения и зеления канал между двете култури в определени фенофази [7] и др.

Благодарности

Авторът изказва благодарности на държавен фонд „Земеделие“ за предоставените данни от системата ИСАК и на Европейска Космическа Агенция (ЕКА), за безвъзмездното заснемане на изображенията с RapidEye. Благодаря на научния си ръководител доц. д-р Петър Димитров за менторството и подкрепата.

Литература:

1. Robert, P. C. Precision agriculture: A challenge for crop nutrition management. Plant and Soil, 2002, Vol. 247, Issue 1, pp. 143–149.
2. Samaniego, L., K. Schulz. Supervised Classification of Agricultural Land Cover Using a Modified k-NN Technique (MNN) and Landsat Remote Sensing Imagery. Remote Sensing, 2009, Vol. 1, pp. 875–895.
3. Jin, Z., G. Azzari, C. You, S. Di Tommaso , S. Aston, M. Burke,D.B. Lobell. Smallholder maize area and yield mapping at national scales with Google Earth Engine. Remote Sensing of Environment, 2019, Vol. 228, pp. 115–128.
4. Phiri, D., M. Simwanda, S. Salekin, V. R. Nyirenda, Y. Murayama, M. Ranagalage. Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. Remote Sensing, 2020, Vol. 12(14), 2291.
5. Руменина, Е., Г. Желев . Развитие на дистанционните изследвания, провеждани на аерокосмическите полигони в България. Proceedings of Sixteenth international scientific conference SES 2020, pp. 187–206.
6. Dong, J., Y. Fu, J. Wang, H. Tian, S. Fu, Z. Niu, W. Han, Y. Zheng, J. Huang, W. Yuan. Early-season mapping of winter wheat in China based on Landsat and Sentinel images. Earth System Science Data, 2020, Vol. 12(4), pp. 3081–3095.
7. Yang, G., W. Yu, X. Yao, H. Zheng, Q. Cao, Y. Zhu, W. Cao, T. Cheng. AGTOC: A novel approach to winter wheat mapping by automatic generation of training samples and one-class classification on Google Earth Engine. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2021, Vol. 102, 102446.

ИЗПОЛЗВАНЕТО НА ИНДЕКСИ ЗА МОНИТОРИНГ НА ПЛАВАЩИТЕ ТРЪСТИКОВИ ОСТРОВИ В ЕЗЕРОТО СРЕБЪРНА ПО ДАННИ ОТ SENTINEL 2

Ива Иванова, Наталия Станкова, Теменужка Спасова

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

Ключови думи: *спътникови данни,влажна зона, плаващи тръстикови острови, индекси*

Резюме: *Мониторингът и инвентаризацията на влажните зони са важни за управлението на техните ресурси и запазването им като устойчиви местообитания за редки и световно застрашени видове. Изследванията в работата са свързани със приложението на индекс класификация за мониторинг на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна. Плаващите тръстикови острови имат изключително важно значение като местообитания на световно застрашени видове птици. Те са уникални за Европа местообитания, представени единствено в езерото Сребърна и Делтата на р. Дунав. За извършване на мониторинга на местообитанията се използва 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 целите на изследването са използвани спътникови данни от Sentinel 2 A/B (Коперникус, ЕКА) с помощта на които са получени резултатите за динамиката на растителността върху плаващите тръстикови острови в езерото.*

INDEX APPLICATION FOR MONITORING OF FLOATING REED ISLANDS OF SREBARNA LAKE, USING SENTINEL 2 DATA

Iva Ivanova, Nataliya Stankova, Temenujka Spasova

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

Keywords: *Satellite data, wetland area, floating reed islands, indices*

Abstract: *Monitoring and inventory of wetland areas are crucial for managing their resources and preserving them as sustainable habitats for rare and globally endangered species. The research in this work is related to the application of classification indices for monitoring the floating reed islands in Lake Srebarna. The floating reed islands play a critical role as habitats for globally endangered bird species, representing unique ecosystems found only in Srebarna Lake and the Danube Delta in Europe. To conduct habitat monitoring, the only opportunity provided is through high-tech methods based on remote sensing from space using sensors with appropriate data recording parameters. For the purposes of this study, satellite data from Sentinel 2 A/B (Copernicus, ESA) were utilized, which yielded results regarding the vegetation dynamics on the floating reed islands in the lake.*

Въведение

Влажните зони са екосистеми, в които водата е основния фактор, от който зависят екологичните условия и свързаните с тях животни и растения. Постепенно обрастването на влажните зони нарушава екологичното равновесие на водните басейни и води до тяхното изчезване. Те съхраняват незаменими и уникални местообитания на редки животински и растителни видове. Спътниковите методи са най – успешни в класификацията и идентификацията на влажните зони, и тяхното разграничаване от другите типове земно покритие. Всички видове влажни зони могат да се изследват чрез използването на дистанционни методи. Една такава влажна зона е езерото Сребърна, което съхранява в себе си уникални типове местообитания – плаващите тръстикови острови, които са обект на настоящето изследване.

Езерото Сребърна е част от Биосферния резерват – „Сребърна“ (прекатегоризиран в поддържан резерват), Рамсарски обект, част от европейската екологична мрежа Натура2000 със защитени зони по Директивата за птиците (2009/147/ЕО) и Директивата за местообитанията (Директива 92/43/ЕИО) и обект от списъка на ЮНЕСКО [1,2].

Настоящето изследване цели да продължи и задълбочи изследванията, за да подпомогне запазването им в бъдеще като едно устойчиво местообитание. Дистанционните методи и средства дават възможност да се изследва екодинамиката на островите за различен период от време. Основна цел на изследването ще бъде насочена към приложение на някои от растителните индекси с цел оценка и мониторинг на състоянието влажната зона на базата на дистанционни аерокосмически методи и данни.

Входни данни и методи

Изследването включва мониторинг на екодинамиката на растителността върху плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна с използването на данни от сателитни изображения във видимия и инфрачервения диапазон. Предложената методика се базира на използването на аерокосмически данни, тъй като с тяхна помощ е възможно да се получи информация за състоянието и динамиката на растителността . Освен това може да се извърши количествена оценка за отделни параметри на растителността, които са свързани с нейното изменение за по-дълги интервали от време.

Използвани са данни от Европейската космическа агенция(ESA). Сателитите от мисията Коперник, “Santinel- 1-A и “Santinel-2-A. “Santinel-1-A (C band с дължина на вълната от ~ 5,6 см) е радар със синтезирана апертура (SAR). В "Sentinel-2-A" инструментът Multi-Spectral Instrument (MSI) регистрира данните в оптични ленти с различни способност [2, 3].

Мониторингът е направен за период от една година от месец април 2022 г., до месец май 2023 г., като са използвани спътникови данни само през вегетационния период на растителността.

Индекс класификации

Методиката включва изчисления на спектрални вегетационни индекси и ортогонализиране на мултиспектрални сателитни данни, включително прилагане на трансформация на Tasseled-Cap (TCT) и изчисляване на индекс, базиран на TCT. За оценка на динамиката на растителността в езерото Сребърна, и по специално върху плаващите тръстикови острови са използвани няколко от най-широко използваните вегетационни индекси, като: нормализираният диференциален растителен индекс (NDVI); модифициран индекс на растителността, коригиран спрямо почвата (MSAVI2); нормализираният воден индекс (NDWI).

NDVI е най-широко използваният спектрален индекс за мониторинг на растителността и оценка на фотосинтетичната активност. NDVI съответства на диференциалния отговор на абсорбцията на хлорофил и отразяването на вътрешния порест мезофилен слой от листата на растенията във видимите червени и NIR области. Установено е, че флуктуациите на NDVI във времето са силно свързани с климатичните вариации и могат да служат като ефективна мярка за промените в растителността, свързани с климата [4,5].

(1) $$\mathrm{NDVI} = \frac{\rho\mathrm{NIR} - \rho\mathrm{RED}}{\rho\mathrm{NIR} + \rho\mathrm{RED}}$$

MSAVI2 е адаптирана версия на коригирания към почвата растителен индекс (SAVI). Разработен е за намаляване на слабостите на NDVI, свързани с неговите неточности, когато се прилага към зони с висока степен на открита почвена повърхност [6]. Този индекс е особено ефективен в райони, които имат различни коефициенти на осветеност на почвата [7].

(2) $$\mathrm{MSAVI2} = \frac{2\mathrm{NIR}+1-\sqrt{(2\mathrm{NIR}+1)^2+8(\mathrm{NIR}-\mathrm{R})}}{2}$$

NDWI (Normalized Difference Water Index) индексът [8] се възползва от диференциалния отговор на NIR и късовълновата инфрачервена (SWIR) отразяваща способност в здрава растителност. Комбинираното използване на двата вълнови диапазона (NIR и SWIR) елиминира вариациите, причинени от вътрешната структура на листата и съдържанието на сухо вещество в листата, повишавайки прецизността при оценката на съдържанието на растителна влага [7,9]. Това е причината NDWI да бъде много добър индикатор за водния стрес на растенията.

(3) $$\mathrm{NDWI} = \frac{\rho\mathrm{NIR} - \rho\mathrm{SWIR}}{\rho\mathrm{NIR} + \rho\mathrm{SWIR}}$$

Ортогонализирана трансформация (TCT), и индекс, получен след прилагането на TCT

Моделът Tasselled Cap Transformation (TCT) [10] за ортогонализиране на сателитни изображения е много ефективен при оценка на процеси, свързани с промени в почвата, растителността и водата. При ортогонализиране се получават три диференцируеми класа (осветеност на почвата, зеленина и влажност), силно чувствителни към малки промени във вегетационния процес. Това дава възможност за по-прецизна класификация и мониторинг на текущото състояние на почвените и растителни компоненти на земната повърхност. Спектралното отражение се определят от моментното състояние на изследвания обект (клетъчна структура и съдържание на вода/хлорофил).

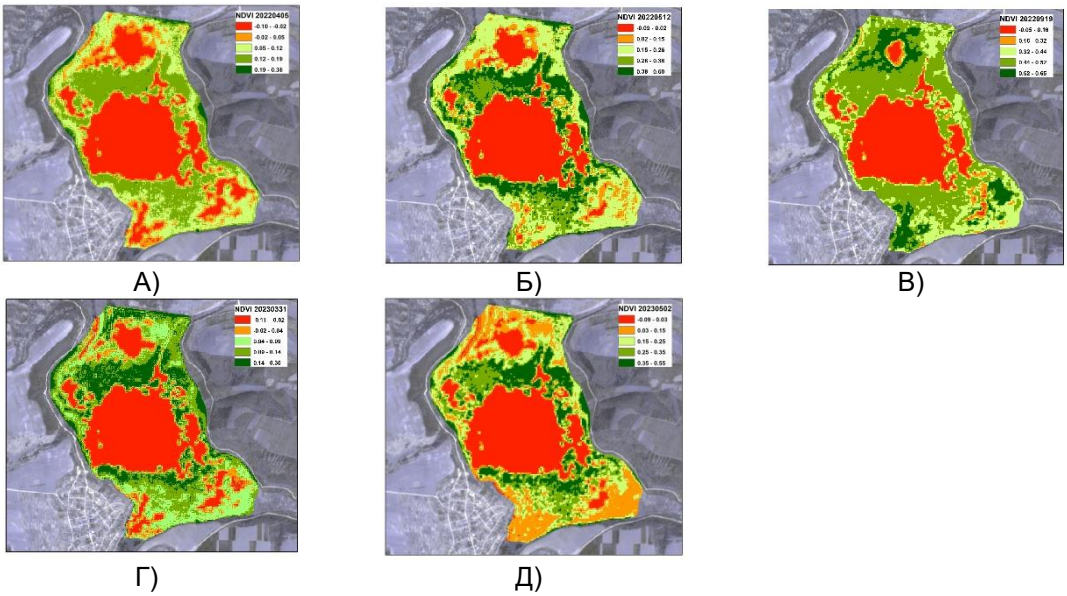
Подходът за дефиниране на NDGI индекс въз основа на ортогонализиране на сателитни изображения с помощта на компонента Greenness се основава на характеристиките на спектралното отражение на растителността. От една страна, информацията, съдържаща се в сателитните изображения, зависи главно от възможностите за спектрална и пространствена разделителна способност на сензора и от спектралните отразяващи характеристики на растенията, определени от тяхното моментно състояние (клетъчна структура и съдържание на вода/хлорофил) [7,12]. NDGI оценява количествено леките положителни и отрицателни стойности на изменение на зелената маса на растителността за даден период от време. NDGI варира от +1 до −1, като NDGI < 0 показва отрицателна промяна, а NDGI > 0 показва положителна промяна [11,12].
NDGI се определя с помощта на следното уравнение:

(4) $$NDGI = \frac{GR_n(t_2) - GR_n(t_1)}{|GR_n(t_2)| + |GR_n(t_1)|}$$

$GRn(t_1)$ и $GRn(t_2)$ са нормализираните стойности на зеления компонент във времеви точки t1 и t2; $|GRn(t_1)|$ и $|GRn(t_2)|$ са абсолютните стойности на същия компонент; E{GRn(t)} е средната стойност на GR(t).

Резултати

На фиг. 1 са показани резултатите от приложението на NDVI класификацията.

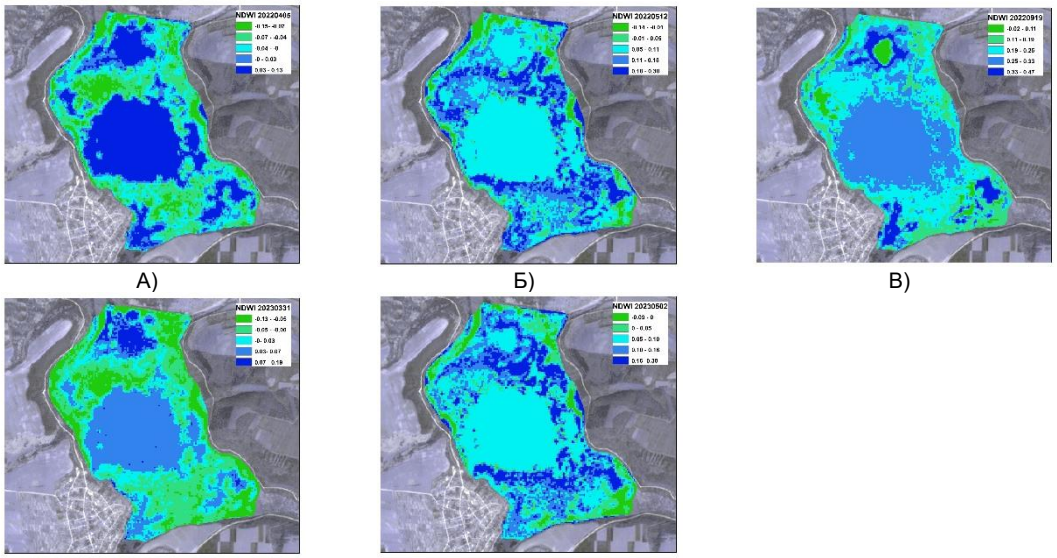


Фиг. 1. Резултати от NDVI класификацията на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна

Изследването на вегетационния индекс върху плаващите тръстикови острови представлява важен аспект от анализа на динамиката на растителната покривка в тези природни екосистеми. По време на периода между май и септември 2019 година се наблюдават най-високи стойности на вегетационния индекс, които достигнаха до 0.60 и 0.65 съответно (фиг. 1Б, В). Този период от годината се характеризира с интензивно развитие на растителността върху тръстиковите острови. Повишените стойности на вегетационния индекс през май и септември

могат да бъдат обяснени със специфичните климатични условия, характерни за тези месеци. През този период на годината температурите се увеличават, а светлинната интензивност на слънчевите лъчи достига максимум.

От друга страна, най-ниските стойности на вегетационния индекс са регистрирани през ранната пролет, по-конкретно през март и април (фиг. 1 А, Г). Това може да се обясни с фактори като ниските температури, ограничената светлинна интензивност и наличието на влажност след зимния период. Тези условия пречат на активния растеж на растенията и обясняват намалената стойност на вегетационния индекс по време на ранната пролет.

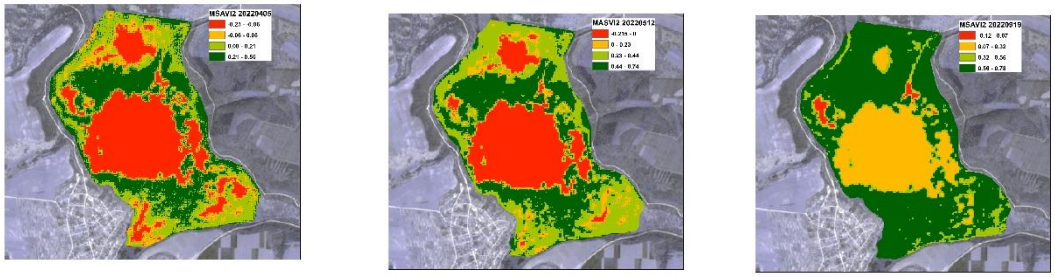


А) Б) В)

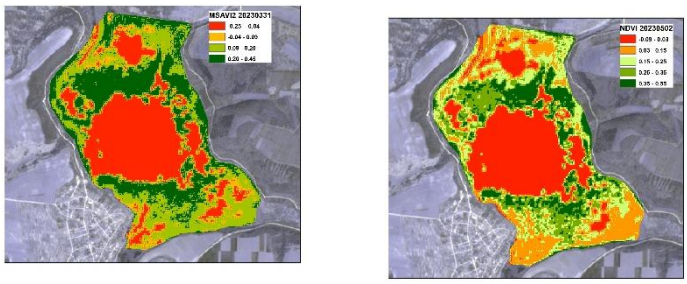
Г) Д)

Фиг. 2. Резултати от NDWI класификацията на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна

NDWI е индекс, който се използва за мониторинг на наличието на вода в растителността и оценка на стреса, на който са подложени растенията поради суша и недостиг на вода. На база на изследвания и анализ на данни, свързани с плаващите тръстикови острови, се наблюдава, че водното съдържание в растителността върху тези острови достига най-високите стойности през месец май през 2022 година (фиг. 2 Б) и през май през 2023 (фиг. 2 Г) година. Този период обикновено съответства на времето, когато сезонът на дъждовете е на върхът си, и земята и растенията получават достатъчно влага. От друга страна, най-ниските стойности на водното съдържание се наблюдават през месеците април 2022 година и март 2023 година (фиг. 2 А, Г). Този период вероятно отразява сезона на по-ниски дъждове или по-големи изпарения, което води до намаляване на влажността в почвата и растителността. През месец септември 2022 година (фиг. 2 В) се наблюдава средно съдържание на вода. Този период може да бъде период на преход между сезоните и да отразява нормалните колебания във водните ресурси и в растителността на плаващите тръстикови острови.



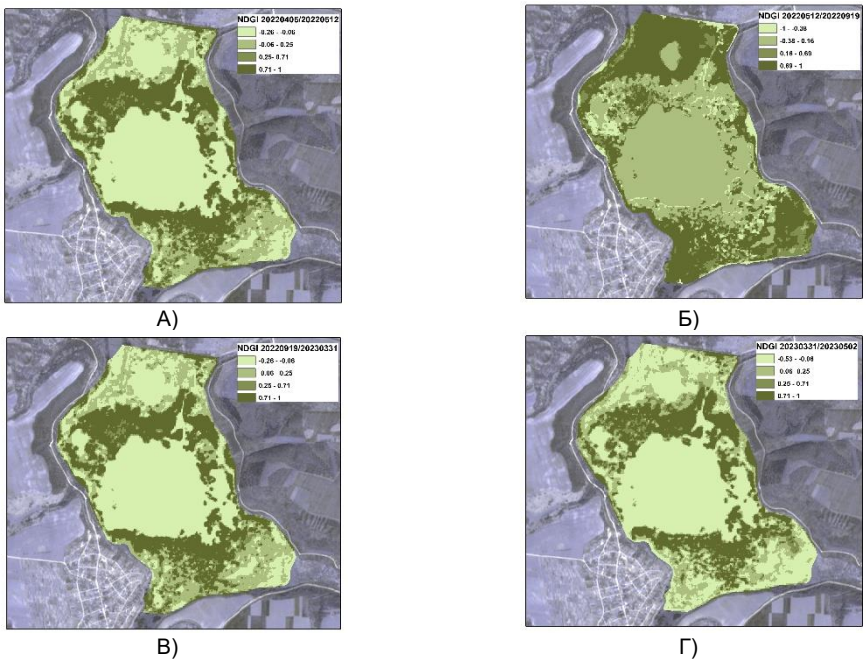
А) Б) В)



Г) Д)

Фиг. 3. Резултати от MSAVI2 класификацията на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна

В случая с плаващите тръстикови острови, изследванията показват вариации в стойностите на индекса MSAVI2 през различните месеци на изследвания период. През май месец 2022 година (фиг. 3 Б) се наблюдава най-висока стойност на MSAVI2 индекса, която достига 0.74. Този период обикновено съответства на началото на вегетационния сезон и на увеличената активност на растенията след зимния период. През септември 2022 година (фиг. 3 В) се отбелязва още по-висока стойност на индекса MSAVI2, достигайки 0.78. Този момент вероятно е свързан с пиковата активност на растенията през този месец, когато се събират ресурси преди настъпване на студените месеци. От друга страна, най-ниските стойности на индекса MSAVI2 се наблюдават през април 2022 година и март/май 2023 година (фиг. 3 А, Г, Д). Тези периоди съответстват на сезоните, когато растенията вероятно са подложени на неблагоприятни условия, като например недостиг на вода, стрес от суша или други фактори, които намаляват фотосинтетичната им активност и общо физиологично състояние.



А) Б)

В) Г)

Фиг. 4. Резултати от NDGI класификацията на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна

NDGI е важен индикатор за зелената растителност и фенологичните промени в растителността на определена територия. Най – добри резултати на NDGI индексът се наблюдава през пролетта – 5 април – 12 май 2022 г. (фиг.4 А) и също и през периода есен/пролет 2022/2023 г (Фиг. 4 В). Тогава стойностите на NDGI са най – високи и процентът от площта, която покрива е най - голям (тъмно зелен цвят). Максимумът в NDGI отразява фаза начало на цъфтеж и съответства на пика на интензивен растеж на растенията.

От друга страна, се наблюдават най-ниските стойности на индекса през периода 12 май - 19 септември 2022 г. (Фиг. 4 Б, обозначени със светло зелен цвят). Този нисък индекс може да се обясни с факта, че през този период растителността достига своя пик, и съдържанието на хлорофил в растенията намалява. Това е период, през който растителността достига зрелост и се наблюдава по-ниска активност в зелените пигменти на растенията.

През пролетта на 2023 г., стойностите на NDGI отново се увеличават и остават стабилни около средния диапазон (Фиг. 4 Г). Този ръст на индекса отразява възобновяването на растителността след зимния период и началото на новия растежен цикъл.

Заключение

Изследванията на вегетационния индекс върху плаващите тръстикови острови са от съществено значение за извършването на мониторинг на динамиката на тези екосистеми и могат да предоставят ценни данни за тяхното здраве и биоразнообразие. Данните от приложението на различните индекси предоставят ценна информация за физиологичното състояние на растенията върху плаващите тръстикови острови и може да служи като индикатор за техните здравословни условия и реакции на сезонните и климатични промени. Тази информация е от съществено значение за управлението и опазването на тези уникални екосистеми. Получените резултати предоставят информация, която подпомага изучаването им допринася за опазването на тези уязвими природни обекти, което ще подпомогне бъдещи изследвания, насочени конкретно към движението и динамиката им във времето.

Литература:

1. 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.
2. Иванова И., Станкова Н.(2017), Динамика на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна за периода пролет – лято 2017 г. с използването на SAR данни. PROCEEDINGS SES 2017, ISSN 2603-3313, 269–274.
3. Ivanova I., Nedkov R., Borisova D.(2017), Application of SAR data for seasonal monitoring of floating reed islands dynamic in Srebarna Lake. Proc. SPIE 10428, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VIII, SPIE, 2017, ISSN:0277-786X, 104280M-1-104280M-8. SJR:0.228.
4. Rouse, W., Haas, R. H., Schell, J. A. & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite – 1 Symposium, 301–317.
5. Tucker, C. J. (1980). Remote sensing of leaf water content in the near infrared. Rem. Sens. of Environ., 10, 23–32.
6. Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sens. Environ. 25, 295–309.
7. Avetisyan, D. & Cvetanova, G. (2022). Assessment of drought impact on phenological development of selected sunflower hybrids based on vegetation indices and orthogonalization of multispectral satellite data. Bulg. J. Agric. Sci., 28 (6), 1006–1026.
8. Gao, Bo-cai (1996). NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. Remote Sensing of Environment, 58 (3), 257–266.
9. Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemond, S. & Gregoire, J. M. (2001). Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain. Remote Sensing of Environment, 77, 22–33.
10. Kauth, R. J. & Thomas, G. S. (1976). The Tasseled Cap – a graphical description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In: Proc. Symp. Machine Processing of Remotely Sensed Data. Purdue University, West Lafayette, Indiana, 4B41–4B51.
11. Nedkov, R. (2017a). Orthogonal Transformation of Segmented Images from the Satellite Sentinel-2. Comptes rendus de l’Academie bulgare des Sciences, 70 (5), 687–692.
12. Nedkov, R. (2017b). Normalized Differential Greenness Index for vegetation dynamics assessment. Comptes rendus de l’Academie bulgare des Sciences, 70 (8).

ASSESSMENT OF MOSSES AND LICHENS IN ANTARCTICA AND BULGARIA BASED ON REMOTE SENSING AND CHLOROPHYLL FLUORESCENCE

Temenuzhka Spasova[1], Daniela Avetisyan[1], Iva Ivanova[1], Adlin Dancheva[1], Simona Borisova[2], Dimitar Michev[3]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]National Science and Mathematics High School "Acad. Lyubomir Chakalov"- Sofia
[3]20. "Todor Minkov" Elementary School - S
e-mail: tspasova@space.bas.bg

Keywords: *Chlorophyll fluorescence, Destination Earth, lichens, LST, moss, NDGI, photogrammetry*

Abstract: *Chlorophyll fluorescence is the emission of light by chlorophyll molecules when they are excited by absorbed light. Chlorophyll is the pigment responsible for photosynthesis, the process by which plants and other photosynthetic organisms convert light energy into chemical energy, which varies in different values for different latitudes.*

The aim of the research is an attempt to compare the spectral characteristics of mosses and lichens, and note any variations in their fluorescence intensity from the region of Livingston Island, Antarctica and Vitosha Mountain in Bulgaria during the summer season in the southern and northern hemispheres.

Field research was carried out in Antarctica and Bulgaria, in order to verify the data from Sentinel 2MSI, drone photography and photogrammetry, as well as photography by a thermal camera with a measurement accuracy of +/- 2°C and a wavelength of 8 - 14 μm .

A spectrometer was used to analyze the visible range from 380 to 780 nm and the spectral range in which Sentinel 2MSI and Sentinel 3 SLSTR images are generated.

The main research methods are through chlorophyll fluorescence response and the use of several optical indices for remote sensing monitoring such as NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDGI (Normalized Difference Greenness Index), composite images and LST (Land Surface Temperature) analysis.

The spectral curves from different days of the field research, which were carried out in the summer season in Antarctica and Bulgaria in 2022 and 2023, were analyzed.

The assessment was made by mapping with GIS technologies, laboratory and field studies, Open and spatial data, which are published for free access.

The research is part of project No. 70-25-59/10.08.2022, on the topic: "Destination Earth Antarctica - Digital data space, pilot project", funded under the Polar Scientific Research for Young Scientists program, part of the National Polar Scientific Program of the Bulgarian Antarctic Institute.[1].

ОЦЕНКА НА МЪХОВЕТЕ И ЛИШЕИТЕ В АНТАРКТИКА И БЪЛГАРИЯ НА БАЗА ДИСТАНЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ХЛОРОФИЛНА ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ

Теменужка Спасова[1], Даниела Аветисян[1], Ива Иванова[1], Адлин Данчева[1], Симона Борисова[2], Димитър Мичев[3]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]Национална природо-математическа гимназия "Акад. Любомир Чакалов"– София
[3]20 ОУ „ Тодор Минков“ - София
e-mail: tspasova@space.bas.bg

Ключови думи: *Хлорофилна флуоресценция, Дестинация земя, лишеи, LST, мъхове, NDGI, фотограметрия*

Резюме: *Флуоресценцията на хлорофил е излъчването на светлина от хлорофилните молекули, когато те се възбуждат от абсорбираната светлина. Хлорофилът е пигментът, отговорен за фотосинтезата, процесът, при който растенията и другите фотосинтезиращи*

организми преобразуват светлинната енергия в химическа енергия., която варира в различни стойности за различните географски ширини.

Основната цел на изследването е опит за сравнение на спектралната характеристика на мъхове и лишеи, и отбелязване на всякакви вариации в интензитета на флуоресценцията им от района на о-в Ливингстън, Антарктика и планина Витоша в България през летен сезон в южното и северното полукълбо.

Направени са теренни изследвания в Антарктика и България, с цел да се верифицират данните от Sentinel -2MSI чрез дрон заснемане и направена фотограметрия, а също така и заснемане чрез термокамера с точност на измерване +/- 2°C и дължина на вълната 8 - 14 µm.

Използван е спектрометър за анализ във видим диапазон от 380 до 780 nm и спектралният диапазон, в който генерират изображения Sentinel 2MSI и Sentinel 3 SLSTR.

Основните методи за изследване са чрез реакция на Флуоресценцията на хлорофила и използването на няколко оптични индекси за дистанционен мониторинг като NDVI (Нормализиран разликов вегетационен индекс), композитни изображения и анализ на температурата на земната повърхност (LST – Повърхностна земна температура).

Анализирани са спектралните криви от различни дни на теренните изследвания, които са извършени в сезон лято в Антарктика и в България през 2022 и 2023 година.

Оценката е направена чрез картографиране с GIS технологии, лабораторни и теренни изследвания, Отворени и пространствени данни, които са публикувани за свободен достъп.

Изследването е част от проект № 70-25-59/10.08.2022 г., на тема: "Дестинация Земя Антарктика – Дигитално пространство за данни, пилотен проект", финансиран по програма Полярни научни изследвания за млади учени част от Националната полярна научна програма на Български Антарктически Институт. [1].

Introduction

Antarctica's icy landscape has become decidedly greener in recent years [2].

About 100 species of mosses have been recorded from Antarctica. They are typically small leafy plants, either upright or creeping [3]. In the climatically milder northern part of the Antarctic Peninsula, there are 93 species of lichen, along the coast of East Antarctica - 70 species. In total, about 300 lichen species grow in Antarctica [4].

326 species of mosses are known in Vitosha Nature Park, which represents about 47% of the moss flora of Bulgaria. They are distributed in all mountain belts and inhabit different types of natural habitats. There are 13 rare species of mosses, 8 vulnerable and 7 endangered species [5].

About 500 species of freshwater algae have been established on the territory of the "Vitosha" PP. About 360 lichen species have been described, and 22 of them are found only within the Vitosha Nature Park [5].

By drilling down into layers of moss that have accumulated on the southern continent over the last 150 years, researchers discovered that those diminutive plants have done more growing than usual in the last five decades [6].

Temperature increases over roughly the past half century on the Antarctic Peninsula have had a dramatic effect on moss banks growing in the region.

If this continues, and with increasing amounts of ice-free land from continued glacier retreat, the Antarctic Peninsula will be a much greener place in the future [6]

Mosses in general grow very slowly, and in cold Polar regions, they accumulate rather than decompose at the end of the growing season. This provides researchers with growth records going back thousands of years, similar to peat accumulations in other regions of the world [6]

The Antarctic Peninsula harbors the highest diversity of terrestrial vegetation on the Antarctic continent [7, 8], which must cope with extreme temperatures, high radiation, and strong wind conditions [7, 8, 9, 10, 11], as well as freeze–thaw daily cycles. Among the organisms that stand out in these environments are lichens; these are considered stress-tolerant due to their longevity, low nutritional requirements, and specific adaptations [12, 13].

The aim of the research is an attempt to compare the spectral characteristics of mosses and lichens, and note any variations in their fluorescence intensity from the region of Livingston Island, Antarctica and Vitosha Mountain in Bulgaria during the summer season in the southern and northern hemispheres.

The main research methods are through chlorophyll fluorescence response and the use of several optical indices for remote sensing monitoring such as NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), composite images and LST (Land Surface Temperature) analysis.

Spectral curves from different days of in situ research, which were carried out in the summer season in Antarctica and in Bulgaria in 2022 and 2023, were analyzed.

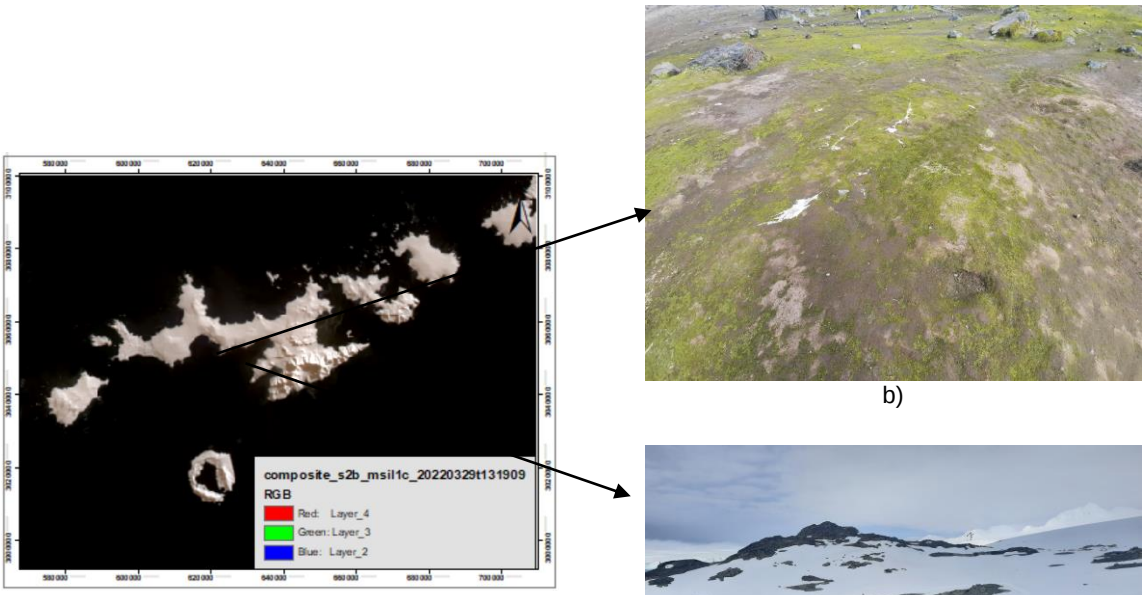
The assessment was made by mapping with GIS technologies, laboratory and field studies, Open and spatial data, which are published for free access.

In the research, a complex approach was used, which was used in an identical way for both territories.

In the study, experiments were carried out to check the ability of mosses and lichens from places with significant differences in climate to absorb and use sunlight thanks to the presence of chlorophyll in them and through chlorophyll fluorescence.

Study Area

In situ studies of mosses and lichens from two different locations were made. One is from Cape Hana Point and the Bulgarian Antarctic Base St. Kliment Ohridski, Livingston Island, Antarctica, and the other is Aleko Hut, Vitosha Mountain, Bulgaria (Fig. 1, 2).
The territories were selected due to available field research of the author during the summer of 2022 and 2023 in both hemispheres of the Earth.



a) Sentinel-2 composite images (Bands 4, 3, 2)

b)

c)

Fig. 1. Area of interest - Livingston Island (a), b) Cape Hannah, (c) territory around the Bulgarian Antarctic base, object 1, author Temenuzhka Spasova

a

b

Fig. 2. Area of interest (a) mountain Vitosha b) Photogrammetry of a drone image from mountain Vitosha, object 2, author: Temenuzhka Spasova

Materials and Methods

Satellite data

The satellite data used in the study are from the Sentinel-2-B, Sentinel 3A and Sentinel 3B satellites of the European Space Agency (ESA) [14, 15] Sentinel-2B is a Multi-Spectral Instrument (MSI) [16] recording data in the optical range with different spectral resolutions. Data by dates and satellites used are represented in Table 1.

Table 1. Image acquisition dates, Copernicus (ESA)[15]

Satellite	Date	Satellite	Date
Sentinel-2-A MSI	22/07/2022 07/12/2022 16/01/2023	Sentinel 3A Sentinel 3B	December and July 22/07/2023 29/07/2023 12/12/2022 07/12/2022 LST Land Surface Temperature

The data from Sentinel 3 are from the month of December and July for 2022 and 2023. The selected months are from the summer seasons in the different hemispheres of the Earth. The data are from the two satellites S3A and S3B.

Sentinel 3 SLSTR Level-2 LST [17] provides land surface parameters at 1 km resolution. In addition, the file is measured with the Land Surface Temperature (LST) value calculated and specified for each pixel transformed to degrees Celsius.

Spectrometer data

A Sekonic C-800-U mobile spectrometer was used for field research. The device measures natural light and flash, from 380 to 780 nm, a wide measurement range of color temperature (1600 to 40,000 K). Also measures: color rendering properties (CRI, SSI, TLCI, TLMF, TM-30-18), color control parameters (Hue/Saturation, CIE 1931 x, y chromaticity coordinate) and other. The C-800 Series Utility software can be open downloaded from Sekonic's official website [18].

Ground Control points (GCP)

The following ground control point (GCP) locations were generated and applied for the purpose of the survey: generated on 12/12/2022, 15.12.2022 for Antarctica and 30/07/2023 for Vitosha mountain. The points were generated using OruxMap in offline mode and published for open access.

Thermal camera data

Thermal Camera HT-19 has an IR image resolution of 320x240 and a temperature range of -20°C to 300°C with Measurement accuracy of +/-2°C, 5 types of color palettes and wavelength 8 - 14 μm.

Drone data

The last data source is the DJI Mavic 2 drone. The drone photography was used to correctly verify the environment, in which the experiment was made and for the complex remote sensing monitoring approach. The Drone images are from the days of field measurements 12/12/2022 for Antarctica and 30/07/2023 for Vitosha mountain (figure 2). The shooting height is below 100 meters and the accuracy is high enough for the research needs.

Laboratory experiment

A laboratory experiment for chlorophyll fluorescence was carried out in the following sequence [19, 20, 21]:

1) mosses from both areas of interest were carefully washed to remove any sand particles accompanying their rhizoids;

2) the green parts of the mosses were carefully separated from the rhizoids and placed in test tubes. 30ml of 70% ethyl alcohol was added to the test tubes (the lower percentages are in order not to damage the structure of the mosses and the chlorophyll that is extracted from them). This step was performed at different times for the two sites of interest since the summer season is selected for the northern and southern hemispheres in the methodology;

For Antarctica, the experiment takes place in May 2023 due to the transportation of the materials and for the mosses from Vitosha in the area around the Aleko hut on July 31, 2023 from Vitosha Mountain.

Several types of mosses were taken for in situ research. For the purposes of the experiment, the mosses of the class Bryopsida (Fig. 3) were used for Bulgaria, and for Antarctica: Polytrichastrum alpinum, Schistidium antarctici are species found only in Antarctica: Bryum pseudotriquetrum and Ceratodon purpureus.

.

Fig. 3 A species used for a laboratory experiment from Vitosha Mountain [19]

3) the tubes with the pieces of mosses and the ethyl alcohol were placed in a steam bath at approx 100ºC until the chlorophyll leaves the moss cells and separates into the solution. The solution is fine strained;
4) The tube with the extracted chlorophyll was placed in a dark place and illuminated lengthwise of the tube with a flashlight by UV light [22, 23, 24];

Model of the Methodology

The description of the model includes the elements that are detailed in Fig. 4.

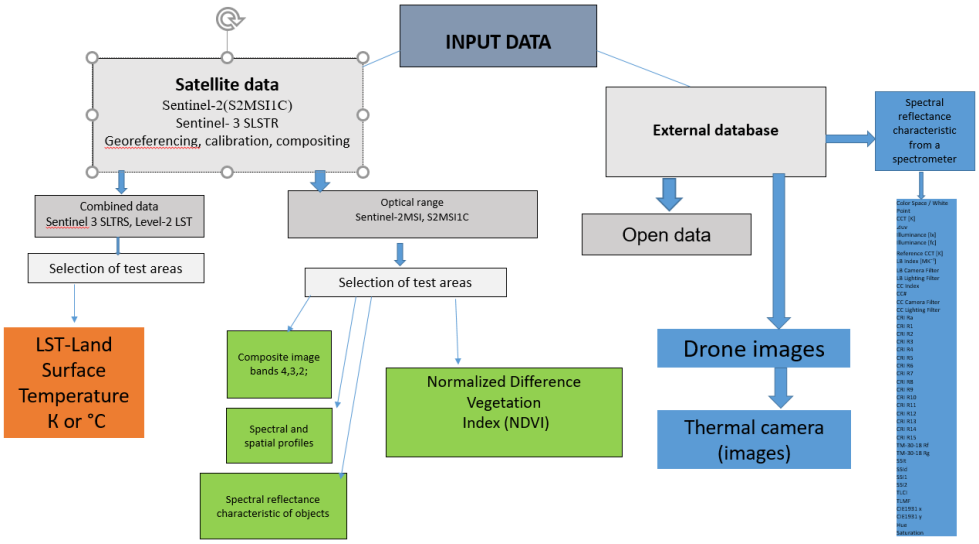


Fig. 4. Model of the methodology for mosses and lichens Author: Temenuzhka Spasova [25]

Results

The use of optical indices is not an innovation in this study, but rather a way to quickly indicate the presence of vegetation and mosses allow analysis based on satellite data (Fig. 5).

Site 2 is definitely in an area with very high vegetation and this is clear from the field surveys and from the NDVI index values (Fig. 5).

As a result of the transformation of LST (Fig. 6) images from Kelvin in degrees, it is possible to clearly evaluate the climatic changes in a specific territory and to distinguish the places where points such as heat islands are formed.

In any case, from an already done study based on spectral curves [25, 26] and indices proved that the indices can be used as indicators for the presence of mosses and other vegetation especially in Antarctica , as we have seasonality of in situ studies.

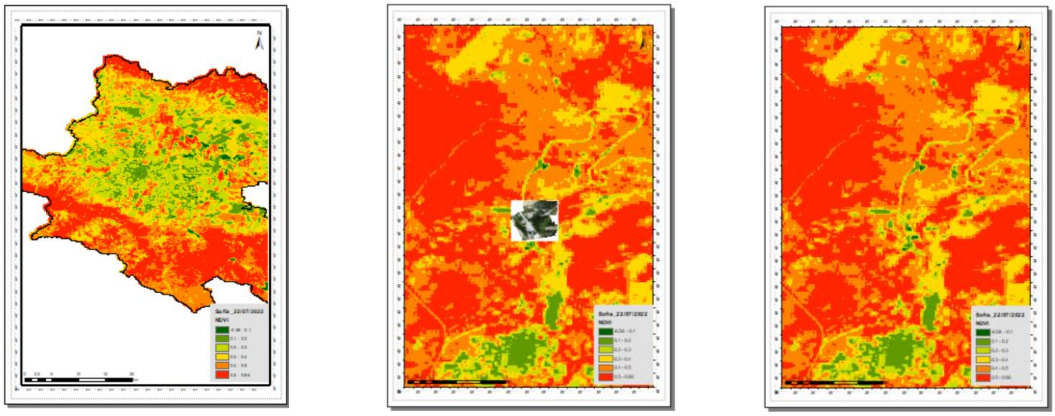


Fig. 5. NDVI- Sofia city and area of interest (AOI), Sentinel 2MSI -22/07/2022

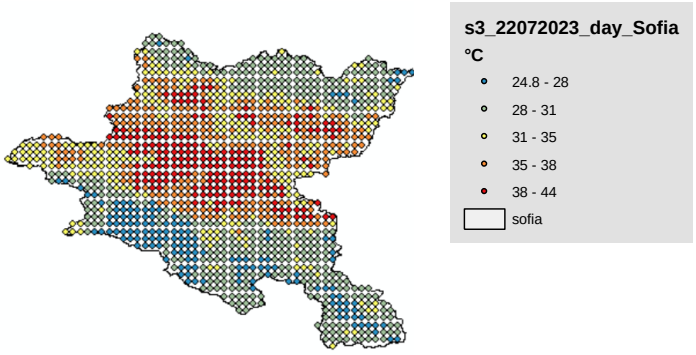


Fig. 6. LST- Sofia city, Transformed image in °C, Sentinel 3, 22/07/2023 day

Regarding the NDVI values in Antarctica (Fig. 7), it can be said that of the sites that were visited in the field research, Hana Point is definitely one of the greenest places, and this is also due to the higher temperature and the presence not only of flora but also of fauna. And since the weather there is very dynamic, the differences in LST in the 5-day period are also visible, which is very noticeable in the colors of Fig. 8.

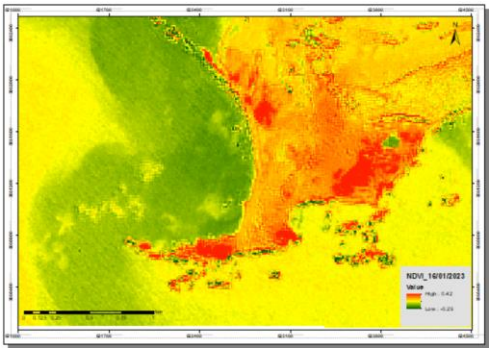


Fig. 7. NDVI- Cape Hanna and area of interest (AOI), Sentinel 2MSI -16/01/2023

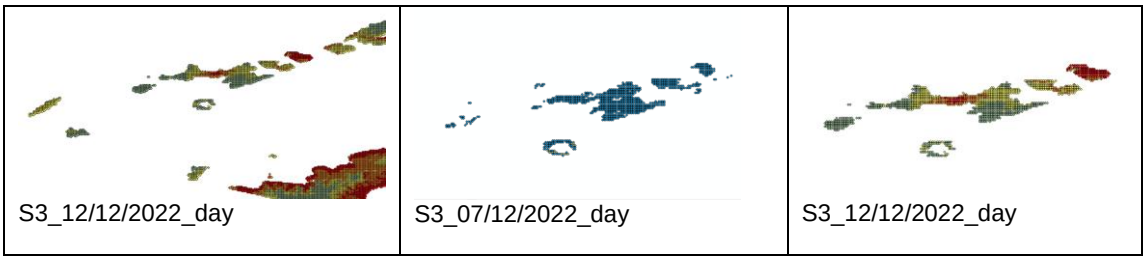


Fig. 8. LST- Livingston Island, Transformed image in °C, Sentinel 3, 07/12/2022 day and 12/12/2022 day

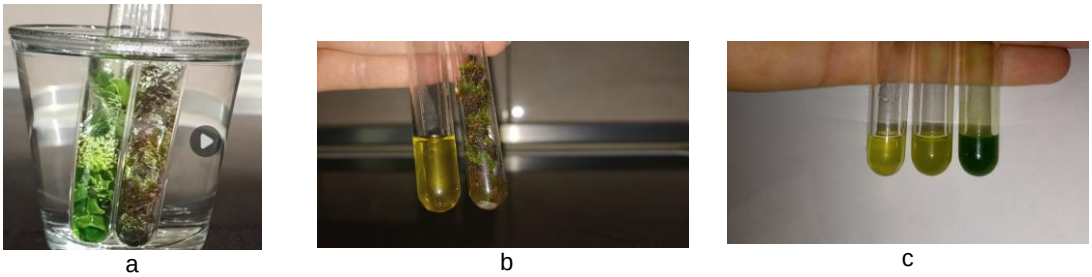
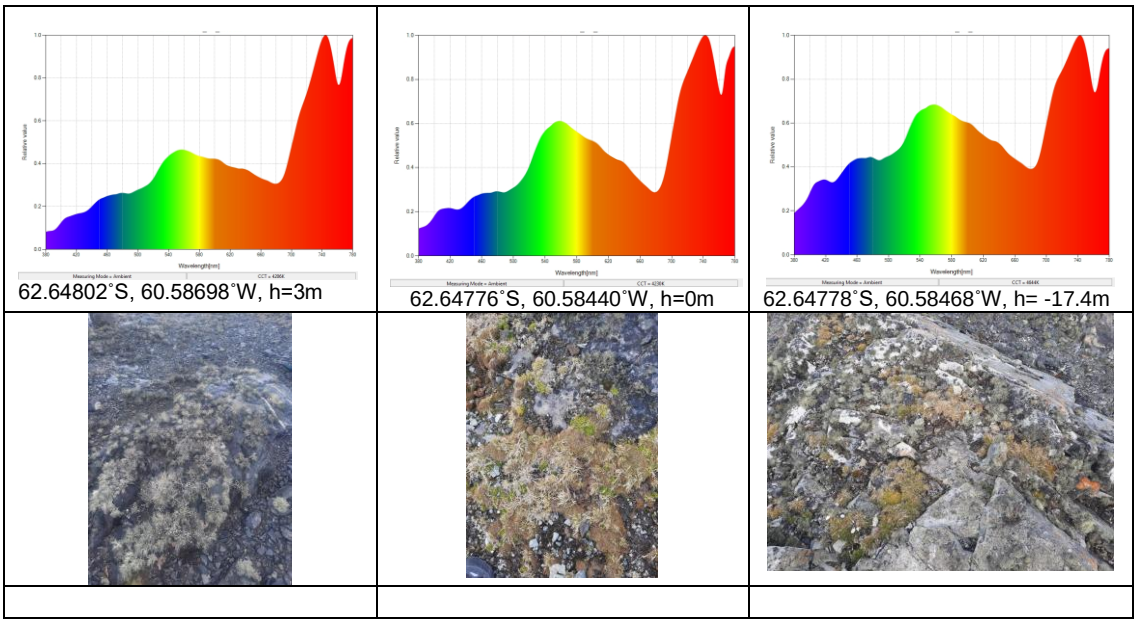


Fig. 9. Species used for chlorophyll fluorescence measurement from object 1 and object 2

Figure 9 shows the experiment step by step. The third figure represents the test tube with material from site 1, number two is from site 2, and number three is different fresh vegetation for experiment verification. It is clearly seen that the amount of chlorophyll varies in different values.

The light causes the green chlorophyll molecules to fluoresce red, which is actually chlorophyll fluorescence itself. It was observed that the effect of chlorophyll fluorescence was not strongly manifested even after changing the amount of ethyl alcohol in a test tube from site 1, the amount of mosses and even the temperature they are subjected to in the extraction of chlorophyll.

The spectral curves are similar at first glance, but differ in color temperature values because much higher values are visible for Antarctica.



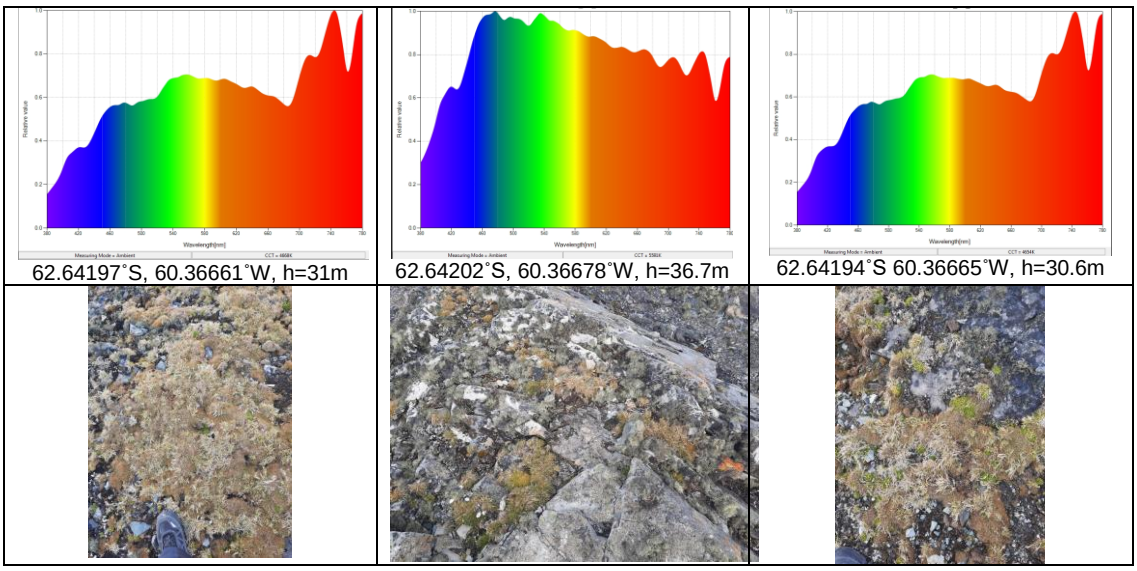
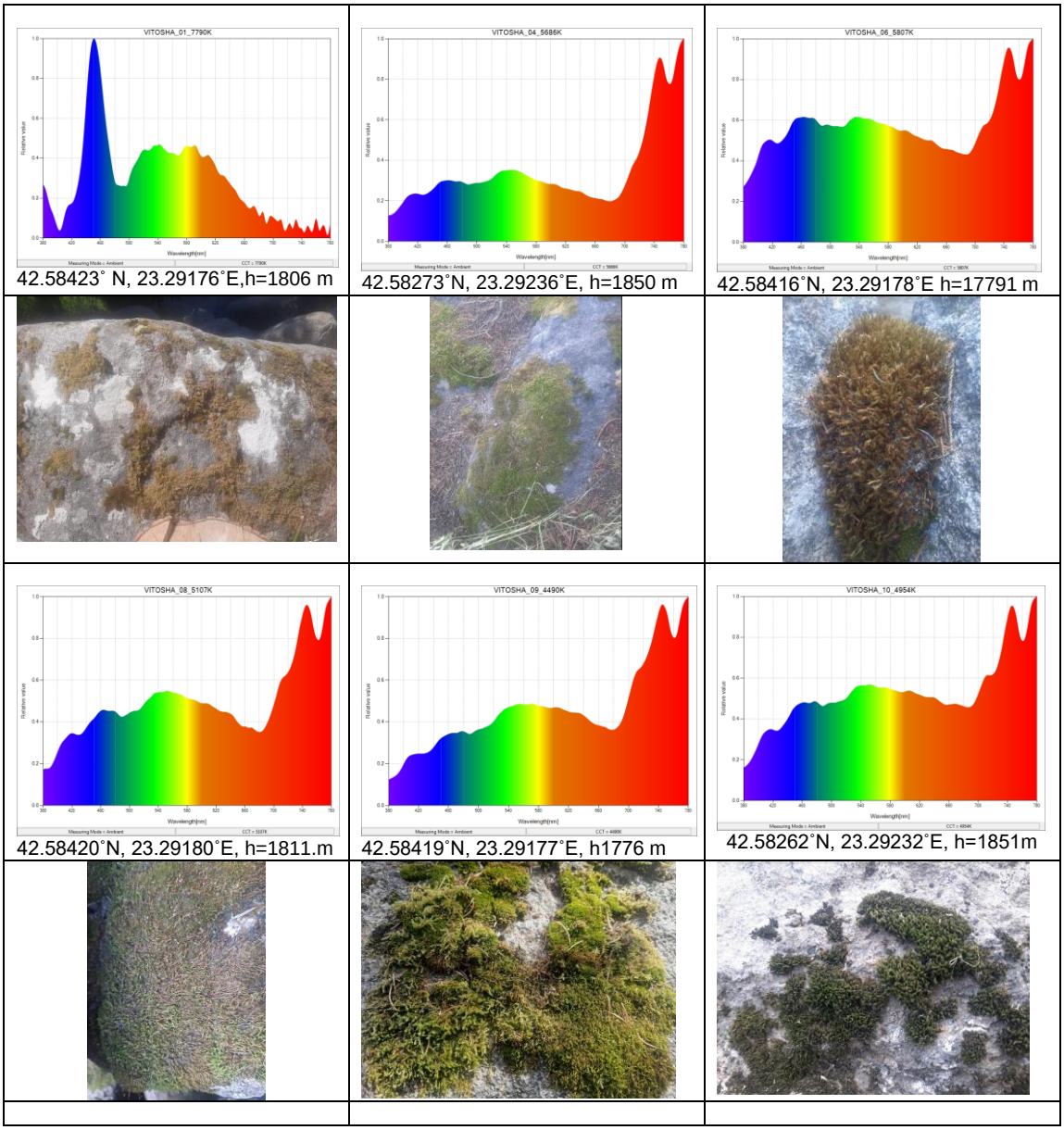


Fig. 10. Spectral reflectance characteristics of mosses and lichens by a spectrometer; BAB, Antarctica and Cape Hannah, object 1



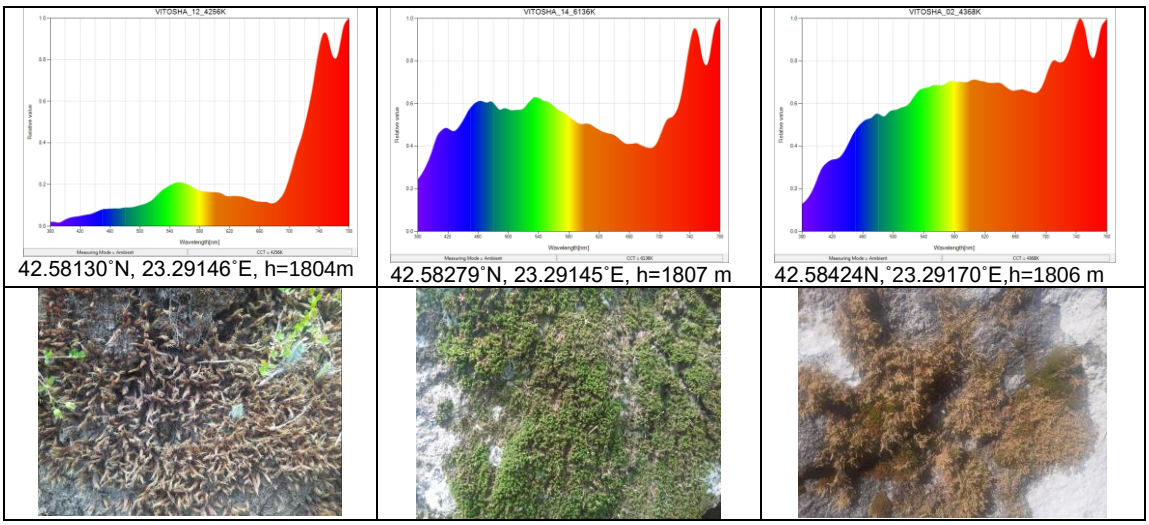


Fig. 11. Spectral reflectance characteristics of mosses and lichens by a spectrometer, Vitosha Mountain, object 2

The thermal images (Fig. 12) are only from site 2, but they can successfully verify the average temperature data, since the average temperatures are the same values of about 24 degrees as in the LST images. The minimum temperatures are lower, but we are talking about the Vitosha Mountain, shadier and moist places with the presence of moss and above all on rock surfaces, which is a sure sign of maintaining higher humidity.

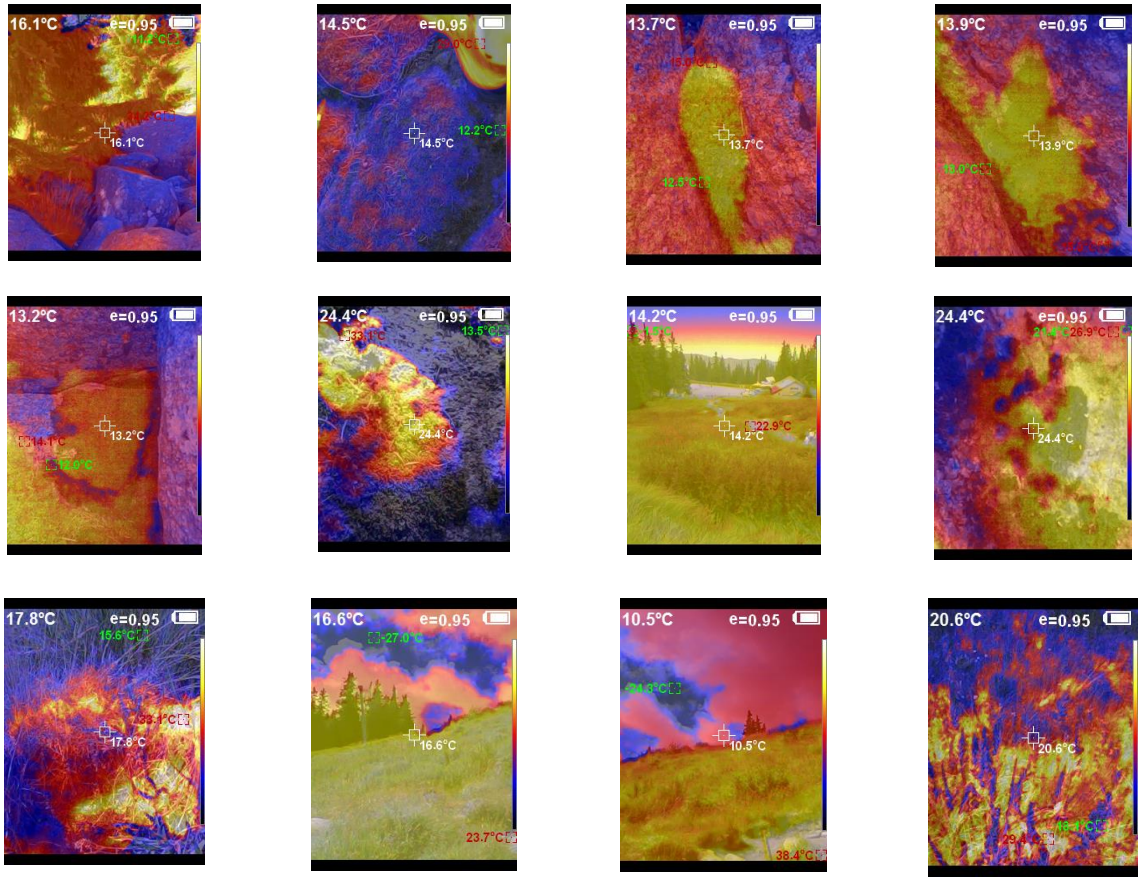


Fig. 12. Thermal images from Bulgaria (object 2) Vitosha Mountain, object 2

Conclusion

The use of data from the Copernicus program gives a sufficiently clear idea of the terriotrial dynamics in the development of mossy vegetation, but it would be more difficult to use them in the analysis of lichens due to their specific structure regardless of the geographical location. Through in

situ research, reliable information was obtained to be used in validating the results of a comparative analysis of the two territories, and the availability of drone image further verifies the satellite data.

The data from the spectral profiles made by a spectrometer are extremely close in values when examining dry or wetter mosses, and therefore the geographical coordinates also testify. High values of the color temperature, which is measured in Kelvin, are higher in shadier places, but this is a sure sign of a lower ambient temperature.

LST (Land Surface Temperature) from Sentinel 3 SLSTR is a reliable indicator of the studied terrain and of climate change.

Conclusions for chlorophyll fluorescence:

1: Mosses from Vitosha are greener, wetter, with significantly more chlorophyll than those in Antarctica; (this is due to the fact that the mosses from Antarctica were drier than those from Vitosha, due to their transport time to Bulgaria. For more accurate results in the following studies, it is good to conduct them on site in Antarctica to have with more precise results and fresher samples with sufficient moisture and chlorophyll);

2. The chlorophyll solution from the Antarctic mosses is lighter, less dense, with less chlorophyll compared to that of the Bulgarian mosses. However, the results show that the presence of chlorophyll in the mosses is not sufficient for chlorophyll fluorescence to occur. For such a process, the cells must be significantly richer in chlorophyll for there to be enough of it in the sample for its cells to fluoresce red. For comparison, the experiment was carried out with leaves from other vegetation (eg. celery) where the chlorophyll content is significantly higher, and the effect was achieved.

3. Lichens were not used in this experiment due to the impossibility of extracting their chlorophyll. As a result, instead of excreting their chlorophyll, they absorb the ethyl alcohol, making it impossible to extract chlorophyll from their cells.

References:

1. http://destination-earth-antarctica.eu.
2. https://www.nationalgeographic.com/science/article/antarctica-green-climate-moss-
3. https://www.antarctica.gov.au/about-antarctica/plants/mosses-and-liverworts/
4. https://bai-bg.weebly.com/10601083108610881072.html
5. https://parks.bg/parks/vitosha/flora/
6. https://www.nationalgeographic.com/science/article/antarctica-green-climate-moss-environment
7. Peat, H. J.; Clarke, A.; Convey, P. ORIGINAL ARTICLE: Diversity and biogeography of the Antarctic flora. J. Biogeogr. 2006, 34, 132–146. [Google Scholar] [CrossRef].
8. Green, T. G. A.; Sancho, L. G.; Pintado, A.; Schroeter, B. Functional and spatial pressures on terrestrial vegetation in Antarctica forced by global warming. Polar Biol. 2011, 34, 1643–1656. [Google Scholar] [CrossRef].
9. Seppelt, R. D.; Broady, P. A. Antarctic terrestrial ecosystems: The Vestfold Hills in context. Hydrobiologia 1988, 165, 177–184. [Google Scholar] [CrossRef].
10. Convey, P.; Gibson, J. A. E.; Hillenbrand, C.-D.; Hodgson, D.; Pugh, P.A.; Smellie, J.L.; Stevens, M.I. Antarctic terrestrial life—Challenging the history of the frozen continent? Biol. Rev. 2008, 83, 103–117. [Google Scholar] [CrossRef].
11. Tuner, J.; Bindschadler, R.; Convey, P.; Prisco, G.D.; Fahrbach, E.; Gutt, J.; Hodgson, D.; Mayewski, P.; Summerhayes, C. Summerhayes, C. Antarctic Climate Change and the Environment; Scientific Committee on Antarctic Research: Cambridge, UK, 2009. [Google Scholar].
12. Armstrong, R. A. Adaptation of lichens to extreme conditions. In Plant Adaptation Strategies in Changing Environment; Springer: Singapore, 2017; pp. 1–17. [Google Scholar].
13. https://www.mdpi.com/2223-7747/11/19/2463
14. https://scihub.copernicus.eu/
15. https://dataspace.copernicus.eu/
16. https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi
17. https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-slstr/overview/geophysical-measurements/land-surface-temperature
18. http://www.sekonic.com/
19. https://en.m.wikipedia.org/wiki/Chlorophyll_fluorescence
20. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00174
21. https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/chlorophyll-fluorescence
22. https://youtu.be/mAuM__MShd0?si=a6XKZUw_A2f0zy2z
23. https://youtu.be/f0h3UKuwyrw?si=OP1zwoj52wcskXtm
24. https://youtu.be/jiPd5CkCkkU?si=pBXN0Kq_zx2B2u8M
25. Temenuzhka Spasova, Assessment of heat islands in different economic regions of Bulgaria for the needs of Destination Earth;, 5 September 2023 • 17:15 - 19:00 CEST | Elicium Hall | Part of SPIE Remote Sensing
26. Temenuzhka Spasova, Daniela Avetisyan; SYNCHRONIZED REMOTE SENSING MONITORING APPROACH IN THE LIVINGSTONE ISLAND REGION OF ANTARCTICA, RSCY 2023, Ayia Napa - Cyprus., CYPRUS, APRIL, 2022.

ДИСТАНЦИОНЕН МОНИТОРИНГ НА ЕМИСИИТЕ НА МЕТАН ОТ ДЕПА ЗА ОТПАДЪЦИ

Пламен Тренчев

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

Ключови думи: *Метан, депа за отпадъци, атмосферно замърсяване, TROPOMI*

Резюме: *Депата за отпадъци са един от най-големите антропогенни източници на емисии на метан в света. Тези емисии имат значителен принос за цялостното увеличаване на концентрацията на CH_4 в атмосферата. Метанът (CH_4), CO_2 и диазотният оксид (N_2O) са основните парникови газове, отделяни от сметищата по време на биоразграждането на органичната материя. Няколко променливи, като например съставът на биоразградимите отпадъци, съдържанието на влага, pH, температурата, слънчевата радиация и т.н., определят количеството метан, отделяно от депата за отпадъци. Хетерогенната структура на депата за отпадъци затруднява разработването на конкретен модел за определяне на скоростта и количеството на отделяния в атмосферата газ. В това изследване се анализират методите за дистанционно наблюдение за мониторинг на емисиите на метан от депа за отпадъци.*

REMOTE SENSING MONITORING OF METHANE EMISSIONS FROM LANDFILLS

Plamen Trenchev

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

Keywords: *methane, landfills, air pollution, TROPOMI*

Abstract: *Landfills are one of the largest anthropogenic sources of methane emissions worldwide. These emissions are a significant contributor to the overall increase in the concentration of CH_4 in the atmosphere. Methane (CH_4), CO_2 and nitrous oxide (N_2O) are the main greenhouse gases released from landfills during the biodegradation of organic matter. Several variables, such as the composition of the biodegradable waste, moisture content, pH, temperature, solar radiation, etc., determine the amount of methane emitted from landfills. The heterogeneous structure of landfills makes it difficult to develop a particular model to determine the rate and amount of gas emitted to the atmosphere. In this study, remote sensing methods for the monitoring of methane emissions from landfills are analysed.*

Въведение

Поредица от мащабни изследвания на множество екипи и научни организации през последните няколко години се обединяват около становището, че приблизително около 60% от общите световни емисии на метан се дължат на антропогенни източници (CCAC 2021) [1], а над 90% от тях произлизат от три сектора: отпадъци (~20 %), изкопаеми горива (~35 %) и селско стопанство (~40 %). Тези оценки са получени чрез прилагането на два подхода – инвентаризация "отдолу нагоре" и оценка "отгоре надолу". Така наречените инвентаризации на емисиите "отдолу нагоре" се получават чрез събиране на данни за дейностите и емисионните фактори за отделните сектори, като резултатът от тях дава обща оценка на секторните емисии. Тези данни се оценяват на национално равнище.

Националните статистически данни често се използват за оценка на дейностите, а полевите и лабораторните измервания обикновено се използват като източници на данни за емисионните фактори. С други думи, този тип оценка обикновено се основава на инженерни

модели и емисионни фактори. При оценка "отгоре надолу" инвентаризацията на емисиите се получава от преки измервания [2], което включва измервания от камери, монтирани на дронове и самолети, както и от сателити. Оценката "отгоре надолу" представлява точна моментна снимка на емисиите и може да даде представа за неочаквани и в много случаи значителни емисионни събития, които не могат да бъдат идентифицирани чрез подхода "отдолу-нагоре". Сравняването на оценката "отдолу-нагоре" с оценката "отгоре-надолу" дава ценна информация както за обобщените данни, така и за отделните източници. Разбира се, трудно можем да очакваме, че оценката на емисиите при двата подхода ще съвпада точно. Но разбирането на причините за тази разлика може да ни предостави много полезни знания.

Секторът на отпадъците, който включва депата за отпадъци, пречиствателните водни съоръжения и управлението на отпадъците са съществен компонент, който съставлява около 20 % от глобалните антропогенни емисии. В целия свят депата за отпадъци са третият по големина източник на метан. Понастоящем 70% от отпадъците в световен мащаб се депонират, често по нерегламентиран начин. Освен това според прогнозите на Световната банка до 2050 г. генерирането на отпадъци ще се увеличи с 60 %. Ето защо е належащо да намалим емисиите на сметищни газове в целия свят.

По данни на ЕВРОСТАТ почти половината от европейските държави-членки все още изхвърлят на сметищата над 40 % от битовите си отпадъци. Само през 2018 г. емисиите на метан от депата за отпадъци в 27-те държави членки на ЕС плюс Обединеното кралство са генерирали около 100 млн. тона еквивалент на CO_2 (източник ЕАОС) и представляват над 20% от общите европейски емисии на метан. Улавянето на метан в депата за отпадъци е сложнен процес, който зависи от множество фактори – от ефективността на управление на депата, през избраната технология до текущите климатични условия като дъжда, например, който може да спомогне както за производството на повече метан, така и да наводни системите за събиране на газ, като ги направи по-малко ефективни [3].

Газът от сметището съдържа различни съставки, като най-голям е делът на CH_4, CO_2 и N_2O, които общо съставляват около 90-97% от сметищния газ. Останалите 3 до 10 % се състоят от азот, амоняк, сулфиди и други газове. Процентното съотношение и количеството на тези газове зависи от вида на отпадъците, които се намират в депото, количеството влага, температурата, както и възрастта на депото. Едно депо може да произвежда газове повече от 30 години. Освен това, сметищата допринасят за увеличаване на смога и локалното замърсяване на въздуха. Тъй като повечето от тях се намират в близост до населените места, това има пряко отношение към качеството на въздуха в градска среда [4].

Количественото определяне на емисиите на метан от депата за отпадъци е сложна задача и е предмет на редица изследвания, като два параметъра са от особена важност в този процес: потенциален капацитет за генериране на метан (M0) и скорост на генериране на метан (S1). Стойностите на M0 зависят от различни фактори като състав на депонираните биоразградими отпадъци, съотношение органични/неорганчни компоненти, влага, температура, кислород, pH и т.н., и се изчисляват с помощта на конкретен математически модел. S1 най-често се определя експериментално, като тук от съществено значение е отчитането на локалните метеорологични данни и топографията на района на изследване. Многокомпонентната зависимост на двата параметъра M0 и S1 е причината за нелинейния характер на емисиите на метан от депата за отпадъци. Най-често тези емисии са най-високи през лятото и най-ниски през зимата в пряка връзка с количеството слънчева радиация. От друга страна, дневните вариации на емисиите следват тенденциите в температурната динамика през всички сезони. Всичко това, наред с хетерогенната структура на депата за отпадъци, силно усложнява разработването на унифициран модел за определяне на скоростта и количеството на отделяния в атмосферата газ.

За прогнозиране на емисиите на CH_4 от депа за отпадъци за различни времеви интервали са популярни няколко модела, като 2006 FOD на IPCC, моделът на USEPA за емисиите на сметищен газ (LandGEM), Метод на флукс-камерата, Модифициран триъгълен метод (MTM) и др. [5]. Често се случва прогнозната стойност на емисиите на CH_4 по тези модели значително да се различава от действително измерените на терен. Причините за тези разлики са много и различни, като например вида и времевата плътност на входните данни, неотчитане на характеристиките на отпадъците за съответното сметище, липса на метеорологични данни и др.

Методът на потоците или на флукс-камери е прост и икономичен метод за измерване на потоците на емисиите на сметищни газове. Чрез този метод газовете се улавят в камера за предварително определен период от време в почасови интервали, когато те напускат повърхността на почвата. Отчита се и температурата на повърхността. Газовите проби се анализират с помощта на газов хроматограф. Емисионните потоци F_{CH4} се изчисляват с помощта на уравнение (1):

(1) $$F_{CH4} = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times h \ ,$$

където F_{CH4} е емисионният поток на CH_4 в $\left[\frac{mg}{m^2.min}\right]$, $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ е наклонът на линейната крива между концентрациите и времето за вземане на проби, *h* - височината на камерата над повърхността на почвата.

LandGEM е автоматизиран инструмент за оценка на общото количество сметищни газове (СГ), в това число CH_4, CO_2 и др. от депа за твърди битови отпадъци. В този метод се отчита общото годишно количество депонирани отпадъци, но в него не се включва категоризация на отпадъците. Прогнозирането на емисиите на СГ се извършва на базата на уравнение за разпад от първи ред (2), в което се предполага, че скоростта на генериране на CH4 достига своя максимум малко след депонирането на първите отпадъци и след това тази скорост намалява експоненциално.

(2) $$F = \sum_{\substack{1<i\le n \\ 0.1<j<1}} M_0 S_1 \frac{m_i}{e^{S_1 t_{ij}}}.$$

Уравнение (2) се използва за количествена оценка на генериране на CH_4 от сметища (*F*, в m^3/год.) (USEPA, 2005 г.) [6], където *i* и *j* са времето (в години), *n* – броя на годините на експлоатация на сметището, *M0* е капацитетът за генериране на CH_4 (m^3/Mg), S_1 - скорост на генериране на CH_4 от първи ред (година-1), m_i - масата на приетите отпадъци за една година. Изчисляването на емисиите на СГ от депото изисква значителни входни параметри, като например проектен капацитет на депото, степен на приемане на отпадъците, година на откриване, потенциал за генериране на CH_4 и др.

2006 FOD на IPCC (модел на разпад от първи порядък) е многофазен модел за оценка на генерирането на CH4 от всички страни в света. Той може да се прилага със стойности по подразбиране или като се използват данни за конкретен обект, които отчитат темповете на генериране на отпадъци, състава на отпадъците, разградимия органичен въглерод (РОВ), скоростта на разпадане на отпадъците (S1) и т.н. В основата на този модел отново е уравнение за разпад от първи ред. Но вместо M0 той използва РОВ и стойности S1 за различните категории отпадъци, т.е. храна, хартия, растителен компост и т.н.

Развитието на сателитните технологии и наличието на спътникови изображения със средна и висока пространствена разделителна способност дават възможност за бързо откриване, локализиране и количествено определяне на емисиите на метан от точкови източници. Синергията между спътникови инструменти с различна пространствена разделителна способност като TROPOMI, GHGSat, MethaneSat, PRISMA осигурява икономически ефективни мерки за идентифициране на източниците на емисии на ниво съоръжение. Откриването на зони с високи емисии е най-целесъобразно да се извършва с помощта на данни от инструмента TROPOMI за тропосферен мониторинг на европейския спътник Sentinel-5P, който осигурява ежедневно глобално покритие с ширина на лентата на заснемане 2600 км и пространствена разделителна способност до 5,5 × 3.5 km^2 [7]. Тъй като тези изображения често са с висок процент на липсващи пиксели, е предложена методика за определяне на фоновите нива на метан за дадена област с помощта на уравнение (3) [3, 8].

(3) $$XCH4_{fn} = k * \mu - (k-1) * \bar{x},$$

където $XCH4_{fn}$ е фоновата оценка на метана, $\boldsymbol{\mu}$ е медианата, $\bar{\boldsymbol{x}}$ - средната стойност на набора от данни. По такъв начин дори и при относително нисък процент на налична информация можем да определим дали е налице емисионно събитие, както и да се очертаят зоните с по-високи концентрации над фоновите нива. По-прецизното определяне на оптичната дълбочина би помогнало в тази посока [9]. Дневният шлейф се определя като функция на скоростта и посоката на вятъра. Трябва да се има предвид, че вятърът на повърхността се влияе от топографията, и това трябва също да бъде отчетено при изчисляване на емисиите. Прецизното очертаване на шлейфа и отчитането на посоката на вятъра позволяват да се локализира с по-голяма точност точковия източник на емисии. След това с помощта на хиперспектрални инструменти с целеви режим като PRISMA и GHGSat те могат да се оценят количествено. Именно комбинирането на тези разнообразни потоци от данни значително подобряват скоростта и прецизността, а също и икономическата ефективност в работата по откриване, локализиране и количествено определяне на емисиите. Но този поток от данни изисква и наличието на специализирана web-базирана организация на спътниковите изображения, подобна на представената от [10].

Заключение

Разработването на комплексен модел за определяне на скоростта и количеството на отделяния в атмосферата сметищен газ е сложен процес, който изисква интегрирането на различни по вид и формат данни както от наземни, така и от сателитни източници. Нелинейният характер в динамиката на тези емисии се обуславя от наличието на множество променливи, чието отчитане в обобщения модел е необходимо условие за получаване на по-точни количествени оценки. Оформянето на отделните модули е в процес на финализиране и тестване.

Литература:

1. CCAC, Climate and Clean Air Coalition (CCAC), United Nations Environment Programme (UNEP) Global Methane Assessment (full report), 2021, https://www.ccacoalition.org/en/resources/global-methane-assessment-full-report.
2. Holoboff, James, Which is Better - Bottom-up or Top-down Emissions Estimates?, 2021, https://processecology.com/articles/which-is-better-bottom-up-or-top-down-emissions-estimates.
3. Trenchev, P. Use of Satellite Data with Medium Spatial Resolution to Detect Atmospheric Methane Pollution. Ph.D. Thesis, Space Research Institute at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria, November 2022.
4. Georgieva, E., Atanassov D., Spassova T., Batchvarova E., Syrakov D., Dimitrova, M., Nedkov R., Veleva B. Satellite information downscaled to urban air quality in Bulgaria - Project description 2019 Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology, 23, 2, 2019, ISSN:2535-0595, pp. 47–60.
5. Gollapalli, M., Sri Harsha Kota. Methane emissions from a landfill in north-east India: Performance of various landfill gas emission models. Environmental Pollution, v. 234, March 2018, pp. 174–180.
6. USEPA, 2005 USEPA Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide EPA-600/R-05/047.
7. Lorente, A., Borsdorff, T., Butz, A., Hasekamp, O., aan de Brugh, J., Schneider, A., Wu, L., Hase, F., Kivi, R., Wunch, D., Pollard, D. F., Shiomi, K., Deutscher, N. M., Velazco, V. A., Roehl, C. M., Wennberg, P. O., Warneke, T., and Landgraf, J.: Methane retrieved from TROPOMI: improvement of the data product and validation of the first 2 years of measurements, Atmos. Meas. Tech., 14, 665–684, https://doi.org/10.5194/amt-14-665- 2021, 2021.
8. Trenchev, P.; Dimitrova, M.; Avetisyan, D. Huge CH_4, NO_2 and CO Emissions from Coal Mines in the Kuznetsk Basin (Russia) Detected by Sentinel-5P. *Remote Sens.* 2023, *15*, 1590. https://doi.org/ 10.3390/rs15061590.
9. Syrakov, D., Prodanova M., Georgieva E., Dimitrova, M., Spassova T., Atanassov D., Veleva B., Nedkov R. Aerosol optical depth calculations using the Bulgarian Chemical Weather Forecast System, 2019 Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology, 23, 2, 2019, ISSN:2535-0595, pp. 31–46.
10. Димитрова, М., Б. Велчева. Организация на специализирана web-база данни със спътникови изображения за екомониторинг на България, 2015, Proceedings of SES 2014, Space Research and Technology Institute - BAS, 2015, ISSN:1313-3888, pp. 435–439.

ПЛОЩАДКИ И ПРОБИ, СЛУЖЕЩИ ЗА КАЛИБРИРАНЕ НА ДАННИ ОТ ОПТИЧЕСКИ ДИСТАНЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ЛУНАТА

Искрен Иванов, Лъчезар Филчев

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

Ключови думи: *Калибриране, хиперспекрален спектрометър, Луна, Аполо 16, проба 62231*

Резюме: *Хиперспектралните спектрометри предоставят ценна информация за състава и историята на лунната повърхност, като позволяват нейното подробно дистанционно изследване и картографиране. Лунните проби, върнати на Земята от мисиите Аполо, Луна и Chang'E-5, отразяват характеристиките на конкретния лунен регион, от който произхождат. За да се създаде глобално калибриран набор от данни, който позволява кръстосано калибриране на различни мултинационални инструменти са избрани осем площадки за калибриране намиращи се на лунната повърхност. Площадка „Аполо 16“ е поставена на първо място в списък с Международни цели за научна координация/калибриране (L-ISCT) като част от международно сътрудничество и координационни усилия. Тя е избрана заради нейните оптимални калибрационни характеристики, които са определени чрез лабораторен анализ на лунна проба от повърхността 62231 от мисия Apollo 16. Площадка Apollo 16 и проба 62231 са от ключово значение за калибриране на данни получени от дистанционни изследвания на лунната повърхност във видимата и близката инфрачервена области на електромагнитния спектър. Калибрирането на данни от дистанционни изследвания на лунната повърхност в съответствие с предишни лунни мисии значително подпомага тяхното тълкуване и анализ.*

CALIBRATION SITES AND SAMPLES FOR OPTICAL REMOTE SENSING OF THE MOON

Iskren Ivanov, Lachezar Filchev

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

Keywords: *Calibration, Imaging spectrometer, Moon, Apollo 16, 62231 soil sample*

Abstract: *Hyperspectral spectrometers provide valuable information about the composition and history of the lunar surface, enabling detailed remote sensing and mapping. Lunar samples returned to Earth by the Apollo, Luna, and Chang'E-5 missions reflect the characteristics of the particular lunar region from which they originated. To create a globally calibrated dataset that allows cross-calibration of different multinational instruments, eight calibration sites located on the lunar surface were selected. The Apollo 16 site was placed first on a list of International Science Coordination/Calibration Targets (L-ISCT) as part of an international cooperation and coordination effort. It was selected for its optimal calibration characteristics, which were determined by laboratory analysis of lunar surface sample 62231 from the Apollo 16 mission. The Apollo 16 site and sample 62231 are keys to calibrating lunar surface remote sensing data in the visible and near infrared regions of the electromagnetic spectrum. Calibrating data from remote sensing of the lunar surface in accordance with previous lunar missions greatly aids their interpretation and analysis.*

Въведение

Един от методите за дистанционно изследване състава на лунната повърхност е посредством хиперспектрални спектрометри. Чрез тях се регистрират данни съдържащи спектрални отражателни характеристики на материалите изграждащи изследваната повърхност, извършва се картографиране и анализ. Данните получени от спектрометри подлежат на

калибриране, което преминава през процеса на изработка, извършва се по време на тяхната работа и след приключване на конкретната задача, за която са предназначени. Калибрирането на инструмента е дълъг, сложен и динамичен процес, който непрекъснато се подобрява и усъвършенства. Методите за калибриране се влияят от дизайна на инструмента, материалите и технологиите по които са изработени неговите компоненти. Изработването им се извършва в изпълнение на предварително зададени, конкретни изисквания за ефективност, за получаване на качествени данни предназначени за постигане на предначертаните научни цели [1]. Всеки спектрометър се подлага на лабораторно калибриране, калибриране преди изстрелване и такова в работни условия (по време на полет и в орбита). Това се постига чрез съпоставка на измерените характеристики на инструмента преди изстрелване и измерване на характеристиките му по време на полет, като за целта се заснемат известни калибрационни цели [2]. По време на лабораторната фаза дизайнът на инструмента се тества за установяване на строго специфичните недостатъци/ефекти с цел тяхното последващо изчистване. Чрез процеса на калибриране се гарантира, че всички оптико-механични, термични и електронни подсистеми отговарят на изискванията. Тези процеси се осъществяват чрез провеждане на серия от всеобхватни спектрални светлинни измервания, извършвани многократно. По време на измерванията инструмента е поставен във вътрешността на термична вакуумна камера, с помощта на която се симулират работните условия в които ще оперира спектрометъра, а именно космическото пространство [3]. Пълните и всеобхватни измервания на инструмента, неговото характеризиране, позволява нормализиране на нежеланите ефекти в регистрираните данни причинени от компонентите на инструмента. Целта на настоящото изследване е да се изготви обзор на площадките и пробите служещи за калибриране на данни от оптически дистанционни изследвания на Луната. Обзорът е изготвен на база преглед на наличната реферирана и нереферирана литература.

Опасности за електронната техника в космическото пространство

Устройствата в лунна орбита са силно уязвими, поради липсата на атмосфера и силно магнитно поле, около Луната. В открития космос, електронната техника (каквато е всеки спектрометър) е подложена на големи температурни промени, повишена галактическа и слънчева радиация, риск от сблъсък с високо енергетични заредени частици, микрометеорити и космически отпадъци. Тези сурови работни условия, с времето, засягат компонентите на инструмента, възпрепятстват нормалното му функциониране и причиняват щети и повреди [4]. Силните вибрации по време на извеждане в космоса, продължителното пътуване до Луната и суровата космическа среда е възможно да изменят лабораторно установените характеристиките, преди неговото извеждане в космоса. Необходими са системни проверки на състоянието на инструмента с цел коректно калибриране на изходните данни [5]. Лабораторно установените характеристики се прилагат за проследяване състоянието на инструмента и установяване на несъответствия в получените изходни данни. За целта се извършва периодично заснемане на площадки за калибриране намиращи се на лунната повърхност. Извършва се съпоставка на регистрираните данни от инструмента с данните регистрирани при предходни орбитални прелитания, регистрирани от орбитални инструменти от предходни лунни мисии и наземни телескопи. Тези данни са съпоставими в следствие на изключително високата стабилност на лунното албедо (отражателна способност на повърхността на Луната), вариращa с по-малко от 1% на милиард години. За установяване на отражателната стабилност е отчетена липсата на значителна вулканична дейност на лунната повърхност през Коперниканската селенологична ера (последните 1,2 милиарда години). Тази висока стабилност на албедото на Луната позволява нейното прилагане за фотометричен еталон [6]. Някои от площадките за калибриране на данни от дистанционни изследвания на лунната повърхност са определени области на Луната, от които има взети, върнати и лабораторно изследвани почвени, скални и реголитни проби, от мисиите Аполо и Луна. За други са налични данни от проведени изследвания с наземни телескопи, коригирани за атмосферни влияния или са налични данни от проведени заснемания от предходни мисии. Техните спектрални отражателни характеристики във видимата и близка инфрачервена области на ЕМС (електромагнитен спектър) са известни от лабораторни изследвания или предходни заснемания. Всеобщо приложение намира площадка за калибриране „Аполо 16“, а в миналото за калибриране на данни от наземни телескопи е заснемана площадка Mare of Serenitatis (MS2) [7][8].

В резултат на обсъждания проведени на глобално ниво, на научни форуми, по програма COSPAR в Пекин и на 8th International Conference on Exploration and Utilization of the Moon са предложени Лунни международни цели за научно калибриране/координиране (L-ISCT), списък включващ осем площадки за калибриране [9]. Концепцията получава одобрение от международната общност и е включена в Lunar Beijing Declaration от 2006 г. [10]. Целта е чрез

предстоящите мисии за дистанционно изследване на Луната: SELENE (JAXA), Chang'E (CNSA), Chandrayaan-1 (ISRO) и LRO (NASA) заснемането на предложените площадки за калибриране да създаде калибриран глобален набор от данни, който да даде възможност за сравнение и взаимно калибриране на данните получени от различните инструменти. Избрани са осем площадки, наименувани „Международни цели за научна координация/калибриране (L-ISCT)", които са от значителен научен интерес. Препоръчва се площадките за калибриране, също така да служат за обучение на млади учени с интереси в областта. Насърчават се всички екипи да участват в координирана дейност по ранно изнасяне на данни, която да подобри тяхното взаимно калибриране и валидиране. При определяне на списъка са взети предвид ограничените ресурсите на орбиталните космическите летателни апарати. Площадките са избрани заради техните оптимални характеристики позволяващи калибриране на инструменти, заснемащи изображения, UV-Vis-NIR спектроскопия, гама-спектроскопия, рентгенова и неутронна спектроскопия, както и висотомери, термични, радарни и микровълнови изследвания.

8-те площадки за калибриране от списъка L-ISCT

Площадка за калибриране № 1 „Аполо 16", намираща се на видимата страна на Луната, оглавява списъка L-ISCT. Разположена е на ~10 km западно от мястото на прилуняване на мисията Аполо 16. Площадката представлява голяма площ изградена от сравнително еднороден брекчиран фелдшпат, проби от който са лабораторно анализирани благодарение на взетите проби [11,12]. Площадката е ключова за калибриране на лунни спектроскопски данни със спектралните отражателни характеристики на лунна почвена проба 62231 (високопланинска и повлияна от космическата среда) [11,13-15]. На територията на площадката се намират „свежи кратери" с различни размери, които са изровили свеж материал контрастиращ на фона на високопланинския и повлиян от космическата среда фелдшпатен терен, позволяващи изследване на космическото изветряване и влиянието му върху композиционния анализ на данни от дистанционни изследвания.

Площадка за калибриране № 2 „Кратер Лихтенберг" е с диаметър от ~20 km. В региона съществуват два много различни типа базалт. Сравнително стари базалти с ниско съдържание на Ti (титан) и много по-млади базалти с високо съдържание на Ti. В източна посока, в района около кратера Лихтенберг, са разположени по-млади базалти, покриващи материала изровен и изхвърлен при неговото образуване [16].

Площадка за калибриране № 3 „Аполо 15 канал Хадли" [17] е с обща дължина от 80 km широчина от 1,2 km и над 300 m дълбок криволичещ канал. Астронавтите от мисия Аполо 15 откриват открит скален масив, от който взимат няколко проби. Наблюдаваните слоеве имат приблизителна дебелина до 60 m и са с различно албедо и текстура. Пробите представят два различни базалта, високопланински скали, анортозити, богати на Mg (магнезий) плутонични скали, стопилки образувани вследствие на удари, гранулити и брекчи. Открит е базалт, богат на KREEP (K (калий) редки земни метали и P (фосфор)) и пирокластично зелено стъкло с ултраосновен състав.

Площадка за калибриране № 4 „Южен полюс-басейн Ейткен" [18] се намира на скритата от Земята страна на Луната. Басейна привлича научния интерес със своя диаметър от ~2500 km, сложна структура и дълбочина от ~13 km. Простира се от Южния полюс до кратера Ейткен, намиращ се на 17° от лунния екватор. Басейнът е най-големият, най-дълбокият и най-старият документиран ударен басейн на Луната [19]. Въпреки огромния си размер и дълбочина басейнът не е запълнен с базалти и вътрешността му е изградена от материали изровени от удара, при който се е образувал (материал от долната част на кората и/или евентуално материал от мантията). Басейна повдига въпроси относно еволюцията на лунната повърхност и вътрешността ѝ с концентрация на радиоактивните химически елементи в северозападния район на басейна за произхода на които има различни хипотези.

Площадка за калибриране № 5 „Кратер Тихо" е голям кратер с диаметър 84 km, образуван преди ~100 милиона години (по време на Коперниканската геоложка епоха). Разположен е в южната централна част на видимата страна на Луната. При образуването му се е оформила обширна система от лъчи, простираща се на хиляди километри върху лунната повърхност (материал, който все още не е повлиян от космическото изветряване) и изявен централен връх във вътрешността [20].

Площадка за калибриране № 6 "Сенчест полярен регион" е центрирана върху кратера Idel'son L с диаметър от 28 km, разположен на 6° от Южния полюс. Този регион е изпълнен с дълбоки сенки и разнообразен релеф силно разсейващ светлината. Не е открито високо съдържание на H (водород) и по този начин осигурява референтен фон за H изследвания на полюса [21].

Площадка за калибриране № 7 “Северен Шрьодингер”. Басейнът Шрьодингер е разположен близо до Южния полюс в басейна на Южния полюс-Айткен и се приема, че вероятно е изровил материали през дъното на басейна, които могат да се считат за такива от древните материали образували лунната кора и/или горната част на мантията. Материалите разположени в басейна Шрьодингер образуват големи равни пространства характеризиращи се с гладки до грапави повърхности по които са образувани пукнатини [22]. Фокусът е върху зона включваща части от северния ръб на кратера и вътрешността. Разположението на кратера позволява честото му заснемане от инструментите на сателити в полярна орбита. Топографията му включваща едновременно гладък и грапав терен е подходяща за фотометрично и топографско калибриране на инструменти.

Площадка за калибриране № 8 “Море на спокойствието” включва южния ръб на морето образувано преди 3,9 и 3,8 милиарда години, по време на период, от историята на Луната, на силно бомбардиране от астероиди. През този период са се образували основните и най-големи ударни басейни на Луната. В последствие силен вулканизъм изпълва басейна с базалт формиращ равна повърхност, върху която е центриран оптичен стандарт MS2 в Mare Serenitatis, ползван за калибриране на данни от наземни телескопи изследващи Луната. В Море на спокойствието се намира мястото, на което се прилунява мисията Аполо 17 [23]. Площадката за калибриране включва сравнително хомогенен базалт с ниско съдържание на титан граничещ на юг с Mare Tranquillitatis и неговият по-стар и богат на титан базалт. Разликата между двата вида базалт е видна от разликите в албедото и цвета на двата терена.

Предложена нова площадка за калибриране „CE-3“

Chang’e-3 (CE-3) успешно се приземи на 19.51256°W и 44.11884°N на изток от Sinus Iridum в Море Имбриум на 14 декември 2013 г. [24]. Тази мисия включва първия лунен роувър Yutu на Китайската космическа агенция CNSA, чийто спектрометър (VNIS) заснема спектралните отражателни характеристики на материала по повърхността на Луната *in situ*. Мястото на което CE-3 се прилунява е предложено за нова площадка за калибриране. Данните от VNIS *in situ* разкриват, композиция на материала с много ниско албедо, което предполага висока концентрация на FeO и TiO_2. Данните от VNIS попадат по стойности между тези заснети от широкоъгълната камера на Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC WAC) и Spectral Profiler (SP) от мисията SELENE на JAXA и тези от Moon Mineralogy Mapper (M3) от мисията Chandrayaan-2 и Imaging Infrared Mapper (IIM) от мисията Chang’e-1. Материалът покриващ площадката за калибриране CE-3 е по-млад и по-малко повлиян от космическото изветряване в сравнение с често използваните площадки за калибриране на Аполо 16 и Море на спокойствието MS2 [25].

Калибриране с проби от лунната повърхност

Лунните проби, върнати на Земята, представляват значителен актив, позволяващ на учените да измерват точно техните отразяващи свойства при лабораторни условия на Земята. Програмата Аполо, мисиите Луна и Chang'E 5 върнаха проби от лунната повърхност, скали, почва и реголит [27]. Спектралните отражателни характеристики във видимия и близкия инфрачервен спектрален диапазон на пробите от мисиите Аполо са измерени от Reflectance Experiment Laboratory (RELAB) и са включени в Lunar Sample Compendium (nasa.gov) [11,13]. Тези проби, след щателно изследване и селекция представят характеристиките на конкретния лунен регион, от който произхождат. Те служат като основна референтна стойност за инфрачервени отражателни спектрални характеристики [27]. Площадката за калибриране **„Аполо 16“**, има референтен спектър благодарение на лабораторно изследвана проба 62231 [11], която е стандарт за спектрално калибриране [30]. Спектралните отражателни характеристики на проба 62231 се прилагат за калибриране на данните от хиперспектрални спектрометри за изследване минералния състава на лунната повърхност и картографиране [3].

Площадката за калибриране „Аполо 16“ и референтната проба 62231 са приложени за калибриране на данните от дистанционните изследвания проведени от мисията Клементайн на NASA и позволиха по-прецизни наблюдения и измервания [13]. Преди 1980 г. широко приложение за калибриране на данни от наземни телескопи намира площадка Mare Serenitatis, наричана MS2. Проба от лунна почва 62231 от мисията Аполо 16, която е високопланинска почва повлияна от космическото изветряване стандарт се ползва за калибриране на данни от дистанционно наблюдение на Луната във видимия и близкия инфрачервен диапазон. Данните от хиперспектралните спектрометри, част от полезния товар на мисиите Clementine, SMART-1, SELENE, Chang'E-1, Chandrayaan-1, са калибрирани в съответствие със спектралните отражателни характеристики на пробата 62231 [13] в съответствие с предишни изследвания проведени от мисии до Луната и наземни телескопи, което значително подпомага тълкуването и анализът на данните.

Заключение

Площадките за калибриране на Лунната повърхност се използват за калибриране на данни от орбитални апарати и на данни от наземни телескопи. Това калибриране води до по-добри резултати в сравнение с прилаганото до преди това калибриране чрез заснемане на звезди или звездни модели. Калибрирането, чрез заснемане на площадка „Аполо 16“ и проба 62231, предоставя данни от дистанционни изследвания на Луната калибрирани с помощта на проби от лунната повърхност. Стандартната почвена проба за калибриране 62231 представя характеристиките на специфичния лунен регион, от който произхожда и служи като референтна проба с лабораторно изследваните ѝ спектрални отражателни характеристики. Последователната интерпретация и анализ на минералогията на лунната повърхност значително се подпомагат от привеждане на данните в съответствие с данните от предходни лунни мисии и наземни телескопи. Тези площадки за калибриране и спектрални отражателни характеристики на проби, за момента, са най-добрите с които научната общност разполага, за да изследва и разбере произхода, еволюцията и селенологията на Луната. Калибрирането на данни от дистанционни изследвания за анализиране състава на планетарния реголит и в наши дни е динамичен процес, който продължава да се обновява, усъвършенства и развива.

Литература:

1. Atanassov, V., Jelev, G., & Kraleva, L. (2005). Imaging spectrometer data correction*, Space Ecology Safety*, 2005.
2. Filacchione, G., Capaccioni, F., Ammannito, E., Coradini, A., De Sanctis, M. C., & Piccioni, G. (2009). Calibration pipeline of VIS-NIR imaging spectrometers for planetary exploration: The rosetta VIRTIS-M case. 2009 *First Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing*, 1–4. https://doi.org/10.1109/WHISPERS.2009.5289050.
3. Green, R. O., Pieters, C., Mouroulis, P., Eastwood, M., Boardman, J., Glavich, T., Isaacson, P., Annadurai, M., Besse, S., Barr, D., Buratti, B., Cate, D., Chatterjee, A., Clark, R., Cheek, L., Combe, J., Dhingra, D., Essandoh, V., Geier, S., … Wilson, D. (2011). The Moon Mineralogy Mapper (M^3) imaging spectrometer for lunar science: Instrument description, calibration, on-orbit measurements, science data calibration and on-orbit validation. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 116(E10). https://doi.org/10.1029/2011JE003797.
4. Lu, Y., Shao, Q., & Yue, H. (2019). A Review of the Space Environment Effects on Spacecraft in Different Orbits. *IEEE Access*, PP, 1–1. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2927811.
5. Vilenius, E., Mall, U., & Kaydash, V. (2006). In-flight calibration of SIR near infrared spectrometer onboard SMART-1 (p. 139). https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2006epsc.conf..139V.
6. Kieffer, H.H. Photometric Stability of the Lunar Surface*. Icarus* 1997, 130, 323–327, doi:10.1006/icar.1997.5822.
7. Seelin, kiran kumar, roy chowdhury, A., Murali, K., Sarkar, S., Joshi, S., Mehta, S., Shah, K., Banerjee, A., Mathew, K., & Sharma, B. N. (2009). The Hyper Spectral Imager Instrument on Chandrayaan-1. 1589.
8. Matsunaga, T., Ohtake, M., Haruyama, J., Ogawa, Y., Yokota, Y., Morota, T., Honda, C., Torii, M., Nakamura, R., & Kodama, S. (2008). Kaguya(SELENE) / Spectral profiler : In-flight performance and future plan.
9. Pieters, C. M., Head, J. W., Isaacson, P., Petro, N., Runyon, C., Ohtake, M., Föing, B., & Grande, M. (2008). Lunar international science coordination/calibration targets (L-ISCT). *Advances in Space Research*, 42(2), 248–258. https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.05.038.
10. Foing, B. H., & Wu, J. (2008). Beijing Lunar Declaration 2006. Advances in Space Research, 42(2), 244–245. https://doi.org/10.1016/j.asr.2008.03.01511. Wu, Y., Xu, X., Xie, Z., & Tang, Z. (2009). Absolute calibration of the Chang'E-1 IIM camera and its preliminary application. *Science in China Series G: Physics, Mechanics and Astronomy*, 52(12), 1842–1848. https://doi.org/10.1007/s11433-009-0282-z.
11. Meyer, C. (2010). Meyer, Charles. (2004). Carbon content and maturity index for 62241, Lunar Sample Compendium. *NASA STI/Recon Technical Report* N. 6. 11039. https://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/index.cfm.
12. Wagner, R., Speyerer, E., Burns, K., Danton, J., & Robinson, M. (2012). REVISED COORDINATES FOR APOLLO HARDWARE. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B4, 517–521. https://doi.org/10.5194/ isprsarchives-XXXIX-B4-517-2012.
13. Carlé M. Pieters. (1999). The moon as a spectral calibration standard enabled by lunar samples: the clementine example. Dept. Geological Sciences, *Brown University*, Providence, RI 02912
14. https://sites.brown.edu/relab/apollo-16-soil-62231/ - достъпен на 17.10.2023 г.

15.https://sites.brown.edu/relab/lscc/ - достъпен на 17.10.2023 г.
16.Hawke, B. R., Blewett, D. T., Lucey, P. G., Smith, G. A., Bell, J. F., Campbell, B. A., & Robinson, M. S. (2004). The origin of lunar crater rays. *Icarus*, 170(1), 1–16. https://doi.org/10.1016/j.icarus.2004.02.013.
17. AS15-M-0414 Mapping Camera on the Apollo 15 CSM Endeavour.
18.Czaplinski, E. C., Harrington, E. M., Bell, S. K., Tolometti, G. D., Farrant, B. E., Bickel, V. T., Honniball, C. I., Martinez, S. N., Rogaski, A., Sargeant, H. M., & Kring, D. A. (2021). Human-assisted Sample Return Mission at the Schrödinger Basin, Lunar Far Side, Using a New Geologic Map and Rover Traverses. *The Planetary Science Journal*, 2(2), 51. https://doi.org/10.3847/PSJ/abdb34.
19. Petro, N. E., & Pieters, C. M. (2004). Surviving the heavy bombardment: Ancient material at the surface of South Pole-Aitken Basin. *Journal of Geophysical Research*: Planets, 109(E6). https://doi.org/10.1029/2003JE002182.
20.Bugiolacchi, R., Mall, U., Bhatt, M., McKenna-Lawlor, S., & Ullaland, K. (2013). From the Imbrium Basin to crater Tycho: The first regional spectral distribution map derived from SIR-2 near-infrared data. Icarus, 223(2), 804–818. https://doi.org/10.1016/j.icarus.2013.01.018.
21.Bussey, D. B. J., Lucey, P. G., Steutel, D., Robinson, M. S., Spudis, P. D., & Edwards, K. D. (2003). Permanent shadow in simple craters near the lunar poles. *Geophysical Research Letters*, 30(6). https://doi.org/10.1029/2002GL016180.
22.Mest, S. (2011). The geology of Schrödinger basin: Insights from post-Lunar Orbiter data. *Special Paper of the Geological Society of America*, 477, 95–115. https://doi.org/10.1130/2011.2477(04).
23. Foing, B., Racca, G., Josset, J.-L., Koschny, D., Frew, D., Almeida, M., Zender, J., Heather, D., Peters, S., Marini, A. E. A., Stagnaro, L., Beauvivre, S., Grande, M., Kellett, B., Huovelin, J., Nathues, A., Mall, U., Ehrenfreund, P., & McCannon, P. (2008). SMART-1 highlights and relevant studies on early bombardment and geological processes on rocky planets. *Physica Scripta*, 2008, 014026. https://doi.org/10.1088/0031-8949/2008/T130/014026.
24. Li, S., Jiang, X., & Tao, T. (2016). Guidance Summary and Assessment of the Chang'e-3 Powered Descent and Landing. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 53(2), pp. 258–277. https://doi.org/10.2514/1.A33208.
25. Wu, Yunzhao, Wang, Zhenchao, Cai, Wei, & Lu, Yu. The Absolute Reflectance and New Calibration Site of the Moon. United States. Wu, Yunzhao, Wang, Zhenchao, Cai, Wei, & Lu, Yu. The Absolute Reflectance and New Calibration Site of the Moon. United States. https://doi.org/10.3847/1538-3881/AABAF5.
26. Li, C.-L., Mu, L.-L., Zou, X.-D., Liu, J.-J., Ren, X., Zeng, X.-G., Yang, Y.-M., Zhang, Z.-B., Liu, Y.-X., Zuo, W., & Li, H. (2014). Analysis of the geomorphology surrounding the Chang'e-3 landing site. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 14(12), pp. 1514–1529.
27. Morlok, A., Joy, K. H., Martin, D., Wogelius, R., & Hiesinger, H. (2022). Laboratory IR spectroscopy of soils from Apollo 14, 15, and 16: Spectral parameters and maturity. Planetary and Space Science, 223, 105576. Morlok, A., Joy, K. H., Martin, D., Wogelius, R., & Hiesinger, H. (2022). Laboratory IR spectroscopy of soils from Apollo 14, 15, and 16: Spectral parameters and maturity. *Planetary and Space Science*, 223, 105576. https://doi.org/10.1016/j.pss.2022.105576.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА БЕЗПИЛОТНИТЕ ЛЕТАТЕЛНИ ПЛАТФОРМИ В АРХЕОЛОГИЧЕСКИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Милен Чанев[1], Павел Попов [2], Кристиан Александров[3]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: mchanev@space.bas.bg;
[2]Регионален исторически музей- Плевен
e-mail: pavelpopov@mail.bg
[3]Експерт географски информационни системи
e-mail: kristian.kr.aleksandrov@gmail.com

Ключови думи: *БЛА, фотограметрия, мултиспектрални данни, археология*

Резюме: *Аерокосмическите методи традиционно намират голямо приложение в археологията. Проблемът при тях е, че са скъпи и с ниска времева и пространствена разделителна способност. С развитието на технологиите през последните години системите за безпилотни летателни апарати (БЛА) стават все по-подходящи за прилагане в археологията [Rinaudo et al. 2012]. Последните подобрения в БЛА платформите и анализа на обработката на изображения могат да бъдат използвани в подкрепа на археологическите изследвания. През последното десетилетие в литературата се съобщава за увеличеното използване на сензори за дистанционно наблюдение и техните продукти за археологически науки и проучвания на културното наследство [Argyrou et al. 2023]. В този доклад са представени част от възможностите, които БЛА и представят за археологически изследвания. Необходимо е да се спомене, че в доклада не са разгледани всички типове сензори и данни, които могат да се предоставят от БЛА платформите. Данните от БЛА помагат на археолозите за онагледяване на фактическата обстановка, както в самите археологически обекти така и за забелязване на детайли, невидими от земята и позиционирането им в околният ландшафт. Данните придобити от БЛА се доказват като много ценни при археологически изследвания, но са необходими още изследвания в тази област.*

APPLICATION OF UNMANNED AERIAL PLATFORMS IN ARCHAEOLOGICAL RESEARCH

Milen Chanev[1], Pavel Popov[2], Kristian Aleksandrov[3]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: mchanev@space.bas.bg
[2]Regional Historical Museum – Pleven
e-mail: pavelpopov@mail.bg
[3]Expert geographic information systems
kristian.kr.aleksandrov@gmail.com

Keywords: *UAV, photogrammetry, multispectral data, archaeology*

Abstract: *Aerospace methods have traditionally found great use in archaeology. The problem with them is that they are expensive and have low temporal and spatial resolution. With the development of technology in recent years, unmanned aerial vehicle (UAV) systems have become increasingly suitable for application in archeology [Rinaudo et al. 2012]. Recent improvements in UAV platforms and image processing analysis can be used to support archaeological research. In the last decade, the increased use of remote sensing sensors and their products for archaeological sciences and cultural heritage studies has been reported in the literature [Argyrou et al. 2023]. This report presents some of the opportunities that UAVs present for archaeological research. It should be mentioned that the report does not cover all types of sensors and data that can be provided by UAV platforms. UAV data helps archaeologists to visualize the actual situation, both in the archaeological sites themselves and to notice details invisible from the ground and their positioning in the surrounding landscape. Data acquired by UAVs is proving to be very valuable in archaeological research, but more research is needed in this area.*

Въведение

Използването на БЛА платформи в археологията става все по-разпространено заради бързината на проучването която предоставя, разходите и точността на получените данни [Brutto et al. 2012]. Употребата на технологията на БЛА е много подходяща за археолозите, тъй като тя позволява да се обследват големи площи с и да се получат данни с много висока пространствена разделителна способност. Получените данни са много подходящи за планиране прилагането на традиционните методи в археологията. Данните от БЛА платформите, могат да се използват за съставяне на ортофото карти, цифрови модели на терена или Digital Terrain Model (DTM). Като при последваща обработка на данните помагат да послужат за документиране и идентифициране на археологически райони. Като друго голямо предимство е, че тези платформи могат да носят на борда си различни видове сензори, включително мултиспектрални, инфрачервени и термични [Themistocleous et al. 2014]. Употребата на БЛА намира много голямо приложение при документиране и наблюдение, както при археологически обекти, така също и при културното историческо наследство. Изображенията получени от БЛА платформи са с голяма разделителна способност. Този тип изображения с висока разделителна способност намират приложение за бързото генериране на 3D цифрови модели на различни археологически обекти, които се използват за реконструкция на обектите [Themistocleous, K. 2020]. Според Campana (2017) употребата на БЛА с монтирани на тях различни видове сензори намира приложение в археологическите изследвания в няколко области:

- Триизмерна (3D) документация на археологически разкопки;
- 3D проучване на паметници и исторически сгради;
- Проучване на археологически обекти и ландшафти;
- Въздушно проучване на територии;
- Археологическо проучване на гористи местности;
- Ортофото заснемане с БЛА;

Като допълнение ние посочваме и създаване на дигитален модел на терена DTM на обследваната територия.

Употребата на БЛА при археологически изследвания има и приложение при популяризирането им чрез създаването на цифрови близнаци на обектите освен, че помага на археолозите по-добре да изследват строителните технологии от миналото, но БЛА технологията допринася за опазването на културното наследство, като предоставя нови дигитални възможности, както в образованието, така и в туристическия сектор, дава и нови изследователски пътища за разбиране, и преживяване на древни структури [Stanga et al. 2023].

Приложение на ортофото заснемане с БЛА в археологията

Ортофото заснемането предоставя изображения, при които са направени различни геометрични корекции. В получените изображения са премахнати всички изкривявания, дължащи се на ъгъла на камерата и на релефа, като по този начин изображенията съчетават в себе си, както характеристиките на изображението на снимка, така и геометричните качества на карта. Ортофото изображенията стават много предпочитани в археологически изследвания, тъй като те предоставят, топографска информация и много подробен картинен изглед за изследвания район [Wemegah & Amissah 2013; Liu et al. 2018; Korumaz & Yıldız 2021]. Като основни предимства на метода на ортофото заснемането заради, които археолозите предпочитат да го прилагат в своите изследвания се посочват:

- Методът е гъвкав и позволява информация, която може лесно да се споделя;
- Съдържа всичко от оригиналната снимка;
- Изработва се за кратко време;
- Предоставя актуална информация;
- Има геометричната точност на карта;
- Има всички визуални характеристики на изображение

Основни предимства на приложение БЛА в археологическите изследвания се посочват и бързото, прецизно и евтино събиране на данни, без да се увреждa археологическият район, като същевременно се избягват и човешките грешки, които често възникват при класическото топографско заснемане in situ. С наличните масови БЛА технологии към момента, които са сравнително лесно достъпни и правейки сравнение с конвенционалната технология на ортофото заснемане се прави извода, че БЛА са по-удобни за събиране на данни за малки площи [Senkal et al. 2021]. Развитието през последните десет години на БЛА технологиите дадоха и голям тласък на развитието на ортофото заснемането с БЛА, както и приложението на тази технология в археологическите проучвания.

Основни предимства за прилагане в археологията на БЛА технологията са: достъпността, бързината и нивото на точност, която предоставят изображенията получени от БЛА. Ортофото

заснемането с помощта на БЛА придобива голямо значение за археологическите проучвания, тъй като технологията е бърза, много по-евтина в сравнение с класическата въздушна фотография и предоставя изображения с много висока разделителна способност [Korumaz & Yıldız 2021]. При археологическите проучвания е възможно да се използват фабрично произведени модели БЛА или такива, които са произведени по поръчка с определени технически спецификации. За проучване на селище от късната бронзова епоха в района на Халандрица, Западна Гърция Nikolakopoulos et al, (2017) използват два типа БЛА единият е квадракоптер на DJI Phantom 3 Advanced, който е с един кардан и носи една Red Green Blu камера (RGB) и един поръчков БЛА апарат, който е хексакоптер оборудван с два кардана, на които са монтирани две RGB екшън камери с пространствена разделителна способност 12 MP. Хексакоптера е оборудван и с Global Navigation Satellite System (GNSS) модул, който е с точност на позициониране е 2.5 m хоризонтално и 0.8 m вертикално. За оценка на точността на получените данни от заснемането с БЛА са направени и заснемане с двучестотен GPS Leica GS08 Plus с RTK корекции. Направено е и сравнение между получените данни от двата типа БЛА и изображения получени от класическата въздушна фотограметрия. Едните получени от квадракоптера с една камера, а другите от хексакоптера с две камери. като първата е насочена в надир, а втората по друг ъгъл с цел за обследване на територията и в различни аспекти. Целта на изследването е да се сравни качеството на получените два типа данни от двата БЛА платформа и от класическата въздушна фотограметрия, и да се определи, коя технология е по-подходяща да замени класическото топографско заснемане. При проучването екипът е установил точност на продуктите, получени от БЛА, която достига до 99,6% в сравнение с класическите топографски методи. Друго проучване проведено в Р. Турция при което е използван БЛА тип крило марка SmartPlanes Freya с монтирана на борда RGB камера марка Ricoh GR, която има пространствена разделителна способност от 16 MP, докладва за достигната точност от 95% [Korumaz & Yıldız 2021].

За подобряване на резултатите от заснемането с БЛА, когато при заснемането не са използвани (Real Time Kinematic) RTK корекции се препоръчва да се комбинират данните от БЛА с контролни наземни точки с цел подобряване точността на измерванията [Senkal et al. 2021]. Необходимостта от комбиниране на данни получени от БЛА с контролни наземни точки се потвърждава и при проучване възможностите за приложение на нискобюджетни БЛА системи. Посочва се, че при използване на DJI Phantom позициите, получени от аерофотография, произведени с некоригирани GPS-геотагове, варират най-много от местоположенията на контролните наземни точки, установена е и грешка във вертикална посока, което се обяснява с факта, че данните за надморската височина са получени от неточни GPS. За да се увеличи ефективността от заснемането с БЛА система е необходимо да се използва платформа с RTK, която ще осигури GPS данни, които ще помогнат да се премахне най-бавната част от работния процес на картографиране с БЛА платформа: поставяне и записване на контролни наземни точки [Hill, A. 2019]. БЛА платформи, които предоставят възможност за направата на ортофото мозайки с висока пространствена разделителна способност без използването на контролни наземни точки, е много ценно, тъй като значително намалява времето, прекарано на терен [Kaimaris & Tsokas 2023]. Понякога получените ортофото изображения съдържат данни или по-точно пиксели от археологически обекти или зони, които пречат на интерпретацията на данните. Най-често става въпрос за различни видови обекти като дървета, сгради, коли и хора, а понякога и за изкривяване, замъгляване или пиксели с липсващи данни. Най-новите тенденции в преодоляването на сегментацията на този тип данни са използването на методите на дълбокото обучение, като се достига до 90% точност на данните [Gök et al. 2023]. Това дава основание да се смята, че прилагането на БЛА технологията за ортофото заснемане и за археологически изследвания за доста надеждна, която може да замени класическото топографско заснемане in situ и класическата въздушна фотограметрия.

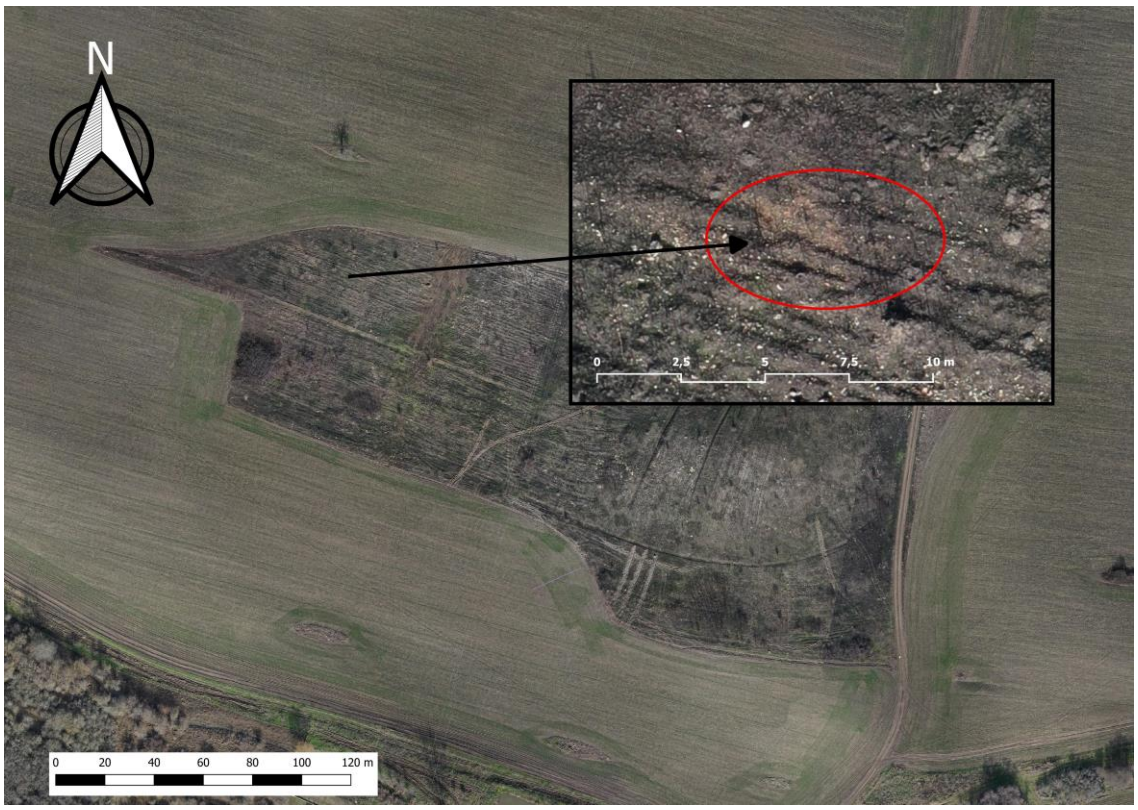
Употребата на БЛА при изследване на археологически обекти дава и някои допълнителни предимства, от който могат да се възползват широк кръг от експерти. Моделирането което може да се прави от получените данни позволява в моделите да се добавят различни параметри като по този начин могат да се тестват теории на различни експерти. 3D моделирането направено от БЛА данни подпомага работата на експертите в областта на строителната археология, като им дава възможност по-добре да разберат връзките между идентифицираните стратиграфски единици. Този тип данни способстват за предоставянето на тези модели на експерти от различни краища на планетата, които могат да участват в реставрацията на различни археологически обекти [Stanga et al. 2023].

През 2022 г. при теренни археологически проучвания извършени от колектива на дклада на територията, на община Плевен. Освен стандартните методи използвани по време на археологическите издирвания, беше използван и БЛА с цел прецизна документация на откритите археологически обекти. Регистрираните от екипа археологически обектите бяха заснети с два

БЛА DJI Mavic are 2 с монтирана RBG камера като заснемането беше приложено единствено спрямо обекти, които отговарят на предварително зададени критерии. Те трябва да попадат в обработваеми площ и да е налично достатъчно количество археологически материал по повърхността. С цел да могат резултатите да бъдат съпоставяни използвахме еднакви параметри на полета. Планирането на полетите се извърши през платформата DroneLink на височина 120 m, а камерата беше в позиция надир. По време на обхода бяха регистрирани общо 12 археологически обекта, от които само 5 попадат в обработваеми площи, които в момента на заснемане се извършваха различни агротехнически мероприятия. От събраната ортофото документацията заедно с генерираните DEM (Digital Elevation Model) спомогнаха за онагледяване на фактическата обстановка, както в самите археологически обекти така и за забелязване на детайли, невидими от земята и позиционирането им в околният ландшафт. Заснемането с БЛА на археологическите обекти спомогна за правилното и по-бързо определянето на техните граници. На Фиг. 1 и 2 е представено ортофото заснемане съответно в м. Тръстаря и м. Смърдля.

Фиг. 1. Ортофото заснемане на археологически обект с БЛА в м. Смръдля, общ. Плевен

На Фиг. 1 е представена ортофото заснемането с БЛА в м. Смръдля, голямо наличие на варовикови блокове, които са част от градежа на сгради. Разположението на варовиковите блокове не може да ни даде точна информация за плановете на сградите, но по тяхното групиране може да се определи до известна степен площта на сградите. Голямата пространствена разделителна способност която ни предоставя заснемането с БЛА позволи да се разграничат различни детайли от археологическите останки по повърхността. На изображението ясно се отличават големи петна от керамични фрагменти, които при проверка на терен се оказаха фрагменти от керемиди, сигурен индикатор за покривно покритие.



Фиг. 2. Ортофото заснемане на археологически обект с БЛА в м. Тръстаря, общ. Плевен

Фигура 2 показва, че в източният край на нивата цвета на седимента драстично се променя. В тази част откритият по време на теренната работа археологичен материал е малко или почти липсва, което е индикатор за граница обекта.

Приложение на БЛА с мултиспектрални камери в археологията

При археологическите проучвания в областта на фотограметрията все повече се използват мултиспектрални сензори в комбинация с RGB. Тези сензори са в състояние да открият количеството енергия, отразено от обекти на земната повърхност в различните дължини на вълните на електромагнитния спектър [Ronchi et al. 2023]. В археологическите проучвания все повече намират приложение и данните получавани от милтиспектрални камери монтирани на БЛА платформи. Този тип данни намират голямо приложение за откриване на аномалии в зоните на археологически изследвания. Методът придобива популярност сред археологическите среди заради неговата икономическа достъпност както и бързината на събиране на данните, и тяхната лесна обработка. Изброените до тук предимства на метода доведоха до неговото широко използване в археологията през последните години, като най-широко приложение намира при идентифицирането и характеризирането на археологически структури, заровени в обработваеми полета [Agudo et al. 2018; Ronchi et al. 2020; Ronchi et al. 2023]. Разликата между RGB и мултиспектралните камери, е че първите се използват, когато изследваната територия е открита и не е покрита от растителност например различни едногодишни посеви, храстови формации и/или дървета. Мултиспектралните сензори се използват, когато изследваната територия е покрита с различна растителност. Чрез тези данни получени от БЛА, е възможно да се открият разлики между зони с различна жизненост на растителността и да се създадат различни карти с вегетационни индекси, които да показват аномалии в растителността [Limongiello et al. 2016; Parrinello & Picchio 2019; Kalayci et al. 2019; Ronchi et al. 2023].

Климатичните изменение настъпили през последните десетилетия оказват сериозно влияние на състоянието на археологическите обекти. Същевременно увеличаващият се туристопоток допринася за деградацията и манипулирането на археологическите обекти. Мултиспектралните данни получени от БЛА платформи успешно се прилагат като неинвазивен метод, който може да помогне за откриването, наблюдението и смекчаването на щетите върху уязвими обекти от културното и историческо наследство.

Комбинирането на двата типа данни RGB и мултиспектрални се посочва като най-добрият метод за наблюдение на износването на растителността, причинено от посетители [Hollesen et al. 2023].

Въпреки, че са необходими още изследвания по въпроса мултиспектралните данни получени от БЛА платформи намират приложение, за пространствен и спектрален анализ, за разпознаване на археологически останки и тяхното картографиране. Установено е, че мултиспектралните сензори монтирани на БЛА платформи и усъвършенстваните техники за обработка на изображения могат да бъдат иновативни в археологическите изследвания. мултиспектралните данни предоставят по-добри възможности в сравнение с класификацията с RGB изображения по отношение разпознаване на археологически останки и тяхното картографиране [Argyrou et al. 2023].

След изработването на цифрови повърхностни модели и ортофото мозайки, както и създаването индексни карти поучени от мултиспектрални данни в комбинация с RGB данни от БЛА система WingtraOne GEN II, която притежава и RTK модул са установени 123 гроба, в района на Архаичният Акропол на Европос, важен археологически обект, в северна Гърция, който е бил обитаван от 7 век пр. н. е. до 4 век сл. н. е. които са били неизвестни до този момент на археолозите в северна Гърция [Kaimaris & Tsokas 2023]. Използването на различни видове данни получени от БЛА и сателитни платформи са спомогнали на археолозите за проучване на древният град Метапонто много важен град във формиращата се панорама на италианската Магна Греция и също така е един от най-важните и най-добре запазени археологически обекти в Южна Италия. Сателитните данни са допринесли за археологически разкрития в ландшафтен мащаб, както и в мащаб на обект, като палео-канали, канализационна система и главни пътища а, данните получени от БЛА платформа са спомогнали за откриването на малки елементи като второстепенни пътища, къщи, съоръжения и др. [Abate et al. 2023]. Използването на мултиспектрални данни от БЛА може да позволи разработването на полуавтоматични процедури за откриване на археологически обект. Това може да се постигне чрез визуален анализ и статистическа валидация. Сензора Sequoia е ефективен при откриването на заровени археологически структури, показвайки тясно съответствие с резултатите от геофизични проучвания и потвърдени от разкопки [Carmona et al. 2020].

Заключение

Основни предимства на приложение БЛА в археологическите изследвания се посочват и бързото, прецизно и евтино събиране на данни, без да се уврежда археологическият район, като същевременно се избягват и човешките грешки, които често възникват при класическото топографско заснемане in situ.

Прилагането на БЛА технологията за ортофото заснемане и за археологически изследвания е надеждна технология, която може да замени класическото топографско заснемане in situ и класическата въздушна фотограметрия.

БЛА технологията е по-бърз и евтин метод, който може да бъде прилаган за изследвания и на малка територия и може да предоставя данни на експертите археолози от различни видове сензори.

За да се увеличи ефективността от заснемането с БЛА система е необходимо да се използва платформа с RTK, която ще осигури GPS данни, които ще помогнат да се премахне най-бавната част от работния процес на картографиране с БЛА.

Мултиспектралните данни получени от БЛА помагат, за пространствен и спектрален анализ, за разпознаване на археологически останки и тяхното картографиране.

Мултиспектралните сензори се използват, когато изследваната територия е покрита с различна растителност.

Данните придобити от БЛА помагат за онагледяване на фактическата обстановка, както в самите археологически обекти така и за забелязване на детайли, невидими от земята и позиционирането им в околният ландшафт.

Данните придобити от БЛА се доказват като много ценни при археологически изследвания, но са необходими още изследвания в тази област.

Литература:

1. Abate, N., Roubis, D., Sogliani, F., Vitale, V., Sileo, M., Arzu, P., Lasaponara, R. & Masini, N. (2023). Integrated use of GIS and remote sensing techniques for landscape-scale archaeological analysis: the case study of Metaponto, Basilicata, Italy. Exploration Geophysics, pp. 1–12.
2. Agudo, P. U., Pajas, J. A., Pérez-Cabello, F., Redón, J. V., & Lebrón, B. E. (2018). The potential of drones and sensors to enhance detection of archaeological cropmarks: A comparative study between multi-spectral and thermal imagery. Drones, 2(3), p. 29.

3. Argyrou, A., Agapiou, A., Papakonstantinou, A., & Alexakis, D. D. (2023). Comparison of Machine Learning Pixel-Based Classifiers for Detecting Archaeological Ceramics. Drones, 7(9), 578.
4. Brutto, M. L., Borruso, A., & D'Argenio, A. (2012). БЛА Systems for Photogrammetric Data Acquisition of Archaeological Sites. International Journal of Heritage in the Digital Era, 1(1_suppl), pp. 7–13. doi:10.1260/2047-4970.1.0.7.
5. Campana, S. (2017). Drones in archaeology. State-of-the-art and future perspectives. Archaeological Prospection, 24(4), pp. 275–296.
6. Carmona, J. Á. S., Quirós, E., Mayoral, V., & Charro, C. (2020). Assessing the potential of multispectral and thermal БЛА imagery from archaeological sites. A case study from the Iron Age hillfort of Villasviejas del Tamuja (Cáceres, Spain). Journal of Archaeological Science: Reports, 31, 102312.
7. Gök, G., Küçük, S., Kurt, M., & Tarı, E. (2023, July). A U-Net Based Segmentation and Classification Approach over Orthophoto Maps of Archaeological Sites. In 2023 31st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1–4). IEEE.
8. Hill, A. C. (2019). Economical drone mapping for archaeology: Comparisons of efficiency and accuracy. Journal of Archaeological Science: Reports, 24, pp. 80–91.
9. Hollesen, J., Jepsen, M. S., & Harmsen, H. (2023). The Application of RGB, Multispectral, and Thermal Imagery to Document and Monitor Archaeological Sites in the Arctic: A Case Study from South Greenland. Drones, 7(2), 115.
10. Kaimaris, D., & Tsokas, D. (2023). Application of UAS with Remote Sensing Sensors for the Location of Marks in the Archaeological Site of the Europos, Greece. Remote Sensing, 15(15), p. 3843.
11. Kalayci, T., Lasaponara, R., Wainwright, J., & Masini, N. (2019). Multispectral contrast of archaeological features: A quantitative evaluation. Remote Sensing, 11(8), p. 913.
12. Korumaz, S. A. G., & Yıldız, F. (2021). Positional accuracy assessment of digital orthophoto based on БЛА images: an experience on an archaeological area. Heritage, 4(3), pp. 1304–1327.
13. Limongiello, M., Santoriello, A., Schirru, G., Bonaudo, R., & Barba, S. (2016, October). The Amphitheatre of Avella: from its origin to digital. In II International Conference Metrology for Archaeology, MetroArchaeo.
14. Liu, Y., Zheng, X., Ai, G., Zhang, Y., & Zuo, Y. (2018). Generating a high-precision true digital orthophoto map based on БЛА images. ISPRS International Journal of Geo-Information, 7(9), p. 333.
15. Nikolakopoulos, K. G., Soura, K., Koukouvelas, I. K., & Argyropoulos, N. G. (2017). БЛА vs classical aerial photogrammetry for archaeological studies. Journal of Archaeological Science: Reports, 14, pp. 758–773.
16. Parrinello, S., & Picchio, F. (2019). Integration and comparison of close-range SfM methodologies for the analysis and the development of the historical city center of Bethlehem. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42, pp. 589–595.
17. Rinaudo, F., Chiabrando, F., Lingua, A., & Spanò, A. (2012). Archaeological site monitoring: БЛА photogrammetry can be an answer. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 39(B5), pp. 583–588.
18. Ronchi, D., Limongiello, M., & Barba, S. (2020). Correlation among earthwork and cropmark anomalies within archaeological landscape investigation by using LiDAR and multispectral technologies from БЛА. Drones, 4(4), p. 72.
19. Ronchi, D., Limongiello, M., Demetrescu, E., & Ferdani, D. (2023). Multispectral БЛА Data and GPR Survey for Archeological Anomaly Detection Supporting 3D Reconstruction. Sensors, 23(5), p. 2769.
20. Senkal, E., Kaplan, G., & Avdan, U. (2021). Accuracy assessment of digital surface models from unmanned aerial vehicles' imagery on archaeological sites. International Journal of Engineering and Geosciences, 6(2), pp. 81–89.
21. Stanga, C., Banfi, F., & Roascio, S. (2023). Enhancing Building Archaeology: Drawing, БЛА Photogrammetry and Scan-to-BIM-to-VR Process of Ancient Roman Ruins. Drones, 7(8), p. 521.
22. Themistocleous, K. (2020). The use of БЛАs for cultural heritage and archaeology. Remote Sensing for Archaeology and Cultural Landscapes: Best Practices and Perspectives Across Europe and the Middle East, pp. 241–269.
23. Themistocleous, K., Agapiou, A., King, H. M., King, N., & Hadjimitsis, D. G. (2014). More than a flight: the extensive contributions of БЛА flights to archaeological research–the case study of curium site in cyprus. In Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection: 5th International Conference, EuroMed 2014, Limassol, Cyprus, November 3-8, 2014. Proceedings 5 (pp. 396–409). Springer International Publishing.
24. Wemegah, D.T.; Amissah, B.M. (2013). Accuracy Checks in the Production of Orthophotos. J. Environ. Earth Sci. 2013, 3, 14–21 ISSN 2224-3216 (Paper) ISSN 2225-0948 (Online).

ИЗСЛЕДВАНЕ НА АСТРОКЛИМАТА В ОПРЕДЕЛЕНИ ГЕОГРАФСКИ ЛОКАЦИИ ЗА ПОДБОР НА ОПТИМАЛНИ МЕСТА ЗА КОСМИЧЕСКИ НАБЛЮДЕНИЯ

Огнян Огнянов

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

Ключови думи: *Наблюдения на околоземното космическо пространство, Изследване на локалния астроклимат*

Резюме: *Специализираното наблюдение на околоземното космическо пространство и изкуствените спътници и техни отломки с различни размери и разположени на различни орбити изисква подходящо подбрани места за разполагане на наблюдателната апаратура. Подбора се базира най-вече на изследване на локалния астроклимат, подходящ за подобни наблюдения и допълнителни инфраструктурни и логистични критерии.*

INVESTIGATION OF THE ASTROCLIMATE IN SPECIFIC GEOGRAPHICAL LOCATIONS FOR THE SELECTION OF OPTIMAL SITES FOR SPACE OBSERVATIONS

Ognian Ognianov

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

Keywords: *Observations of Earth's outer space, Study of the local astroclimate*

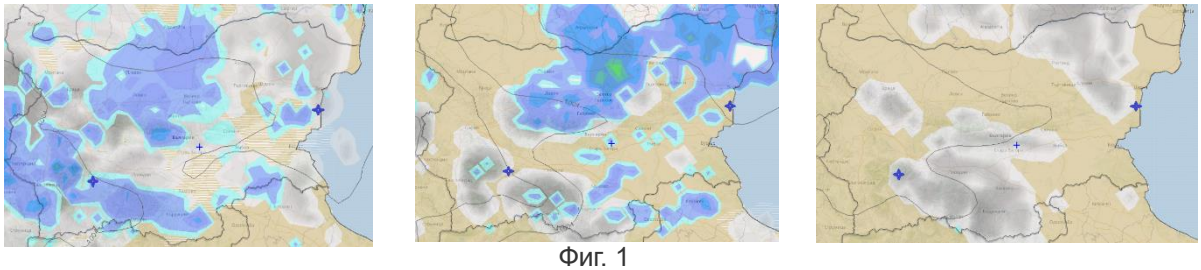
Abstract: *TThe specialized monitoring of the Earth's outer space and artificial satellites and their debris of different sizes and located in different orbits requires appropriately selected places for the placement of the observation equipment. The selection is based mostly on a study of the local astroclimate suitable for such observations and additional infrastructural and logistical criteria.*

Въведение

Специализираното наблюдение на околоземното космическо пространство е задача с повишена сложност особено когато се изисква висок процент (80% – 90%) на наблюдателната активност на годишна база. Високите изисквания предполагат към задачата да се подходи изчерпателно и да се вземат предвид всички фактори които могат да оказват влияние на процеса на наблюдение. Световният опит показва, че подобни критерии са неизпълними при извършване на наблюдения само от едно местоположение, най-вече поради наличието на облачно покритие през част от годината. Стандартният подход в такива случаи е да се увеличи броят на наблюдателните площадки, с надежда че вероятността за липса на облачна покривка намалява с увеличаване броя на площадките. Поради високата цена на апаратурата за наблюдение този подход трябва да се използва много внимателно, като се търси оптимално разположение за постигане на висок процент на наблюдателната активност при минимални разходи. Поради тази причина анализа трябва да се базира максимално на количествено измерими данни и да се минимизира субективната преценка за избор на най-добро място, каквато често е практиката при избор на наблюдателни площадки. За целта решихме да се разработи пространствен модел на разпределение на площадките и да се въведат критерии за оценка на предложенията. За получаване на данни за количествен анализ се наложи да изградим измервателна мрежа от сензори и да осигурим исторически данни за интересуващите ни местоположения.

I. Разработка на пространствен модел за разпределение на наблюдателните станции:

Използвайки информацията от проучването на литературни източници и опита придобит по време на нашите наблюдателни кампании разгледахме различни подходи за осигуряване на висока надеждност на оптичните наблюдения. От всички разгледани варианти установихме, че подхода с разпределена наблюдателна мрежа и централизирано обработване на резултатите дава най-добри резултати. За доказване на това предположение използвахме данни от сателитно наблюдение на облачността над територията на България, през различни периоди от време. На Фиг. 1 е представена картина на облачната покривка за 3 последователни дни. На картата са отбелязани с кръст разположението на наблюдателните станции. Както се вижда от представеният пример има висока вероятност поне една от трите наблюдателни станции да е извън облачната покривка, което позволява извършването на оптични наблюдения.



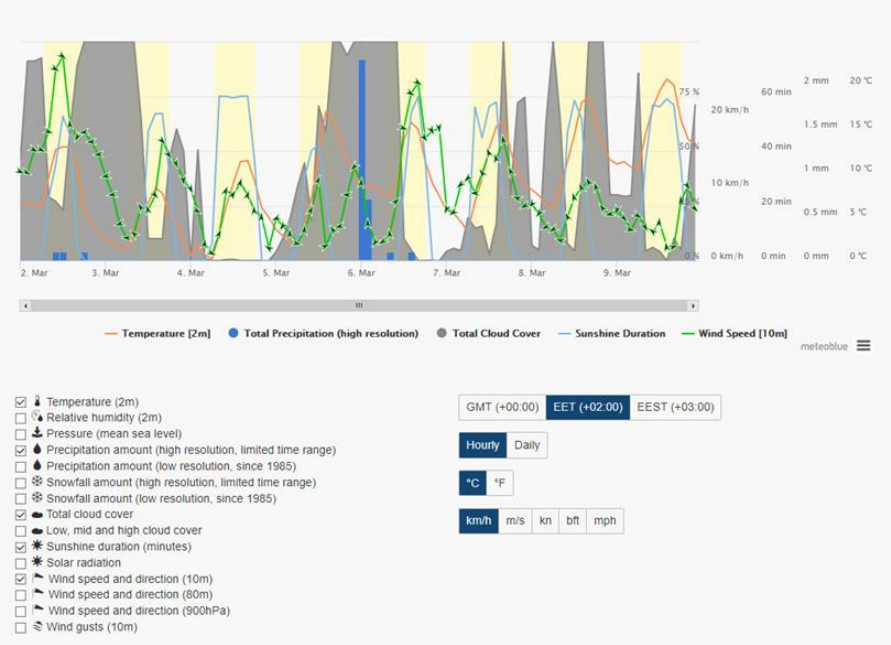
Фиг. 1

Основавайки се на концепцията за разпределено наблюдение проведохме проучвания на голям брой наблюдателни площадки за сравняване на техните предимства и недостатъци за избор на най-подходящо място за наблюдение (виж Фиг. 2).

Фиг. 2

II. Подбор на данни и региони за изследване на астроклимат

За целта използвахме исторически данни произведени въз основа на измерени данни за дълъг период от време (1985 – 2018), въведени в глобален суперкомпютърен метеорологичен модел за същият период от време. Това ни позволи да получим интерполирани данни за интересуващите ни местоположения които не са налични от измерване на терен за тази координати (виж Фиг. 3).



Фиг. 3. Формат на данните от сайта на https://www.meteoblue.com

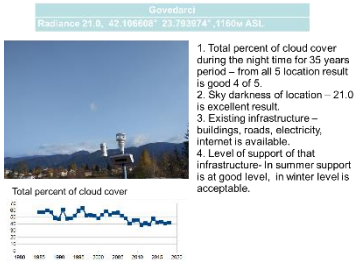
От разгледаните 12 предложения избрахме пет като най-перспективни.

1. Аязмото – до Ст. Загора, Фиг. 4
2. Говедарци – Рила планина, Фиг. 5
3. София, Фиг. 6
4. Синеморец – южно черноморие, Фиг. 7
5. Белмекен - Рила планина, Фиг. 8

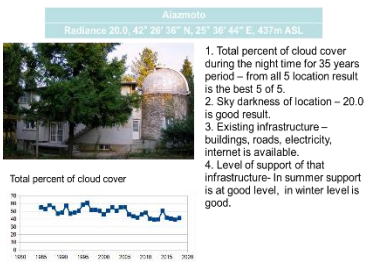
За всеки от обектите бяха заложени набор от критерии за подбор, като въведохме точкова система:

1. Процент от времето на денонощието с облачност за период от една година за последните 35 години.
2. Осветеност на нощното небе – виж Фиг. 9.
3. Съществуваща инфраструктура – сгради, пътища, ток, Интернет.
4. Ниво на поддръжка на инфраструктурата.

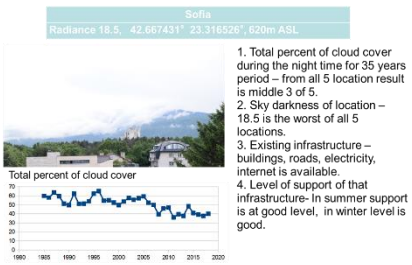
Надолу сме подредили обектите според класирането:



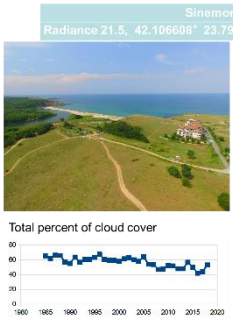
Фиг. 4



Фиг. 5

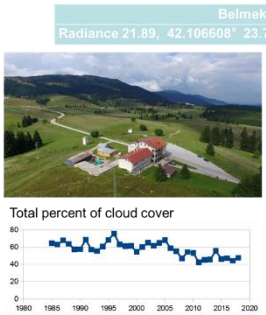


Фиг. 6



1. Total percent of cloud cover during the night time for 35 years period – from all 5 location result is bad 2 of 5.
2. Sky darkness of location – 21.5 is excellent result.
3. Existing infrastructure – buildings, roads, electricity, internet is available.
4. Level of support of that infrastructure- In summer support is at good level, in winter level is acceptable.

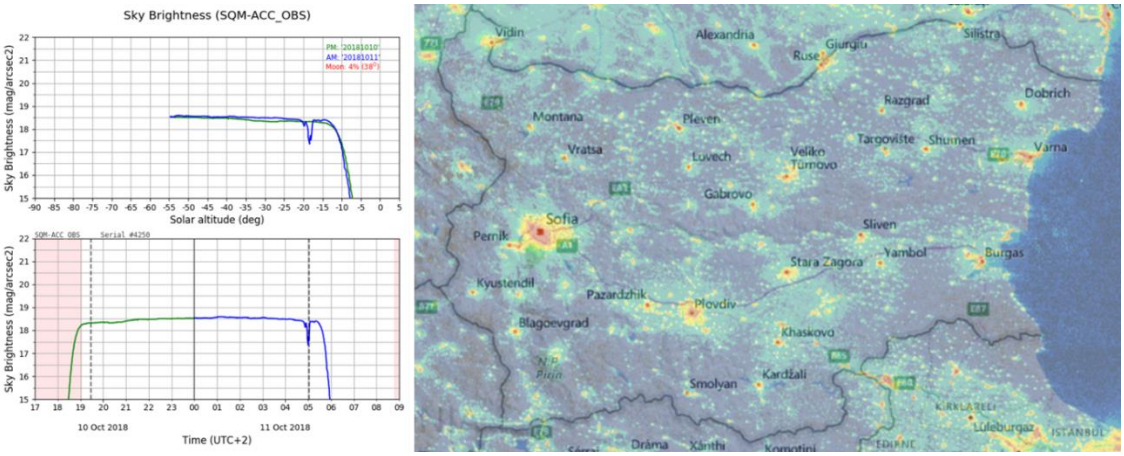
Фиг. 7



1. Total percent of cloud cover during the night time for 35 years period – from all 5 location result is the worst 1 of 5.
2. Sky darkness of location – 21.8 is excellent result.
3. Existing infrastructure – buildings, roads, electricity, internet is available.
4. Level of support of that infrastructure- In summer support is at reasonable level, but in winter there is problems with show and road cleaning.

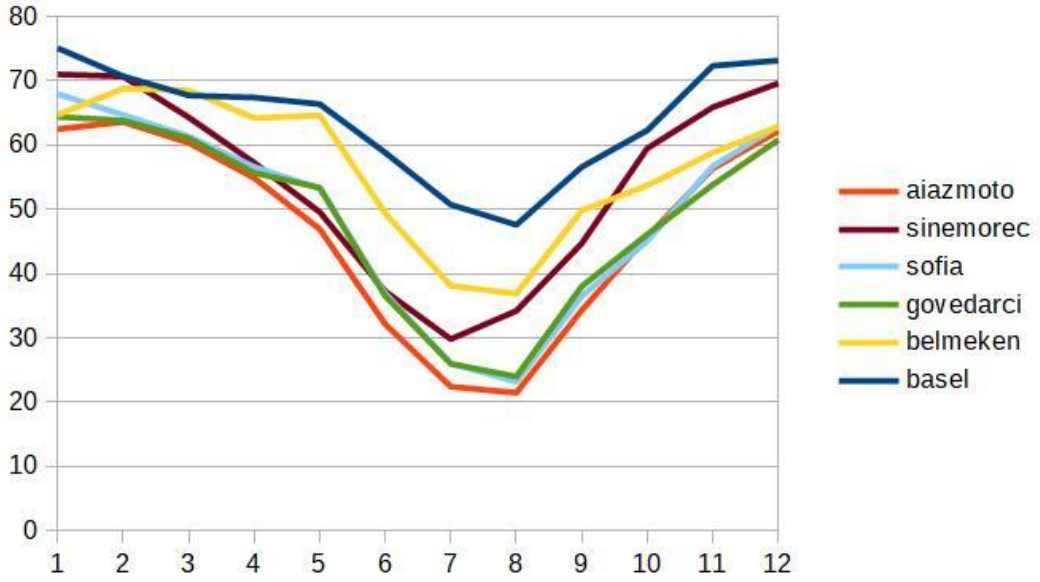
Фиг. 8

Оценка на отделните местоположения от сайта: http://weather.acceco.com



Фиг. 9. Карта на светлинното замърсяване, от локален сензор и от международна мрежа от сайта: http://weather.acceco.com

Получените данни за 35 години са обработени като е изчислена средната стойност и сравнени за 5-те предложени местоположения. Според различните варианти на обработка на данните, най-добър резултат се получи при усредняване за целият 35 годишен период и представяне на резултата по месеци през годината, Фиг. 10. Данните от Базел са показани за референция.

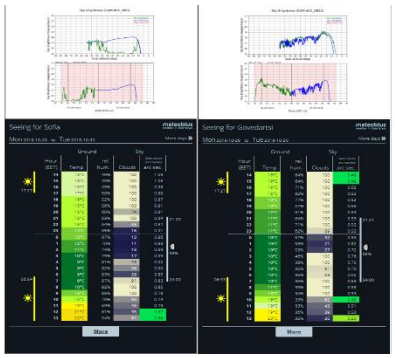


Фиг. 10. Процент облачност за 35 годишен период по месеци от сайта: http://weather.acceco.com

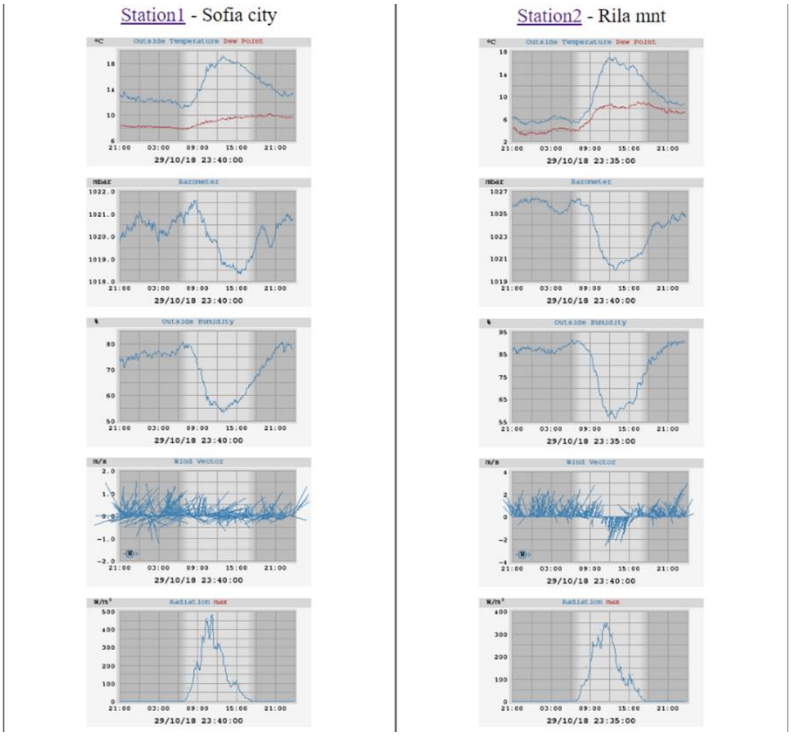
III. Обработка и анализ на данни (температура, налягане, влажност, осветеност на небето, динамични процеси в ниска и средна атмосфера) получени in sito

Освен данни от глобални модели сме инсталирали и локални станции за измерване на 2 от избраните местоположения, Фиг. 11. Недостатък е сравнително късият период на измервания (5 години до момента), което ограничава точността на статистическият модел.

Фиг. 11. визуализация на данните на сайта:



http://weather.acceco.com



Вземайки под внимание всички изброени фактори за избор на най-добро местоположение при избора на площадка за оптично наблюдение на космически обекти, изработихме таблица с критерии, виж Фиг 12.

location	cloud cover [%]	background brightness	existing infrastructure	support	inversion haze [%]	TOTAL SCORE	meteo station
Aiazmoto/Stara Zagora	40	20	0.9	4	15	**4.03**	yes, no SQM, air transparency
Govedarci	40	21	0.8	3	10	**4.11**	yes
Sofia	40	18.5	1	5	100	**3.76**	yes
Sinemorec	48	21.5	0.6	3	15	**3.90**	no
Belmeken	48	21.9	0.5	2	10	**3.86**	no

Фиг. 12

Съответно разпределихме теглата на всеки от тези фактори както следва:

Weight factor	value
cloud cover	**1**
background brightness	**0.005**
existing infrastructure	**0.5**
support	**0.25**
inversion haze	**0.5**

Фиг. 13

При така заложените критерии, подреждането на наблюдателните места е следната:

1. Говедарци – Рила планина
2. Аязмото – до Ст. Загора
3. Синеморец – южно черноморие
4. София
5. Белмекен - Рила планина

Тъй като първите три местоположения са на значително разстояние (стотици километри), може да разчитаме на добра триангулация при провеждането на оптични наблюдения на спътници и техните отломки.

Заключение

В заключение можем да отбележим че разгледаната методология за избор на местоположения за изграждане на наблюдателни станции има следните съществени предимства:

- Осигурява количествена оценка на предимствата и недостатъците.
- Позволява да се оптимизира броя на наблюдателните станции и да се намалят инвестиционните разходи.
- Лесен за разбиране от неспециалисти, интуитивен подход при изготвяне на анализа.
- Изключително полезен в случаите за изграждане на дълговременни съоръжения с висок инвестиционен разход.
- Приложим в екстремни условия, като разполагане на мобилни наблюдателни станции.

Литература:

1. ESA Space Debris Office, *ESA's Annual Space Environment Report*, GEN-DB-LOG-00208-OPS-GR, available via https://discosweb.esoc.esa.int/ web/guest/statistics, 2017.
2. Flohrer, T., Jilete, B., Mancas, A., Krag, H., Conceptual Design for Expert Centres Supporting Optical and Laser Observations in an Space Surveillance and Tracking System, Proceedings of AMOS Conference, Maui, Hawaii, 2015. awareness. Acta astronautica, 66(9), 2010.
3. G. Kirchner, F. Koidl et al., Laser measurements to space debris from Graz SLR station, Advances inSpace Research, Volume 51, Issue 1, 1 January 2013, Pages 21-24, ISSN 0273-1177, 2013.
4. https://public.ccsds.org/default.aspx.
5. Bhavya Lal, Asha Balakrishnan, Becaja M. Caldwell, Reina S. Buenconsejo, Sara A. Carioscia., Global Trends in Space Situational Awareness (SSA) and Space Traffic Management (STM)., IDA SCIENCE & TECHNOLOGY POLICY INSTITUTE, 1701 Pennsylvania Ave., NW, Suite 500, Washington, DC 20006-5805 April 2018.
6. Jilete, B., Mancas, A., Flohrer, T., Krag, H., Laserranging initiatives at ESA in support of operationalneeds and space surveillance and tracking, 03-001, Presented at the 2016 International Workshop onLaser Ranging, Postdam, Germany, October 09-14, 2016.

Session 4

Ecology and Risk Management

Chairman: Prof. Garo Mardirossian
Secretary: Assoc. Prof. Maria Dimitrova

КАК ПРОГНОЗИРАХМЕ ЗЕМЕТРЕСЕНИЕТО ОТ 2010 Г. В ЦЕНТРАЛНО ЧИЛИ С ДАННИ ОТ КОСМИЧЕСКАТА ТЕХНОЛОГИЯ GPS И МОДЕЛИРАНЕ

Димитър Димитров[1], Жеан-Клод Руег[2]

[1]Национален институт по геофизика, геодезия и география (НИГГГ) – БАН
[2]Институт по физика на Земята, Париж, Франция
e-mail: clgdimi@abv.bg

***Ключови думи*: Земетресение, GPS данни, моделиране**

***Резюме*:** *GPS мрежа от 41 точки в централно Чили позволи да се определят значителни премествания на контролните станции, отражение на натрупваните в резултат на субдукцията интерсеизмични напрежения. Анализът на изпълнените три цикъла GPS измервания 1996, 1999 и 2002 г. определи значителни интер-сеизмични движения със скорост от 34 до 45 mm/год по крайбрежната ивица и от 20 до 10 mm/год по планинската верига на Андите. Посоката на векторите на скоростите е N 75° и е съвместима с тази на субдукцията на плочата Наска под Южна Америка. Значителната разлика между скоростите на движение на реперите стабилизирани по крайбрежната ивица и тези по планинска веригата на Андите показа акумулиране на сеизмогенни напрежения в областта над зоната на контакт. Получените данни от GPS преизмерванията позволиха да се моделира подпъхването на тектонската плоча Наска под тази на южна Америка и да се определят точно мястото и параметрите на субдукцията: азимут N 19°; наклон 16°; хлъзгане 67 mm/год и дълбочина на сблъсъка 55 km. Изследването доказа, че между субдукционната зона и мощната верига на Андите се натрупват огромни напрежения, увеличаващи опасността от ново силно земетресение с M ≥ 8-8.5 в района на градовете Консепсион и Конституцион, заключен между 35° и 37°S. На 27.02.2010 г. земетресение с Mw=8.8 стана в изследваната зона, с изследваният механизъм.*

EARTHQUAKE HAZARD BY SPACE GPS TECHNOLOGY AND MODELING

Dimitar St. Dimitrov[1] and Jean-Claude Ruegg[2]

[1]National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography of Bulgarian Academy of Sciences (NIGGG of BAS)
[2]Institute de physique du Globe (*IPGP*), *Paris, France*
e-mail: clgdimi@abv.bg

***Keywords**: Earthquake, GPS data, modeling*

***Abstact:** The earthquake occurred on the Chilean mega-thrust where another large earthquake had occurred in 1835 (M & 8–8.5). Since that time no major earthquake had occurred in this region. The average repeat time of Chilean megathrust earthquakes is estimated to be 100–200 years. Investigators began taking GPS measurements in this general area in 1996-1999-2002. Analysis of GPS data of 41 stations present the movements the 45-10 ± 1 mm/y from Saud America. On the basis of the displacement field determined by the 6-year GPS survey, concluded that if plate coupling had been 100 % since 1835, approximately 10 meters of slip deficit was present along this gap (slip deficit is the amount of slip that would occur if the accumulated strain is released in an earthquake) and forecasted an Mw 8.5 earthquake in this gap. A forecast of the 2010 Maule, Chile, earthquake (Mw=8.8) is a good example. On February 27, 2010, an Mw = 8.8 earthquake did occur in the expected area, and with the expected mechanism.*

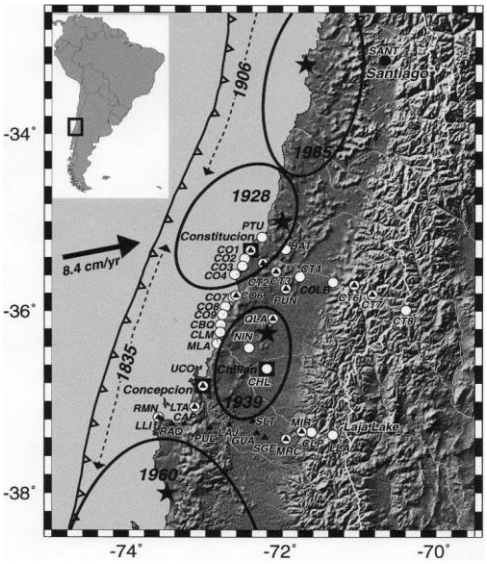
Описание на зоната, сеизмичността и GPS мониторингът

Крайбрежната ивица на Чили е една от най-сеизмогенните зони в света, където приблизително на всеки десет години стават силни земетресения с магнитуд M > 8. Районът на градовете Консепсион и Конституцион, заключен между 35° и 37°S е известен с много силното земетресение от февруари 1835 г. [1] с M=8,5 [2]. Тази сеизмогенна зона е в непосредствена

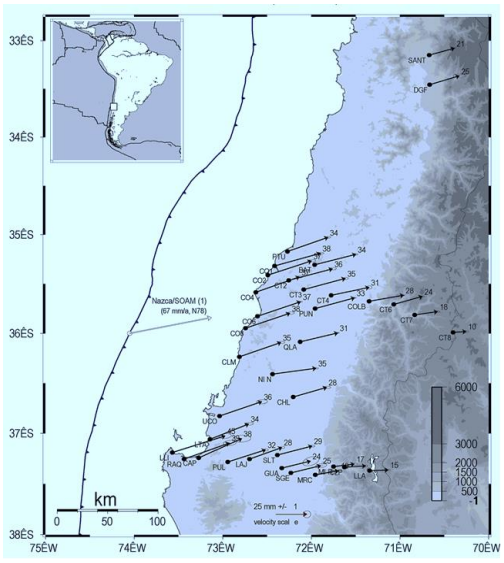
близост до епицентъра на най-силното земетресение регистрирано в света през 1960 г. с M=9.5 [2] и е пострадала и от Чиланското земетресение от 25.01.1939 г. с M = 7.9.

При изброените земетресения в зоната са се появили големи пукнатини, мощни пропадания и издигания на участъци от сушата, много от реките са променили руслото си и са се образували водопади. При трусът от 1835 г. остров Санта Мария с площ от 30 km^2 се издигнал с 3 m [1]. Повечето от трусовете в този зона на подпъхване на Тихоокеанската тектонска плоча “Наска” под тази на Латинска Америка се проявяват с океански вълни “цунами”, които причиняват огромни щети и много човешки жертви. Съвременни сеизмоложки изследвания показват, че силните трусове не са типични субдукционни земетресения, а са предизвикани от натрупани напрежения в земната кора [3].

В зоната между 35° и 37° не се наблюдава сеизмична активност от 1835 г. до наши дни. Това повишава в значителна степен опасността от силно и катастрофално земетресение в близко бъдеще в района. С цел да се изучат процесите на подготовка, разкъсване и възстановяване, свързани със силни земетресения и за изследване на интерсеизмичните напрежения именно в тази сеизмогенна зона с изявен риск от катастрофални трусове се стабилизираха на основна скала 41 контролни репери (Фиг. 1). Контролни репери се стабилизираха по два профила перпендикулярни на субдукционната зона, от брега на Тихи океан до билото на Андите, както и по брега на океана. Измерванията се извършиха с приемници Ashtech, с наблюдателните сесии от минимум 20 часа и в повечето случаи - 48 часа. По време на GPS кампаниите през 1996, 1999 и 2002 г. се инсталираха 4 постоянни станции.



Фиг. 1

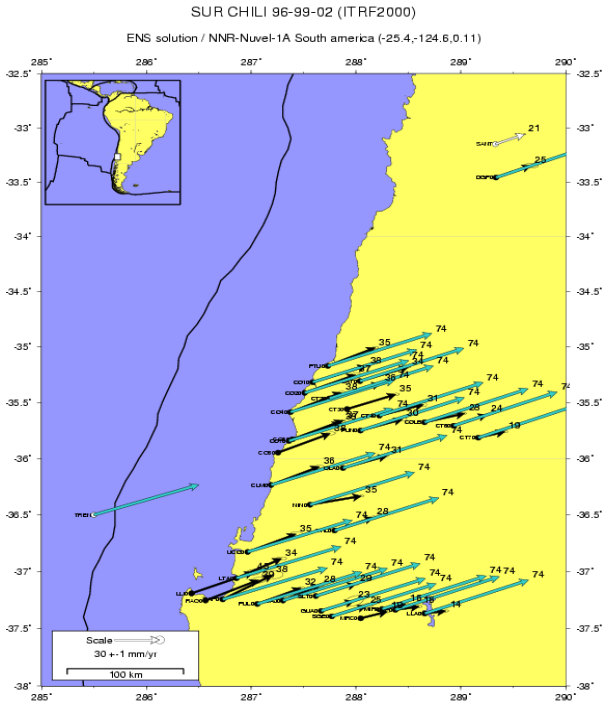


Фиг. 2

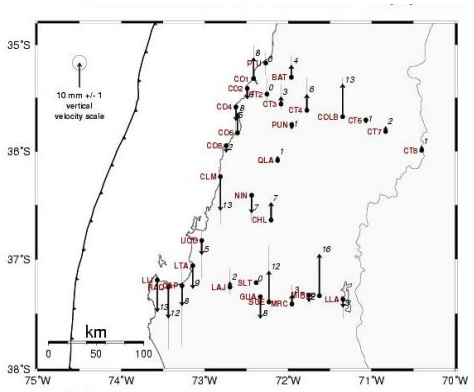
Фиг. 1. Локализиране на изследваната сеизмогенна зона и GPS станциите в централно Чили**.** С черни звезди са представени епицентрите на земетресенията 1928, 1939, 1960 и 1985 г. и с елипсите – зоните с максимална деформация и поражения. Пунктираните линии показват зоните на максимални поражения от трусовете от 1835 и 1906 г. Зоната на конвергенция е представена по модела Nuvel-1.

Фиг. 2. GPS скорости 1996-1999-2002 г. релативни към стабилна Южна Америка. Черните точки локализират GPS станциите. Стрелките представят хоризонталните скорости и сивите цифри показват техните стойности в mm/год. Елипсите на грешките са с 99% доверителен интервал.

Обработката на GPS данните се извърши от два независими екипа във Франция и в България, с два софтуера Bernese 4.0 и GAMIT/GLOBK 9.94. Координатната система се дефинира от координатите и скоростите на 5 перманентни IGS станции, намиращи се на относително стабилната част на Южноамериканската континентална плоча, в Световната земна координатна система ITRF97. Измерените 1996-1999-2002 г. GPS скорости на контролните станции, релативни към стабилна Южна Америка са представени на Фиг. 2. Получените интер-сеизмични движения за периода 1996-1999-2002 г. се съгласуват много добре по посока със скоростите по геофизичния NUVEL1-A модел (Фиг.3). Стойностите на скорости на станциите по бреговата ивица съвпадат с моделните, докато тези на станциите по веригата на Андите са значително по-малки от скоростите по геофизичния модел.



Фиг. 3



Фиг. 4

Фиг. 3. Измерените GPS скорости 1996-1999-2002 г., релативни към стабилна Южна Америка, сравнени с моделните скорости по геофизичния NUVEL1-A модел

Фиг. 4. Схематична карта на средните вертикалните скорости на движение, получени от GPS данните от 1996-1999-2002 г., показани с вертикални стрелки и цифровите им стойности в mm/год

Основният извод, който беше направен от анализа на получените резултати е, че скоростите на движение на точките, разположени по беговата ивица в този район на Чили са значително по-големи – два до три пъти, от тези по веригата на Андите. Средната посока на векторите на скоростите е 75°N и съвпада с посоката на конвергенция на плочата Наска спрямо Южноамериканската [4]. Разликата в скоростите на брегова ивица и на мощната планинска верига на Андите акумулира сеизмогенни напрежения, водещи да силните земетресения в зоната.

Значителните скорости на движение на контролните репери позволи да се регистрират с GPS и вертикалните им движения, представени със стрелки средните вертикалните скорости на реперите в mm/год, и с цифри стоиностите (Фиг. 4).

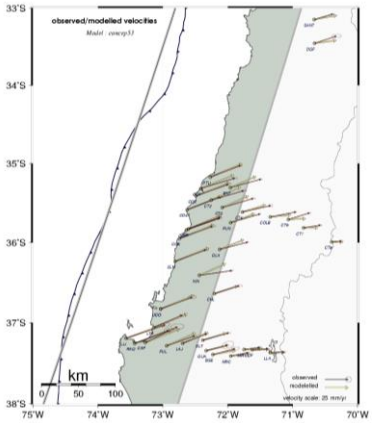
Моделиране на конвергенцията на тектонската плоча Наска с тази на южна Америка

Геометрията на субдукционната зона е дефинирана, следвайки разпределението на земетресенията в района [5], с ориентацията на зоната на контакт и крайбрежната ивица N19º. Векторът, перпендикулярен на континенталния жлеб е с ориентация N109º, докато средната посока на конвергенция между плочите е N76º. Приема се, че горната част на зоната на субдукционен контакт, т.н. “сеизмична зона” [5], простираща се в дълбочина до 30-50 km, е неподвижна по време на интерсеизмичния цикъл. Зоната в дълбочина, под 50 km, е моделирана като зона на хлъзгане (или подпъхване) чрез обратна задача на Окада,1985, като се приема, че скоростта й е 84 mm/год, съответстваща на скоростта на конвергенция на плочите Наска и Южна Америка [4]. Сечението на зоната е показано на Фиг.5, като с тънка линия е очертана геометрията на “сеизмичната зона”, а с дебела черна линия – моделната зона на хлъзгане. Моделирането на“сеизмичната зона” и зоната на хлъзгане, сравнявайки измерените и моделните скорости показва най-добри резултати при дълбочина 58 km. Така определената дълбочина е в пълно съгласие с термалния модел на [6]. Получените “моделни” скорости са сравнени с определените GPS скорости и са проектирани върху линията N109º, перпендикулярна на субдукционната зона (Фиг.6). Моделното изследване по се осъществи независимо от двата екипа като получените резултати се съгласуват напълно.

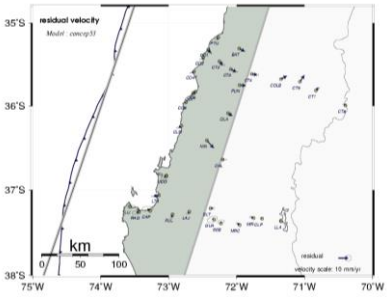
Получените от GPS мониторинга данни в централно Чили, позволиха да се установи чрез моделерането мястото на подпъхването (субдукцията) на тектонската плоча Наска под тази на южна Америка, като крайният модел има следните параметри:

- азимут на субдукцията (Strike) - - N 19°;
- наклон на плана на субдукцията (Dip) - 16° ± 3°;
- хлъзгане по плана на субдукцията (Slip) - 67 mm/год;
- дълбочина на сблъсъка (при събирането на двете плочи) - 55 ± 5 km;
- най-голямо отклонение при моделирането (Mean residual) - 3.6 mm/год.

Сравнението на определените от GPS мониторинга скорости с тези от моделирането показва много добро съгласуване.(Фиг. 5). Разликата между измерените и моделните скорости (т.нар. остатъчни грешки), потвърждава много-доброто съвпадение на величините и посоките на скоростите (Фиг. 6).



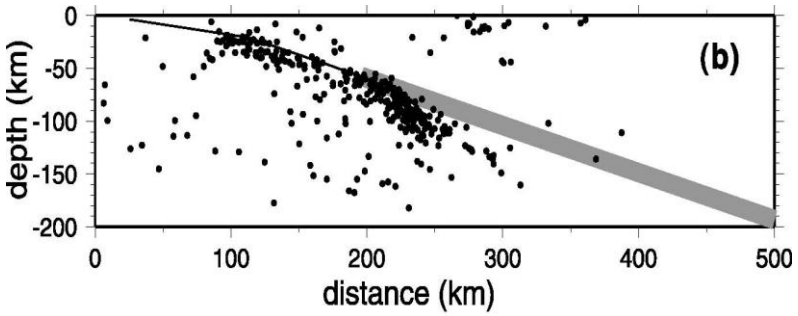
Фиг. 5



Фиг. 6

Фиг. 5. Съвпадане на данните от еластичното моделиране на повърхностните плочови деформации в Централно Чили с GPS определените скорости, представени с кафявите стрелки, а моделните скорости със сиви стрелки. Със сив контур е представен плана на субдукцията, в сив цвят е защрихована дислокацията на този план под изследваната зона.

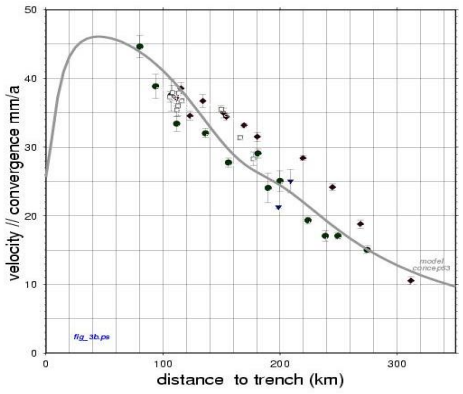
Фиг. 6. Остатъчни грешки (разликата между наблюдаваните и моделните скорости), представени с черни стрелки, при еластичното моделиране на повърхностните плочови деформации в Централно Чили. Със сив цвят е представена зоната на дислокацията.



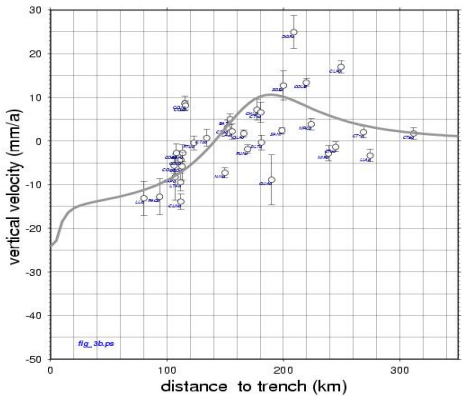
Фиг. 7. Сечение перпендикулярно на субдукцията N76° с установеното място на конвергенцията на тектонската плоча Наска под тази на южна Америка, върху инструменталната сеизмичност в района.

На Фиг. 7. е показано съгласуване на получените от моделното изследване параметри - наклон на подпъхването на тектонската плоча Наска под тази на южна Америка и дълбочината на конвергенцията (сблъсъка) на двете тектонски плочи, със съвременната инструментална сеизмичност.

Сравнението на измерените скорости с изчислените от крайният модел са представени графично чрез сечения перпендикулярни на конвергенцията на Фиг. 8, а за вертикалните скорости и на Фиг.9. Със сивата плътна линия са показани моделните хоризонтални премествания (Фиг. 8) и моделните вертикални премествания (Фиг. 9), спрямо конвергенцията, представена на Фиг. 5, 6 и 7.



Фиг. 8



Фиг. 9

Фиг. 8. Сечение перпендикулярно на конвергенцията с хоризонталните скорости, успоредни на посоката на конвергенцията. Сивата линия показва моделните хоризонтални скорости, а измерените скорости, представени на с черните точки.

Фиг. 9. Вертикалните скорости в mm/год, отнесени спрямо разстоянието до конвергенцията. Със сивата плътна линия са показани моделните вертикални премествания, спрямо конвергенцията.

Заключение

Резултатите от изследването определиха значителни интерсеизмични движения и напрежения в тази изявена сеизмогенна зона. GPS данните позволиха да се моделира подпъхването на тектонската плоча Наска под тази на южна Америка и да се определят точно мястото и параметрите на субдукцията. Получените параметри азимут на субдукцията (Strike) - N 19°; наклон на плана на субдукцията (Dip) - 16° ± 3°; хлъзгане по плана на субдукцията (Slip) - 67 mm/год; дълбочина на сблъсъка на двете плочи - 55 ± 5 km, определиха значителния сеизмичен момент Mo на натрупаните тектонски напрежения в зоната между 35° и 37°S и градовете Консепсион и Конститусион:

Mo = μ. S. D	$\mu = 3.10^{11}$ [dine/cm^2]	или	$\mu = 3.10^{-1}$ [N/m]
	D = преместване по разлома [cm]		D = 6.7 cm/y x 174 y = 1165.8 cm = 11.658 m
	S = площ на разлома [cm^2]		S = 100 km x 50 km = 5 x 10^{13} cm^2

Mo=100 x 50km=5x10^{13}cm^2 x 1165.8cm x 3.10^{11} = 17.487 x 10^{27} [dine/cm] = 1.7487 x 10^{21} [N/m]

Изследването доказа, че между субдукционната зона заключена между 35° и 37°S, и градовете Консепсион и Конститусион в централно Чили и мощната верига на Андите, е натрупано огромно напрежение Mo = 1.7478 x 10^{21} [N/m] увеличаващо опасността от силно земетресение с M ≥ 8-8.5.

Ние публикувахме резултатите от тези изследвания в специализирани издания и предупредихме Гражданската защита на Чили за сеизмичната опастност в района на градовете Консепсион и Конститусион.

Ruegg J-C., Dimitrov et al. (**2002**), “Interseismic strain accumulation in Southern Chile from GPS measurements”, *Geophysical Research Letters, Vol.29, No 11. „…**this area is probably mature for a next large EQ**….“*

J. C. Ruegg, D. Dimitrov et al. **(2009)** “Interseismic strain accumulation measured by GPS in the seismic gap between Constitución and Concepcion in Chile”, *Physics of the Earth and Planetary Interiors, 5140, 78-85.*

„…We conclude that the part of the Conception–Costitution gap has accumlated a slip deficit that is large enougt to produce a very large EQ of about Mw = 8.0-8.5“.

На 27.02.2010 г. в изследваната зона, между градовете Конститусион и Консепсион в централно Чили Chili, стана катастрофално земетресение с Mw=8.8 и E=4.7+0.9 x 10^{16} [N.m]

Hiroo KANAMORI (**2015)** Earthquake Hazard Mitigation and Real-Time Warnings of Tsunamis and Earthquakes ***“A forecast of the 2010 Maule, Chile, earthquake (Mw = 8.8) is a good example a successful forecast on the basis of scientific data and methodology“.***

За сравнение представяме Mo на земетресенията в югозападна Турция от началото на 2023 г.

2023/02/06 01h17:35 37.032 37.174 h= 13.0 km Mw=8.01 Mo = 0.8101[21] Турция
2023/02/06 10h 24:49 37.203 38.240 h = 13.5 km Mw=7.55 Mo = 0.1692[21] Турция

Литература:

1. Darwin (1851) Geological observation on coral reefs, volcanic island and on South America, Londres, 768 p.
2. Lomnitz, C., (1971) Grandes terremotos y tsunamis en Chile durante el periodo 1535–1955, Geofis. Panamericana, 1, 151–178, 1971.
3. Campos, J. and E. Kausel (1990), The large 1939 Intraplate earthquake of Soutern Chile, Seis. Res. Lett., 61–81.
4. DeMets et al., (1990), Current plate motions, Geophys. J. Int., 101, 425–478.
5. Campos J., D. Hatzfeld, R. Madariaga, E. Kausel, G. Lopez, A. Zollo, R. Fromm, G. Iannaconne and S. Barrientos (2008) A seismological study of the 1835 seismic gap in South Central Chile, Earth Planet Sci. Lett. (in press)
6. Oleskevich et al.,1999 Oleskevich et al., The Updip and downdip limits to great subduction earthquakes: Thermal and structural models to Cascadia, SW Japon and Chile, J. Geophys. Res. 104, 14965–14991.
7. Okada, Y. (1985) Surface deformation due to shear and tensile faults in a half space, BSSA, 75, 1135–1154.

АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ЗИМУВАЩИ ВОДОЛЮБИВИ ПТИЦИ ОТ РАЗРЕД ГЪСКОПОДОБНИ НА ТЕРИТОРИЯТА НА РАМСАРСКИТЕ МЕСТА ПО БЪЛГАРСКОТО ЧЕРНОМОРИЕ ЗА ПЕРИОДА 2012–2021 Г.

Александра Стоянова, Ралица Берберова

Нов български университет, Департамент „Природни науки”
e-mail: aleksandra_stoyanova_2@abv.bg

Ключови думи: *среднозимно преброяване, водолюбиви птици, разред Гъскоподобни (Anseriformes), Рамсарски обекти, Българско Черноморие, 2012–2021 г.*

Резюме: *Мониторингът на орнитологичното разнообразие е важна природозащитна дейност. Част от него е провеждането на среднозимно преброяване (СЗП) на водолюбивите птици в страната ни, тъй като данните от него се използват за анализ и оценка на състоянието им, а оттам и за екологичните фактори, които оказват влияние върху тези видове. Сред обектите, на които се провежда СЗП са Рамсарските места в България.*

Целта на настоящото проучване е да представи анализ на данни от СЗП за видов състав и численост на водолюбиви птици от разред Гъскоподобни в района на Рамсарските места по Българското Черноморие за периода 2012 – 2021 г., което ще потвърди екологичното значение на тези места и необходимостта от тяхното опазване.

ANALYSIS DATA STATUS OF THE WINTERING AQUATIC BIRDS FROM THE ANSERIFORMES ORDER ON THE TERRITORY OF RAMSAR SITES ALONG THE BULGARIAN BLACK SEA COAST FOR THE PERIOD 2012–2021

Alexandra Stoyanova, Ralitza Berberova

New Bulgarian University, Department of Natural Sciences
e-mail: aleksandra_stoyanova_2@abv.bg

Keywords: *Mid-winter census, aquatic birds, order Anseriformes, Ramsar sites, Bulgarian Black Sea, 2012–2021*

Abstract: *The monitoring of ornithological diversity is an important conservation activity. Part of it is conducting a mid-winter census of aquatic birds in our country, as the data from it is used to analyze and assess their condition, and hence the environmental factors that have an impact on those species. Among the locations where the census takes place are the Ramsar sites in Bulgaria.*

The aim of the present study is to present data analysis from the mid-winter census on the species composition and number of aquatic birds from the Anseriformes order in the region of the Ramsar sites along the Bulgarian Black Sea coast for the time period between 2012 and 2021, which will confirm the environmental importance of these sites and the need for their protection.

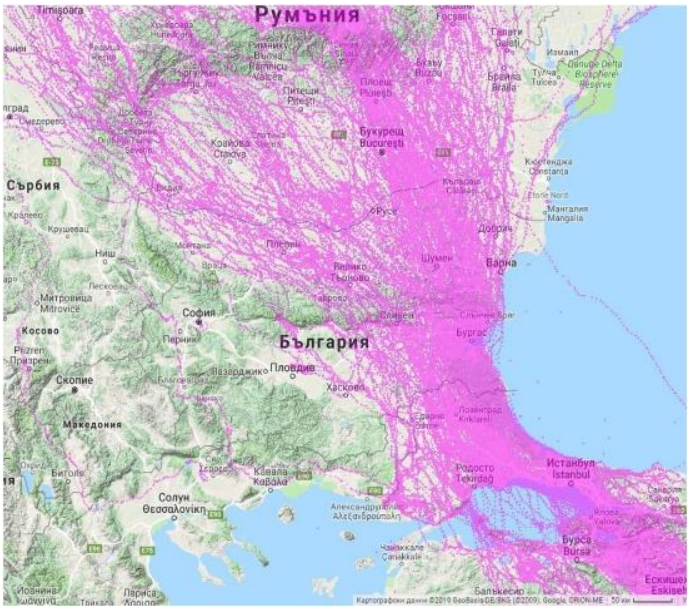
Въведение

Мониторингът е важна част от дейностите по опазването на биоразнообразието, вкл. на птиците, тъй като събирането и обработката на данни, анализирането и оценяването на извлечената информация позволява отчитане на състоянието и проследяване на тенденции [1]. Като част от мониторинга на птиците, в страната ни ежегодно се провежда среднозимно преброяване (СЗП) на водолюбивите птици. То се осъществява от Министерството на околната среда и водите чрез Изпълнителна агенция по околна среда, Изпълнителната агенция по горите, Българската академия на науките, природозащитни граждански организации и доброволци [2, 3]. СЗП се провежда за целите както на националния мониторинг, така за

общото международно преброяване в цяла Западна Палеарктика (Европа, Близкия Изток и Северна Африка), което се координира от неправителствената организация Wetlands International [4]. СЗП на зимуващите в страната водолюбиви птици се провежда ежегодно по едно и също време – началото на януари и по-точно – почивните дни от втората седмица на месеца. Преброяването се осъществява в обхвата на основните места за зимуващите птици по Черноморското и Дунавското крайбрежие и повечето водоеми във вътрешността на страната – общо около 200 [3]. На базата на натрупаните и анализирани данни от СЗП на водолюбиви птици може да се направи оценка на видовия състав на тези европейски популации, тяхната численост, разпространението на зимуващите видове у нас и местата на струпване, екологичното състояние на тези влажни зони. Също така могат да се установят различни тенденции в годините, да се анализират заплахи и да се определят приоритетните дейности за опазване на водолюбивите птици и местата на зимуване, и др.

Влажните зони са едни от най-продуктивните екосистеми на Земята. Екологичните условия в тях са специфични и важни за свързаните с тях животни и растения. Поради това те са обект на опазване въз основа на международни конвенции, национално законодателство и чрез различни организации. Основен международен документ за тяхното опазване е Рамсарската конвенция [5]. В България тези места се обявяват за Рамсарски обекти, орнитологично важни места, зони по НАТУРА 2000, резервати, поддържани резервати, защитени местности и др. [5–17].

Влажните зони са особено важни обекти за водолюбивите птици. Птиците са сред най-добре проучените представители на фауната, тъй като са много добър индикатор за загуба на биологично разнообразие в Европа. Днес над 40% от европейските птици имат природозащитен статус, което се дължи предимно на антропогенни фактори. Част от тези въздействия са индиректни – прекомерно използване и замърсяване на околната среда, а други като безпокойство, преследване, усилен лов и т.н. са пряка заплаха за орнитологичното разнообразие. Опазването на орнитологичното разнообразие е важна и необходима дейност, която изисква сътрудничество в международен мащаб. България заема второ място в Европа по богатство на разнообразието от птици - 76% от европейската орнитофауна и още 23 вида извън европейския списък се срещат у нас, или общо 394 вида птици. В България зимуват редовно над 200 вида птици. Причина за това е, че през територията на България преминават два миграционни пътя. Единият е *Via Aristotelis,* който преминава през западната част на страната ни. Другият е Западночерноморският прелетен път *Via Pontica*, който преминава през източната част на България и е вторият по големина път за миграция на птиците в Европа (Фиг. 1). През *Via Pontica* ежегодно прелитат стотици хиляди водолюбиви, грабливи и пойни птици от над 110 вида [11, 18–20].



Фиг. 1. Трансмиграционен път *Via Pontica* [21]

Фиг. 2. Местоположение на Рамсарските обекти по Българското Черноморие [15]

Част от мигриращите птици само преминават през нашата страна, но друга част от тях остават да зимуват на подходящи за това места. Такива орнитологично важни точки по Българското Черноморие, които са и обект на СЗП, са седемте от общо единайсетте за

страната ни Рамсарски места. От север на юг те са: Дуранкулашко езеро, Шабленско езеро, Поморийско езеро, Атанасовско езеро, Езеро Вая, Местност Мандра-Пода и Комплекс Ропотамо (Фиг. 2) [22]. Поморийско езеро, Атанасовско езеро, Езеро Вая, Местност Мандра-Пода формират т. нар. езерен комплекс Бургаски влажни зони [14–16, 23–27].

В българските черноморски Рамсарски места се наблюдава вариращ видов състав от зимуващи водолюбиви птици, като част от тях могат да бъдат наблюдавани във всички Рамсарски места (Табл. 1). Най-голямо видово разнообразие е отчетено в района на Бургаските влажни зони, което най-вероятно се дължи на тяхното местоположение, площ и специфични екологични условия. По видов състав с най-голямо разнообразие са разред Гъскоподобни (Anseriformes) [28].

Целта на настоящото проучване е да представи анализ на данни от СЗП за видов състав и численост на водолюбиви птици от разред Гъскоподобни в района на Рамсарските места по Българското Черноморие за периода 2012–2021 г., което ще потвърди екологичното значение на тези места и необходимостта от тяхното опазване.

Таблица 1. Общ брой на видовете водолюбиви птици по разреди, установени по Рамсарските места на Българското Черноморие по време на СЗП, 2012–2021 г. [28]

Разред	**Брой видове**						
	Атанасов-ско езеро	Дуранку-лашко езеро	Езеро Вая	Шабле-нско езеро	Мандра-Пода	Поморийско езеро	Комплекс Ропотамо
Гъскоподобни	23	22	23	19	28	21	18
Дъждосвирцопо-добни	26	10	16	14	16	21	9
Пеликаноподобни	7	5	7	4	9	6	6
Гмурецоподобни	4	4	4	5	4	5	4
Врабчоподобни	5	5	5	5	3	2	2
Жеравоподобни	3	4	3	4	3	2	1
Ястребоподобни	2	4	2	2	2	1	2
Рибоядоподобни	2	3	1	2	1	3	3
Гмуркачоподобни	1	1	1	1	2	2	2
Фламингоподобни	2	0	0	0	0	1	0
Синявицоподобни	1	1	1	1	1	1	1
Буревестникопо-добни	0	0	0	0	1	1	1
Щъркелоподобни	0	0	0	0	1	0	0
Общо	**76**	**59**	**63**	**57**	**70**	**66**	**49**

Обект и методи на изследването

Обект и граници на проучването

Изследването обхваща данни от СЗП за видов състав и численост на популациите на зимуващи водолюбиви птици за периода 2012–2021 г. в Рамсарските обекти по Българското Черноморие. Акцентът е върху видовете зимуващи водолюбиви птици от разред Гъскоподобни, които са с установена най-голяма численост на популацията в проучвания период.

Материали и методи

В изследването са използвани официални данни от СЗП на водолюбиви птици в Рамсарските места по Българското Черноморие.

Приложените методи са:

- ✓ теренни обходи в рамките на СЗП;
- ✓ преглед на литературни данни за Рамсарските обекти и разглежданите видове птици;
- ✓ обработка и систематизиране на данни от СЗП;
- ✓ анализ и дискусия на резултатите.

Резултати и дискусия

Установените 28 вида птици от Разред Гъскоподобни (Anseriformes) (Табл. 1) [28] са представени в Табл. 2.

Таблица 2. Видове от разред Гъскоподобни (Anseriformes)

Anser albifrons	Белочела гъска
Aythya ferina	Кафявоглава потапница
Anas platyrhynchos	Зеленоглава патица
Aythya fuligula	Черна качулата потапница
Cygnus cygnus	Поен лебед
Anas clypeata	Клопач
Anas crecca	Зимно бърне
Cygnus olor	Ням лебед
Anas strepera	Сива патица
Tadorna tadorna	Бял ангъч
Branta ruficollis	Червеногуша гъска
Cygnus columbianus	Малък лебед
Mergellus albellus	Малък нирец
Anser anser	Сива гъска
Bucephala clangula	Звънарка
Anas penelope	Фиш
Mareca penelope	Фиш
Aythya nyroca	Белоока потапница
Mergus serrator	Среден нирец
Anas acuta	Шилоопашата патица
Aythya marila	Планинска потапница
Netta rufina	Червеноклюна потапница
Melanitta fusca	Кадифена потапница
Melanitta nigra	Траурна потапница
Anser fabalis rossicus	Посевна гъска
Clangula hyemalis	Ледена потапница
Oxyura leucocephala	Тръноопашата потапница
Tadorna ferruginea	Червен ангъч

В Табл. 3 са представени данни за десетте зимуващи вида птици от разред Гъскоподобни (*Anseriformes*), които са с най-висока численост за Рамсарските места по Българското Черноморие за проучвания период. Този разред е с най-голямо разнообразие на отчетени видове (Табл. 1 и 2). Видовете в извадката са от семейство Патицови (Табл. 3).

Съгласно Международния съюз за защита на природата и природните ресурси *(International Union for Conservation of Nature, IUCN)* и Червената книга на България пет вида от посочените в Табл. 2 и 3 са с природозащитен статус, което ги прави видове от световно или местно значение [29, 30]. Определени като „уязвим вид“ са: червеногуша гъска, кафявоглава потапница, бял ангъч, ням лебед. Пойният лебед е определен като „застрашен“ в Червената книга на България.

От табл. 3 се вижда, че най-многочислени, с над 100 хил. екземпляра, са популациите на белочелата гъска (*Anser albifrons*) с общо 355760 екземпляра и кафявоглавата потапница (*Aythya ferina*) – 149438 екземпляра.

В следващата група по численост попадат червеногуша гъска (*Branta ruficollis*) със 74764 екземпляра, зеленоглава патица (*Anas platyrhynchos*) – 62947, бял ангъч (*Tadorna tadorna*) – 32078, фиш (*Mareca penelope*) – 19116; зимно бърне (*Anas crecca*) – 12548.

Следват видовете, при които е отчетена численост на популацията под 10 хил. екземпляра: клопач (*Spatula clypeata*) – 9965, ням лебед (*Cygnus olor*) – 8076 и поен лебед (*Cygnus cygnus*) с 6262 екземпляра.

Таблица 3. Численост по вид зимуващи водолюбиви птици от разред Гъскоподобни по обекти, среднозимно пребройване 2012–2021 г.

Разред Гъскоподобни	**Рамсарско място – численост, брой екземпляри**							
	Атанасовско ез.	Дуранкулашко ез.	Ез. Вая	Шабленско ез.	Мандра-Пода	Поморийско ез.	Комплекс Ропотамо	**Общо**
Вид	*свръхсолено*	*сладко до бракично*	*слабо солено*	*сладко*	*сладко до солено*	*свръхсолено*	*предимно сладко*	
Белочела гъска	62575	61860	168384	29940	31096	1905	0	355760
Кафявоглава потапница	784	4162	130186	71	8672	5376	187	149438
Червеногуша гъска	2487	17311	38637	15995	334	0	0	74764
Зеленоглава патица	19406	14861	11694	1826	8451	6144	565	62947
Бял ангъч	28883	47	139	391	459	2117	42	32078
Фиш	15684	450	5	401	58	2344	174	19116
Зимно бърне	5531	210	934	1126	1688	2565	494	12548
Клопач (лопатарка)	4048	0	4934	40	0	943	0	9965
Ням лебед	1105	1432	1319	472	1411	1904	433	8076
Поен лебед	1325	88	2220	178	2429	20	2	6262
Общо	144729	120559	366806	60676	97890	60103	4809	***730954***

Белочелата гъска е мигриращ за страната ни вид. Липсата й в комплекс Ропотамо най-вероятно се дължи на факта, че тя е мигриращ вид, чието основно местообитание е тундрата в близост до морския бряг или влажни зони, и мигрирайки от север на юг не достига до този най-южен обект. Вижда се, че близо 26% са останали да зимуват на двете най-северни езера – Дуранкулак и Шабла (91800 бр.). Най-много екземляри, близо половината, са регистрирани на езеро Вая (47%).

Кафявоглавата потапница, която е уязвим вид както за страната ни, така и в световен план, е срещащ се по Черноморието ни целогодишен вид. В България зимовище намират птиците от Северна Европа. От табл. 3 се вижда, че най-голямо струпване на вида в отчетния период е имало на езеро Вая – 130186 броя от общо 149438 регистрирани екземпляра във всички обекти – или, това са малко над 87%. Това е районът, който е естествено местообитание на този вид.

Червеногушата гъска е мигриращ за България вид, който има природозащитен статус – категоризиран е като уязвим вид както в страната ни, така и в световен план. Близо 52% (38637 бр.) от общо 74764 установени зимуващи екземпляри на червеногуша гъска са на Езеро Вая (Табл. 3). Близо 45% са регистрирани на Дуранкулашко (17311 бр.) и Шабленско (15995 бр.) езера. Това може да се обясни с близостта на земеделски земи, в които се отглеждат зимни зърнени култури, с които се храни този вид. Не е отчетено присъствие на вида на Поморийско езеро и Комплекс Ропотамо.

Зеленоглавата патица е целогодишен и широкоразпространен в страната ни вид. Този вид не мигрира на дълги разстояния и миграцията зависи от метеорологичните условия. По-големи струпвания на зеленоглава патица се отчитат на Атанасовско езеро (19406 бр.), Дуранкулашко езеро (14861 бр.) и на езеро Вая (11694 бр.) (Табл. 3). Ако разгледаме разпределението им по отношение на разположението на езерата на север и тези на юг, то близо 27% са регистрирани на двете северни езера Дуранкулак и Шабла, а останалите над 70% са зимували на Рамсарските обекти по южното Черноморие.

Белият ангъч е целогодишен за страната ни вид, който е със статут на уязвим вид за България. По време на миграция най-вероятно в страната ни зимуват птици от по-северните райони, а тези от нашата страна мигрират вероятно още по-на юг. Данните в табл. 3 ни показват, че близо 97% от регистрираните птици от вида са зимували на двете свръхсолени езера – Атанасовско и Поморийско езеро, като 90% от общия брой или 28883 бр. от регистрираните птици от този вид са зимували на Атанасовско езеро, което е свързано с това, че основното местообитание на този вид са соленоводните басейни, което може да се обясни и с факта, че вида се храни с ракообразни, мекотели, насекоми, и други безгръбначни, а високото ниво на соленост на водите на тези два обекта не замръзва.

Фишът е мигриращ за нашите райони вид. От общо отчетени 19116 екземляра на ***фиш*** (Табл. 3), 18028 броя или малко над 94% са регистрирани на Атанасовско (15684 бр.) и Поморийско езеро (2344 бр.). Това показва, че този вид предпочита водни обекти с висока соленост на водите.

Има няколко находища на ***зимно бърне*** в страната ни. Той е постоянен, мигриращ и зимуващ у нас вид. От общо 12548 екземпляра зимно бърне, 8096 броя или близо 65% са презимували на Атанасовско и Поморийско езеро (Табл. 3). Този вид обитава както сладководни, така и соленоводни водоеми, с което може да се обясни избора им на местата за зимуване.

Клопач е отчетен основно на три от разглежданите обекти – езеро Вая (4934 бр.), Атанасовско езеро (4048 бр.) и Поморийско езеро (943 бр.) (Табл. 3). Това означава, че от общо 9965, които са регистрирани по Рамсарските места на Българското Черноморие, 99,6% са зимували в този район. Видът не е отчетен на Дуранкулашкото езеро, местността Мандра-Пода и комплекс Ропотамо. За тези 10 години са отчетени само 40 броя на Шабленското езеро.

Немият лебед се среща целогодишно в страната ни и за България има статут на уязвим вид. Зимно време има струпвания по Черноморието. Регистрираните зимуващи бройки от вида ням лебед са сравнително равномерно разпределени в разглежданите обекти. Това може би се дължи на факта, че този вид се среща както в сладководни блата, така и в полусолени водоеми.

Видът ***поен лебед*** е мигриращ за страната ни и в България има статут на застрашен вид. От общо 6262 броя от вида поен лебед, най-голямата установена численост в периода е установена в местността Мандра-Пода (2429 бр.), езеро Вая (2220 бр.) и Атанасовско езеро (1325 бр.), което е над 95% (Табл. 3).

Изводи

Въз основа на получените резултати от данните от среднозимното преброяване на водолюбиви птици от разред Гъскоподобни с най-голяма численост на популацията, зимуващи в проучваните Рамсарски места по Българското Черноморие за периода 2012–2021 г. и направените върху тях анализи, могат да се направят следните основни изводи:

1. От разгледаните десет вида птици с най-висока численост на популацията са установени 5 вида, които са с природозащитен статус. Четири от тях са със световна и локална значимост, а един е от значение само за страната ни.
2. Специфичните екологични условия като местоположение, площ, вид на водите по отношение на тяхната соленост, метеорологични условия и др. са предпоставка за избор на обект за зимуване за определен вид птици.
3. Рамсарските места по Българското Черноморие са важни точки за зимуването на водолюбиви птици, което потвърждава екологичната значимост на Рамсарските места и необходимостта от тяхното опазване.

Литература:

1. Захаринов, Б. 2015. Екологичен мониторинг. Нов български университет.
2. НСМБР, Национална система за мониторинг на биологичното разнообразие - ИАОС: https://eea.government.bg/bg/bio/nsmbr
3. Методика за мониторинг на зимуващи птици, НСМБР – ИАОС: https://eea.government.bg/bg/bio/nsmbr/prakticheskо-rakovodstvo-metodiki-za-monitoring-i-otsenka/ptitsi
4. Wetlands International: https://www.wetlands.org/
5. Ramsar (Convention on Wetlands): https://www.ramsar.org/
6. Берберова. 2003. Бургаски езера. Информационен бюлетин на Бургаски езера.
7. Берберова, Р. 2004. Ден на Рамсарската конвенция. Университетски дневник. НБУ. Бр. 1–2.
8. Берберова, Р. 2004а. Световен ден за защита на влажните зони. Сп. “Планета Еко Инфо”. Бр. 2, 9–1.
9. Примак, Р., Й. Узунов, Б. Георгиев, 2018. Консервационна биология. София: Пенсофт.

10. Цонев, Р. 2020. Защитени територии и опазване на биологичното разнообразие. УИ Св. Климент Охридски.
11. БДЗП, Българско дружество за защита на птиците: https://bspb.org/.
12. Закон за биологичното разнообразие, обн. ДВ, Бр. 77/09 август 2002 г.
13. Закон за защитените територии, обн. ДВ, Бр. 133/11 ноември 1998 г.
14. НПОПЗВЗБ, Национален план за опазване на най-значимите влажни зони в България (2013–2022). 2013. МОСВ, БДЗП, БФБ, ИБЕИ-БАН.
15. Рамсарски места в България, МОСВ: https://www.moew.government.bg/bg/priroda/zastiteni-teritorii/zastiteni-teritorii-s-mejdunarodno-znachenie/ramsarski-mesta/.
16. РЗТЗБ, Регистър на защитените територии и зони в България: https://eea.government.bg/zpo/bg/.
17. BirdLifeInternational: https://www.birdlife.org
18. БФБ, Българска фондация „Биоразнообразие“: https://biodiversity.bg/.
19. Tucker, G., M. Heath. 1994. Birds in Europe: their conservation status. BirdLife International (Conservation Series No. 3). Cambridge, UK.
20. Tucker, G., M. Evans. 1997. Habitats for birds in Europe: a conservation strategy for the wider environment. BirdLife International (Conservation Series No. 6). Cambridge, UK.
21. LSGB, LIFE Safe Grid for Burgas: https://lifesafegridforburgas.bg/en/via-pontica/
22. BLACKSEAWETlands, Discover Black Sea Coast to visit: https://www.moew.government.bg/bg/priroda/zastiteni-teritorii/zastiteni-teritorii-s-mejdunarodno-znachenie/ramsarski-mesta/
23. ПАПУПРАЕ, Проект за актуализиране на План за управление на поддържан резерват Атанасовско езеро. 2015.
24. ПУЗМП, План за управление на Защитена местност Пода (2002-2010). 2002. БШПОБ.
25. ПУЗМШЕ, План за управление на защитена местност Шабленско езеро. 2003. БШПОБ.
26. ПУПКДЕ, План за управление на природен комплекс Дуранкулашко езеро. 1998. БШПОБ.
27. ПУПРАЕ, План за управление на поддържан резерват Атанасовско езеро. 2003. БШПОБ.
28. Стоянова, А., Р. Берберова. Анализ на данни от среднозимно преброяване на зимуващи водолюбиви птици на територията на Рамсарски места по Българското Черноморие за периода 2012 – 2021 г. Годишник на Департамент „Природни науки“, Том 8, 2023. Издателство на Нов български университет. *Под печат.*
29. IUCN, International Union for Conservation of Nature: https://www.iucn.org/
30. Червена книга на България. 2015. БАН, МОСВ.

ВЛИЯНИЕ НА БИОЕНЕРГИЙНИ ЗОНИ В РОДОПИТЕ ВЪРХУ КАЧЕСТВОТО НА СЕЛСКОСТОПАНСКИТЕ ПРОДУКТИ

Геннадий Маклаков[1], Надежда Георгиева[1], Момчил Караиванов[2]

[1]Научно-изследователски център за биофотоника - Смолян, България
[2]Областна администрация Смолян
e-mail: g.maklakov@gmail.com; https://biophoton-research.eu

Ключови думи: *Екология, селскостопански продукти, качество, кисело мляко, фасул, биоенергийна стойност, биофотоника.*

Резюме: *Представени са резултати от проучвания за влиянието на екологичното пространство в Смолянска област върху селскостопански продукти. Показани са резултати от изследвания върху качествата на киселото мляко в село Момчиловци и фасула в село Смилян. За изучаване на биоенергийната стойност на продуктите е използван методът биофотонна визуализация. Резултатите могат да бъдат приложени за идентификация и предпазване на продуктите от възможни фалшификации.*

INFLUENCE OF BIOENERGY ZONES IN THE RHODES ON THE QUALITY OF AGRICULTURAL PRODUCTS

Gennadii Maklakov[1], Nadejda Georgieva[1], Momchil Karaivanov[2]

[1]Biophotonics Research Center - Smolyan, Bulgaria
[2]Regional administration of Smolyan
e-mail: g.maklakov@gmail.com; https://biophoton-research.eu

Keywords: *Ecology, agricultural products, quality, yogurt, beans, bioenergetic value, biophotonics.*

Abstract: *The results of studies on the influence of the ecological space in the Smolyan region on agricultural products are presented. The results of research on the qualities of yogurt in the village of Momchilovtsi and beans in the village of Smilyan are shown. The biophoton visualization method was used to study the bioenergetic value of the products. The results can be applied to identify and protect products from possible counterfeits.*

Въведение

България има уникални природни ресурси, великолепни гори, планини, езера, които я правят изключително привлекателна за туризма, както и за лечебно-оздравителни процедури, мощен фактор за възстановяване здравето. За това е писано много от учени както в страната, така и в чужбина. Например японски учени са отбелязали, че Родопите влизат в 40-те най-привлекателни места в света, а в Европа - в 15-те най-добри места за въздействие върху здравето на човека [1]. За това свидетелстват и нашите изследвания в Предбалкана, Рила, Родопите. Проучванията ни в Смолянска област доказват, че има места с огромен потенциал за възстановяване на психоемоционалното състояние на човека, а също и за рехабилитация след сериозни заболявания, включително ковид.

В същото време в Родопите се произвеждат уникални селскостопански продукти. Те се създават на места, които според изследванията ни имат висока биоенергия на средата. Със същото качество според специални проучвания е и водата в планината [2]. Логично е биоенергийните свойства на околната среда да се пренасят и върху качествата на селскостопанските продукти.

Тук са представени изследвания върху качествата на киселото мляко в село Момчиловци и фасула в село Смилян. Това стана по предложение на областната администрация в Смолян, като се има предвид, че момчиловското кисело мляко има популярност в Китай, а смилянският боб е известен не само у нас.

Методология на изследванията

За изследване на влиянието на екологията, в това число и върху селскостопански продукти, беше избран методът биофотонна визуализация (метод за газоразрядна визуализация — ГРВ). Методът ГРВ притежава висока селективност и чувствителност при изучаването не само на различни видове течности, но и на всякакви селскостопански продукти. Принципът на биофотонната визуализация и особеностите й при изследване на околната среда са описани достатъчно подробно в наши публикации [2–5], обсъждани са в рамките на межнародната научна конференцията "Космос. Екология. Сигурност" и няма да бъдат цитирани тук. С няколко думи същността на този принцип е: оценяват се параметрите на изображение на изследвания обект (течност, зърно и т.н.), заснето във високочестотно поле (ГРВ грама). Измервани са следните показатели от ГРВ грамите: обща площ на изображението, вариабелност на общата площ на светене, средна яркост на изображението, коефициент на формата, коефициент на фракталността, коефициент на ентропията [3, 5].

Проучванията са извършени с многофункционален апаратно-програмен комплекс „ГРВ компакт ЭКО” на фирма «Kirlioniks Technologies International» при използването на специални сензори, разработени за мониторинг на околната среда. За определяне степента на йонизация на въздуха е използван прибор Air Ion Couner. Model AIC2 на фирма AlphaLab Inc., САЩ.

За да се осигури достоверност на измерванията, се използват: статистически критерий на Стюдънт, критерий на Ман-Уитни, критерий на Валд-Волфовиц, критерий на Колмогоров-Смирнов и др.

Характеристика на екологичното пространство на село Момчиловци

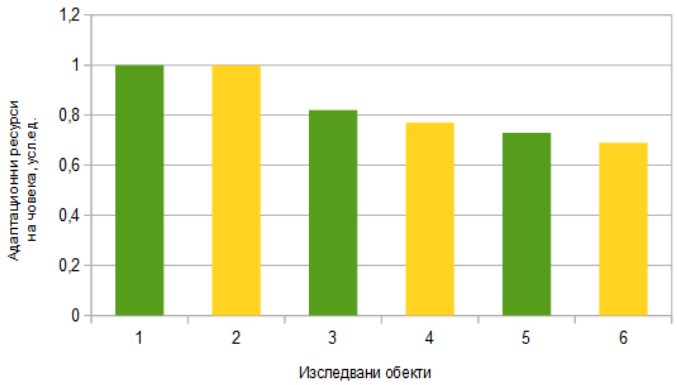
При проучванията в село Момчиловци бе фиксирано много интересно от научна гледна точка явление. Най-голяма стойност на биоенергията апаратурата регистрира в близост до храма „Св.св. Константин и Елена“. В другите измервани точки стойностите на биоенергията са по-ниски, но с по-малко от един процент. Средно с толкова биоенергията в Момчиловци се отличава от максималната стойност, регистрирана от нас във всички проучвания в Родопите (високопланинския район на Пампорово, Голямата ливада в района на Смолянските езера, Каньона на водопадите и т. н.). За удобство на сравнението величината на биоенергията в близост до храм „Св.св. Константин и Елена“ е приета за 100%.

На Фиг. 1 са представени резултати от изследванията на биоененергията на пространството в с. Момчиловци.

Фиг. 1. Биоенергия на околната среда в изследваните точки в Момчиловци: 1 - храм „Св.св. Константин и Елена“; 2 - параклис «Св. Димитър»; 3 - аязмо «Св. Илия», 4 - гостилница «Момчиловски тайни»; 5 - максимална стойност, регистрирана при всички, изследвани от нас места в Родопите

Проучванията показват, че на всички изследвани места в селото има повишаване на човешките адаптационни ресурси. Удивително е, че благоприятният ефект на енергийното поле, какъвто е регистриран в с. Момчиловци, е близък до въздействието в места, които се славят с положителното си влияние, като например Смолянските езера. Максимална стойност на увеличението на адаптационните човешки ресурси са регистрирани на езерата, в

м. Голямата ливада, в района на «Oak Residence». Забележително, че в с. Момчиловци тази стойност е по-ниска само с 4,6%. На Фиг. 2 са представени резултати от изследванията на адаптационните ресурси, типични за хора на възраст 70–75 г.



Фиг. 2. Адаптационни ресурси в изследваните точки (със зелен цвят са стойностите за мъже, с жълт – за жени): 1, 2 - гостилница «Момчиловски тайни»; 3,4 - параклис «Св. Димитър»; 5,6- аязмо «Св. Илия»

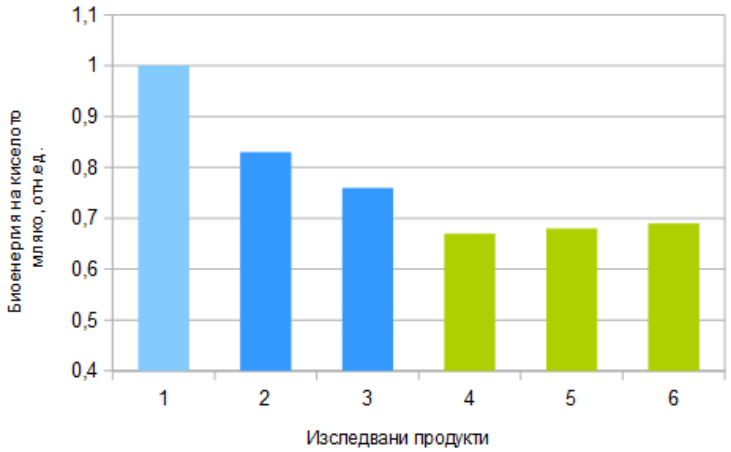
Да разгледаме йонизацията на въздуха в селото. В Момчиловци между стойностите на положителната и отрицателната йонизация разликата е малка. Има хармонично съотношение между тях. Кофициентът на уиполярност е в допустимия диапазон. Обаче концентрацията на аеройоните в Момчиловци показва оригинална картина на разпределение на йоните. Установен е любопитен факт: в изследваните места леко преобладава положителната йонизация. При това, както е показано по-долу, общата биоенергия в селото е много силна, което безусловно се отразява на продуктите от селското стопанство. Много силна е и биоенергията на водата. Може да се предположи, че неголямото преобладаване на положителната йонизация заедно с общото състояние на биоенергията създават специфична екологична обстановка, даваща възможност да се произвежда кисело мляко с особено високо качество. Несъмнено изследванията в това направление е необходимо да се продължат, но по първоначалните данни има основание да се говори за продукти с уникални свойства.

Хомогенността на биоенергията на пространството в Момчиловци (почти всички проучени места имат висока стойност на биоенергията) и нейното благоприятно влияние върху хората позволяват да се предположи, че тази характеристика засяга и селскостопанските продукти. За по-подробно проучване на това уникално място са проведени допълнителни изследвания на водата (от водопровода) и биоенергията на киселото мляко.

Изследване на кисело мляко, произведено в село Момчиловци

Очаквано е високата биоенергия на околната среда да се отрази върху водните източници (извори, чешми). Действително, проучванията показват, че енергията на водата в селото в много случаи надвишава енергията на други водни източници в Родопите. Например водата от водопровода в гостилница “Момчиловски тайни” има 22% по-висока биоенергийна стойност от водата в комплекса “Mountain Lake” (м. Смолянски езера). Тази стойност по никакъв начин не показва, че водата в хотела е лоша, а само свидетелства, че водата в Момчиловци има по-висока биоенергийна стойност. Логично е да се предположи, че тази високоенергийна вода, която се съдържа в суровото мляко (89%–91%) е един от компонентите на висококачественото кисело мляко, произвеждано в Момчиловци. За удобство на сравнението, свързано с анализа на биоенергията на кисело мляко от български производители, са представени измервания на кисело мляко «Родопско. Пловдив 4,5%», «Родопско. Смолян 3%», а също и от производители в Русия: «Коровка из Кореневки. 4%» (Кубан) и «Простокваша. Агрокомплекс. 2,5%» (Крим), «Домашнее, 2,5%» (Крим). Резултатите са представени на Фиг. 3.

Както се вижда от диаграмата, момчиловското кисело мляко превъзхожда по биоенергийна ценност чуждестранните аналози над 30%. Получените данни са предварителни, но може с увереност да се каже, че високите биоенергийни показатели на млякото са свързани с високите биоенергийни стойности на околната среда и - важно е да се подчертае още веднъж, че биоенергията на територията на Момчиловци е много хомогенна. Не е регистрирана такава висока хомогенност не само по време на проучванията в Родопите, но и на други места на България.



Фиг. 3. Биоенергия на кисело мляко от различни производители: 1- кисело мляко от Момчиловци, 2 - «Родопско.Пловдив 4,5%», 3 - «Родопско.Смолян 3%», 4 - «Коровка из Кореневки 4%» (Русия, Кубан), 5 - «Простокваша. Агрокомплекс. 2,5%» (Крим), 6 - «Домашнее, 2,5%» (Крим)

В хода на изследванията на киселото мляко са фиксирани значими характеристики като фракталност, ентропия и др., които биха позволили надеждна идентификация на този продукт – с други думи, да се игнорира фалшифицирането на продукта от трети производители.

Косвено получените от нас данни се потвърждават от факта, че този продукт предизвиква голям интерес в Китай. Факт е, че китайската медицина се основава на анализ на енергийните характеристики на системите на организма и на енергийните канали и центрове на човека. Естествено е биоенергията на продуктите също да е от голямо значение в Китай.

Характеристика на екологичното пространство на село Смилян

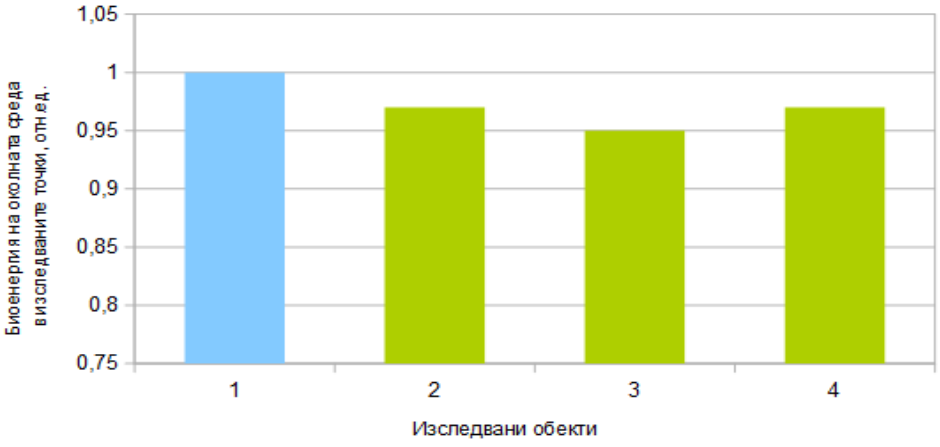
Изборът на с. Смилян за изследване се дължи на факта, че тук се произвежда смилянски фасул, добре познат в България, но и извън нейните граници.

Най-голяма стойност на биоенергията на средата е фиксирана в двор в село Смилян. Подобно на ситуацията в Момчиловци, стойностите на биоенергията тук са само с 3% по-ниски от максималната стойност, регистрирана от нас при всички проучвания в Родопите (високопланински места в Пампорово, ливада в района на Смолянски езера, Каньон на водопадите и др.). За удобство на сравнението стойността на биоенергията в двор в село Смилян е приета за 100%.

Няколки думи за йонизацията на въздуха. В Смилян е голяма разликата между стойностите на положителната и отрицателната йонизация, ако се сравнява с Момчиловци. Обаче кофициентът на уни полярност е в допустимия диапазон.

Казаното по-горе не означава, че в Смилян биоенергията е по-слаба. Просто обемът на проведените изследвания (само две серии) не позволява да се даде пълно заключение.

На Фиг. 4 са представени някои резултати от изследванията на биоенергията на пространството в с. Смилян.



Фиг. 4. Биоенергия на околната среда в изследваните точки: 1 - максимално значение, фиксирано от нас при всички изследвания в Родопите ; 2- гостилница «Момчиловски тайни», с. Момчиловци; 3 - нива, с. Смилян; 4 - двор, градина, засадена с фасул, с. Смилян

Както бе отбелязано по-горе, силната биоенергия на околната среда би следвало да се отрази на селскостопанските продукти, произведени в Смилян. Във връзка с това беше решено да се изследва фасул, произведен в селото.

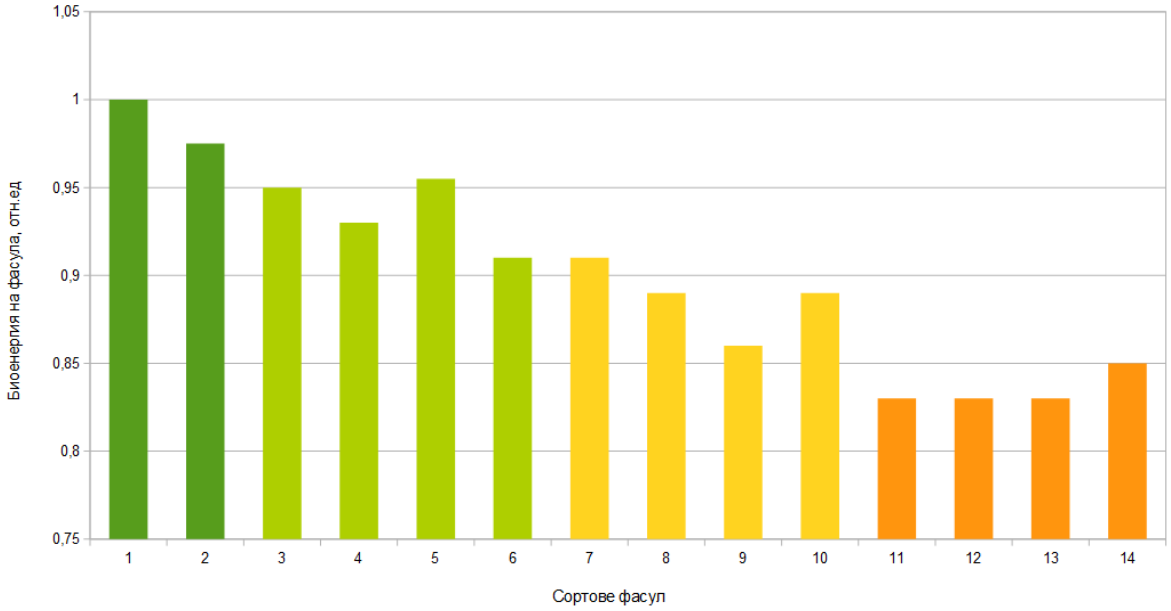
Изследване на фасул, произведен в село Смилян

Като точка 1 обозначаваме нива, с координати: географска дължина 24.755005°, широчина 41.509928°; н.в. 785 m. С точка 2 записваме двор в селото, градина, засадена с фасул (географска дължина 24.747066°, широчина 41.508308°; н.в. 817 m).

В точка 1 е изследван фасул, откъснат от растението непосредствено преди това: бял фасул и шарен фасул. В точка 2 е изследван същият продукт, предварително откъснат и съхранен от стопаните. За по-пълна картина на резултатите подбираме бобени зърна с различен цвят (бял, шарен - светлокафяв, тъмнокафяв и черен).

За сравнение беше изследван фасул, произведен в Руската федерация, Краснодарски край (сортове: «Бобовая»,», Сахарная-1», «Сахарная-2», «Монашка») и в Узбекистан (сортове «Масленка», «Красная Шапочка», «Рябушка», «Малинка»).

Зърната са оценени чрез изчисляване на параметри на ГРВ изображения, отразяващи биоенергийната стойност на всеки от продуктите. За удобство на анализа информацията по-нататък е представена в относителни единици. Проучванията показват, че най-голяма биоенергия има смилянският бял фасул в точка 1 (на полето). Тази стойност, за удобство на сравнението, е приета за 100%. Резултатите от изследването са представени на Фиг. 5.



Фиг. 5. Биоенергия на различните сортове фасул: с. Смилян (1- поле, точка 1, бял фасул, 2 - поле, точка 1, кафяв фасул; 3 – двор, точка 2, бял, 4 – двор, точка 2, светлокафяв, 5 – двор, точка 2, тъмнокафяв, 6 - двор, точка 2, черен). Фасул от Краснодарския край: 7 - сорт : «Бобовая», 8 - «Сахарная -1», 9 - «Сахарная-2», 10 - «Монашка». Фасул от Узбекистан, сортове: 11- «Масленка», 12 - «Красная Шапочка», 13 - «Рябушка»,14 - «Малинка».

Регистрираните данни показват, че смилянският фасул, измерен директно на полето (т. 1), е с по-висока биоенергийност в сравнение с другия, отгледан в двора в селото (т. 2). Може би оказва влияние по-високата енергия на полското пространство, но е възможно също това да е поради факта, че фасулът е обран от собствениците преди измерването и е бил съхраняван у дома. Разликата в биоенергията на фасула, отгледан на двете места в Смилян, обаче, не е значителна и е на най-високо ниво сред изследваните видове. В допълнение ще отбележим, че - както и следва да се очаква, биоенергията на фасула зависи от вида. Вижда се от диаграмата, че средно биоенергията на смилянския фасул е приблизително 12% по-висока отколкото на фасула от Краснодарския край и със 17% по-висока от фасула, произведен в Узбекистан.

Трябва да се подчертае, че данните от изследванията са предварителни и са по-скоро сравнителни и установяващи факти. Основният резултат от направените научни изследвания на смилянския фасул са: регистрирани са уникални биоенергийни характеристики и те могат да

бъдат идентифицирани. Това позволява да се разработят критерии за надеждна идентификация на продукта и за предпазването му от възможни фалшификации. За получаване на по-пълна характеристика на уникалните свойства на смилянския фасул са необходими по-нататъшни научни проучвания.

Изучавайки свойствата на смилянския фасул и млякото от с. Момчиловци, се появиха размишления за това от какво е предизвикана уникалността на тези продукти. А освен тях България се слави и с много други продукти с уникални свойства, които са известни зад граница, които съвсем до скоро се отглеждаха масово в България като червени чушки, домати,грозде, маслодайна роза и много други. Интересно е да се разбере каква е причината за уникалността на тези продукти. Ще изкажем следната хипотеза само с ключови фрази. 1) Природата на България е уникална. Някои места нямат аналог не само в Европа, но и в света. 2) България има множество водни източници с вода с уникален състав и висока енергетика. 3) Както е известно, водата добре запазва енергетиката на пространството, запазва продължително лечебните си качества, напр. светената вода от черквата. 4) Селскостопанските продукти в състава си съдържат вода до 90 % - в течните продукти, например мляко, до 9-15 процента в зърнените култури. 5) Възможно е тази вода, запазваща енергетиката на околната среда, да обуславя уникалността на продуктите. Освен това е възможно по време на развитието на растенията и нарастването на зърната на биохимичните процеси да влияе и биоенергийната външна среда. С други думи същността на нашата хипотеза е, че биоенергията на уникални места в България обуславя уникалните свойства на селскостопанските продукти.

Заключение

Изследванията в Смолянска община представляват голям научен интерес, но имат и практическа значимост. Проучванията потвърждават уникалните свойства на момчиловското кисело мляко. То превъзхожда по биоенергийна стойност чуждестранните аналози (Русия) с над 35%, а киселото мляко от други български производители с 15-25%. Силната биоенергия на околната среда в Смилян се отразява на селскостопанските продукти, произведени в селото. Смилянският фасул по отношение на биоенергията надминава фасула от Русия примерно с 12% и със 17% - от Узбекистан.

Проучваните села, особено Момчиловци, имат много интересна биоенергия. Този факт дава основание да се препоръчва създаването на лаборатория за изследване на нейните свойства и разработване на методи за идентификация на селскостопански продукти. Това би осигурило не само възможност да се поддържа високо ниво на качеството на тези продукти, но и при необходимост те достоверно да се идентифицират. Така би се гарантирала автентичността на продуктите и защитата им от фалшифициране и използване от нелоялни конкуренти.

Благодарности

Изказваме голяма благодарност на зам.-кмета на гр. Смолян Марин Захариев, благодарение на чиято подкрепа стана възможно да се проведат тези изследвания. Благодарим за съдействието на кмета на с. Момчиловци г-жа Сийка Суркова, а също и на нашия гид в селото Мария Цветкова; на г-н Илия Атанасов от село Смилян за съдействието. Особено искаме да отбележим сътрудничеството на г-н Рубин Хаджиев.

Литература:

1. Цинг Ли, Шинрин-йоку. Изкуството и науката на горското къпане. Издателска къща «Хермес», т2018 г.
2. Маклаков Г., Георгиева Н., Караиванов М. Влияние на водата като екологичен фактор върху състоянието на човека в Родопите. // // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност “SES-2022”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2022. С. 289–294.
3. Маклаков, Г., Георгиева Н., Караиванов М. Приложение на биофотонната визуализация за мониторинг на рекреационни зони в Родопите и въздействието им върху психосоматиката на човека. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност “SES-2020”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2020. С. 298–303.
4. Маклаков, Г., Караиванов М. Изследване на биоенергийни зони в Родопите по метода биоелектрография. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност “SES-2019”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2019. С. 287–292.
5. Маклаков, Г., Георгиева Н. Възможности за използване на ГРВ технологията за мониторинг на околната среда. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност. “SES2016”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2016. С. 327–334.

NEURAL NETWORKS FOR RISK MANAGEMENT IN NATURAL DISASTERS, TRANSPORT CRASHES AND INDUSTRIAL ACCIDENTS

Stanimir Karapetkov[1], Kamen Ishtev[1], Diana Bankova[1], Elka Radeva[1], Venelin Kondov[1], Dimo Dimov[1], Petia Minkova[1], Daniela Arnaudova[1], Simeon Panev[1], Ivan Demerdjiev[2], Philip Philipoff[3*], Venkatanathan Natarajan[4], Mario Muñoz Organero[5], Mehmet Salih Bayraktutan[6], Blagovest Panev[7]

[1]Technical University - Sofia, e-mail: skarapetkov@yahoo.com
[2] "Demerdjiev, Petrov, Baev", e-mail: dpblawyers@abv.bg
[3]Institute of Mechanics - BAS, - corresponding author, e-mail: philip.philipoff.decable.dregan@gmail.com*
[4]Sastra University, India, e-mail: physics16972@gmail.com
[5]Universidad Carlos III de Madrid, Spain, e-mail: munozm@it.uc3m.es
[6]Ata.Univ. Freelancer. Erzurum. Turkey, e-mail: batuta59ms@gmail.com
[7]LevIns Insurance Company, e-mail: blago_99@yahoo.com

Keywords: *Neural Networks, Research database, Knowledge base, Risk Management.*

Abstract: *Cognitive experimental psychology system (Neural Network [1–9, 11]) for crash risk reduction in the police practice is developed in the report. The study is based on an actual accident in the city of Burgas, Bulgaria, 2022 (two dead police officers) and on an actual accident in the South EU boundary between Bulgaria and Turkey (length 245 km), 2022, (one dead police officer). In both incidents, there was no consultation with psychologists. Proposed system is particularly suitable for crisis periods and situations. A Neural Network mathematical model is used - the software of the proposed control system is based on the popular MatLab software system. This software system is embedded in all master's programs of all engineering specialties of EU technical universities. The control of rescue operations is carried out in a hierarchical form. At each level of hierarchical control is held a consultation with a specialist in the psychology of emergency situations. Decisions in the system are made based on these consultations with psychologists. Special attention is paid to migrant waves. The guards in these migrant waves can also be armed. In addition, they may be led by political forces (in non-EU countries for example). The system under development is many suitable for EU boundary defense. The hardware of the proposed control system for crash risk reduction in the police practice is based on new innovative researches. New situational schemes for actions in emergency situations have been developed. It is recommended that there be at least two police patrol cars. In addition to traditional personal protective equipment - bulletproof vests and helmets for police officers, new protective equipment for police cars has been developed (for example). A pneumatic cover is placed on the police patrol cars. It is a shell filled with compressed fluid - air. The shell protects officers from bullets and impact in a crash. If the patrol cars on the date described were operating in the city of Burgas and on the Southern border with such pneumatic covers, the officers would not have died. The proposed system reduces the risk of death in accidents in police practice. Meanwhile, the dreaded swarm of earthquakes struck Turkey and Syria. Over 50,000 people died. Finally, a "Cognitive experimental psychology system for management of natural disasters, transport crashes and industrial accidents" is developed in the report [1–14].*

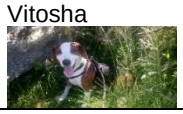
НЕВРОННИ МРЕЖИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА РИСКА ПРИ ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ, ТРАНСПОРТНИ ПРОИЗШЕСТВИЯ И ПРОМИШЛЕНИ АВАРИИ

Станимир Карапетков[1], Камен Ищев[1], Диана Банкова[1], Елка Радева[1], Венелин Кондов[1], Димо Димов[1], Петя Минкова[1], Даниела Арнаудова[1], Симеон Панев [1], Иван Демерджиев[2], Филип Филипов[3*], Венканатхан Натараджан[4], Марио Муньос Органеро[5], Мехмед Салих Байрактутан[6], Благовест Панев[7]

Ключови думи: *Невронни мрежи, База данни, База знания, Управление на риска.*

Резюме: *В доклада е разработена невронна мрежа ([1–9, 11]) за намаляване на риска от природни бедствия, транспортни произшествия и промишлени аварии. Проучването се основава на действителен инциденти в Република България.*

1. Introduction. In the report a Cognitive experimental psychology system for management of natural disasters, transport crashes and industrial accidents is developed-2.1. Research database and 2.2.Knowledge base. **Tab. 1**

N	Rescue Operations and the assessments	Altitude of the peaks in m, Persons, Year	Assessment of the psychology situation (history and of the rescue operation)	Technical assessment (of the situation and of the rescue operation)	Rescue Operation Result
1	Vitosha	Black Top 2290 (Skoparnika) Todor Bojinov 15.02.1992	Negative	Negative	Fatal
2	Vitosha	Black Top 2290 Marieta Rajnova 31.12.1884	Negative	Negative	Fatal
3	Rila	Kalinite 2667 Michail Munzov 18.07.1999	Negative	Negative	Fatal
4	Rila	Mussala 2925 Dimitar Zlatarev 16.02.2005	Negative	Negative	Fatal
5	Pirin	Todorka 2746 Two boys snowboarders 11.01.2019	Satisfactory	Positive	Fatal
6	Vitosha 	Back Top 2290 Dog Roko 20.04.2019	Satisfactory	Satisfactory	Happy
7	The Balkans	Botev 2376 Atanas and AdrianPenchevy 05.02.2020	Satisfactory	Positive	Fatal
8	Pirin	Todorka 2746 Borislav Garibov 24.01.2021	Satisfactory	Positive	Fatal
9	The Balkans	Botev 2376 Todor Jeliazkov 02.01.2021	Negative	Satisfactory	Fatal
10	The Balkans	Botev 2376 Yang man 10.02.2021	Satisfactory	Positive	Happy
11	Rila	Kartala Yang man 21.03.2021	Negative	Negative	Fatal
12	Pirin	Todorka 2746 Vladimir Carolrv 10.05.2021	Positive	Positive	Happy
13	Rila	Djano 2700 Irena Gancheva	No data	Positive	Fatal 20.10.2021
14	AM Struma [10]	AM Struma 46 Victims 23.11.2021	No data	No data	Fatal
15	Sofia-Georgy Semerdjiev Blv.Black Top-Arsenalsky	Sofia Two Yang Girls 05.08.2022	Negative	Negative	Fatal
16	Burgas Trapezica [10]	Burgas Yordan Iliev Atans Gradev 25.08.2023	Negative	Negative	Fatal

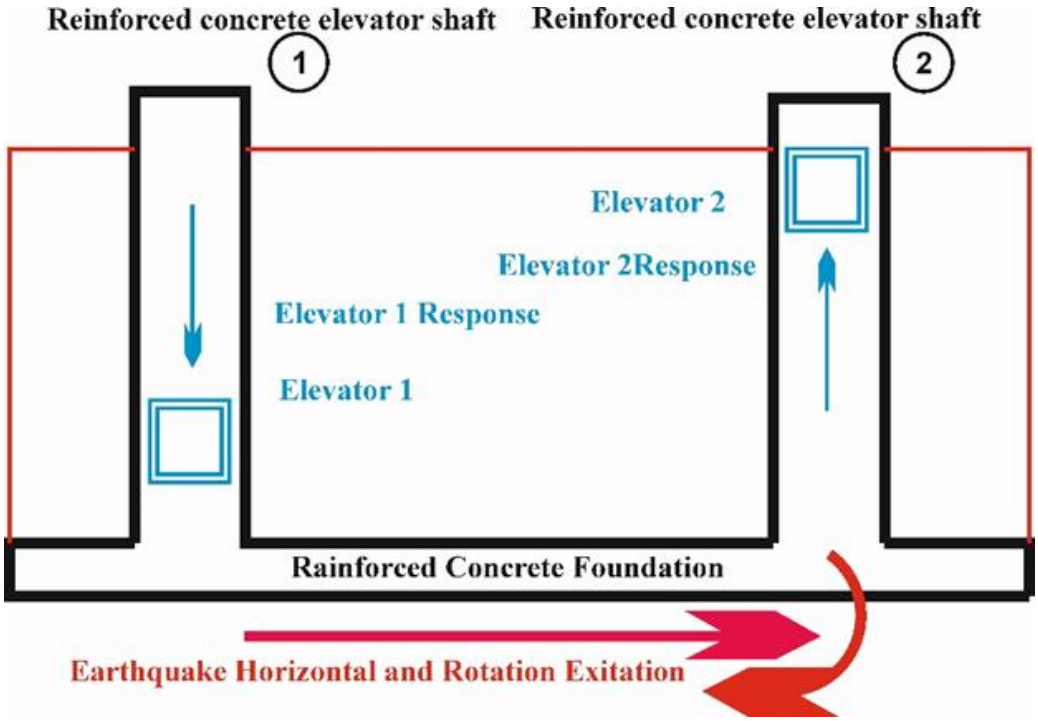
17	Turkey Boundary	Turkey Boundary Peter Buchvarov 08.11.2022	Negative	Negative	Fatal
18	Pirin	Vihren 2914 Plamen Hristov Dragan Glisich 26.12.2022	Negative	Negative	Fatal
19	Rila Paraplaner	Mussala 2925 Toma Stojichkov 09.01.2023	Satisfactory	Satisfactory	Fatal
20	Turkey Syria	Earthquakes M 7.9 6.02.2023 M 7.6 7.02.2023 M 6.4;5.8;5.2;5,2 20.02.2023	Negative	Negative	Fatal More than 50 000 victims

2. Exploration. Positions 14 and 16 of the Table 1 are described in [10]. By the position 16 of the Table 1 is shown example for INTERVENTION OF AN APPROPRIATE PSYCHOLOGIST – Burgas crash 25.08.2023 Yordan Iliev and Atanas Gradev tragedy. By the position 20 of the Table 1, by [24, 25] and by Fig. 1 it follows, that due to the demographic crisis in Bulgaria, the modern population of the country is about 7,000,000 people. They live in about 3,000,000 households. There are about 2,000,000 residential buildings in the country, at least 30% of which are vacant. The anti-seismic of its two million homes can most effectively be realized by actively control of the dynamic response of the buildings through the existing elevators. A schematic diagram of such control is shown in Fig. 4. **2.2. Knowledge base [1–9, 11]. 2.2.1. Dynamic Linear Systems with constant structure.** In the case of linear systems, the most important mathematical description – the frequency transfer function, is obtained as a quotient of the Fourier complex spectrum of the output signal to the Fourier complex spectrum of the input signal of the linear dynamic system under investigation. This frequency response function is invariant over time. In an earthquake, the initial conditions of the process are assumed to be zero. The structure of the system is unchanged. The natural frequencies are the roots of the polynomial in the denominator of the frequency transfer function. If the system has viscous type damping, the roots of the polynomial in the numerator of the frequency transfer function are the corresponding damping coefficients. **2.2.2. Dynamic Non Linear Systems with variable structure [14].** https://www.24chasa.bg/articla/13797525 For nonlinear systems, the mathematical description is more complicated. The dynamic system has a variable structure (Fig. 1) and it is not possible to introduce the concept of frequency response to relate the complex Fourier spectra of the input and output signal. These complex Fourier spectra are related by a function that is non-linear and time-varying. This property of non-linear systems can be used to create structures that, in an earthquake, dampen the dangerous oscillations that would destroy the structure. For this purpose, special building structures are created that automatically change their frequency properties at the first second of an earthquake. Special devices are provided that turn off or on the contrary turn on additional structural connections, depending on the frequency properties of the input signal. If the impact is low-frequency, additional connections are included, which immediately stiffen the structure several times. It immediately exits the low frequency region of the input signal and system oscillations are almost zero. On the contrary. If the impact is high-frequency, available connections are turned off, which immediately softens the structure several times. It immediately exits the high frequency region of the input signal and system oscillations are almost zero. This process can be realized several times automatically until the earthquake finally stops. During all this time, the structure barely moves and exhibits highly non-linear characteristics. The structure of the dynamical system is highly variable.

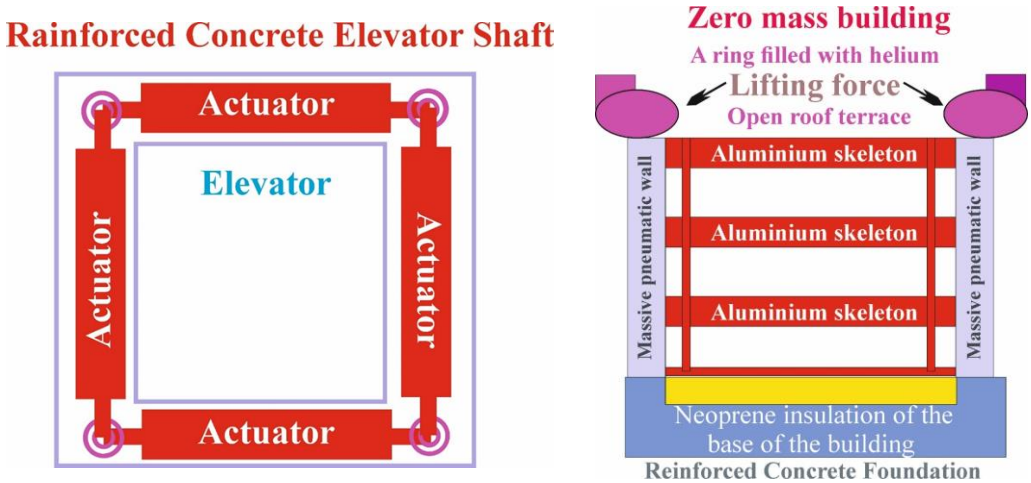
These systems (Fig. 1) do not use external sources of energy to isolate the earthquake. Their cost is not high, they are easy to design and implement. A certain difficulty is the preliminary study of the expected earthquake signals in the area. The setup of such passive systems with a variable joint structure requires high qualification in the design and is science-intensive. **2.2.3. Systems with automatically controlled dynamic response [1, 2, 8].** In the most vulnerable buildings in an earthquake (facilities from 3 to 16 floors), in which there are elevator facilities, with not much effort and funds, actively automatic controlled systems can be implemented. They use external sources of energy - for example, electricity and/or diesel generators. In the existing elevator shafts, for example, on the top floor, special inertial devices are installed. With special sensors, the parameters of an earthquake impact that has just begun are measured in real time. The computer of the elevator equipment calculates the necessary control effect. It is realized through special inertial devices installed on the last floor - working bodies that create exactly the same inertial forces as the earthquake impact just measured, but with the opposite sign. In this way, the construction facility

remains at rest during random earthquakes of arbitrary magnitude, frequency spectrum and duration. A known disadvantage of these automatic control systems is the need for external energy - for example, electricity and/or diesel generators. If during an earthquake the electricity supply stops, it is necessary to provide an autonomous electrical supply - for example, from backup lithium-ion batteries in the ground floor of the building and/or diesel generators. These systems protect facilities in the event of a random earthquake. The value of this innovative solution is approximately the same as the value of the existing elevator in the building.

On the 28 December 2022 press group 24 hours (24 Hours - 168 Histories [13]) **warned that a catastrophic earthquake is coming in the Balkans - position 20 from Table 1.**



a) Elevator Response [21]



b) Elevator Active Control System, c) Passive Control System

Fig. 1. Elevator Response [21]: a) Elevator Active Control System, b) and Passive Control System c)

3. Conclusions. The report developed a **NEW GENERATION NEURAL NETWORK** ([1–25]) to reduce the risk of natural disasters, transport accidents and industrial accidents. The study is based on actual incidents in the Republic of Bulgaria, described by the authors.

4. Acknowledgments: The authors of the report express their gratitude to the Bulgarian and foreign companies: СТРЕЗА ЕООД, ЗК ЛевИнс Младост 4, ПЕНТАХРОН ЕООД, GPS Control SA, Алтерко Роботикс ЕООД, Kondov & Kliqi Design Team – Italy, YARDlawfirm, „Калайджиев, Георгиев & Минчев", "Demerdzhiev, Petrov, Baev" lawfirm, Ministry of Interior Affairs for the moral and financial support of this research. Special acknowledgment for the media support by press group 24 hours and newspaper Maritca Plovdiv. The Conference is supported by Bulgarian National Science Fund Contract № КП-06-МНФ/23 - 08.08.2023

References:

1. Verbich, B., (1985), Fundamentals of soil-structure interaction // International seminar on computer aided design of earthquake resistant engineering structures / University "Kiril and Metodij", September 23 – October 04, 1985. — Skopje, 1985, (in English).
2. Ph. Philipoff, (1987), Modeling of soil-structure interaction systems under seismic loadings, Ph. D Dissertation, Institute of Mechanics-BAS, Sofia, Bulgaria, 1987 (in Bulgarian).
3. Ph. Philipoff, (1990), Analysis and modeling of civil engineering structures under seismic loadings by the dynamic condensation method, Postdoc MSc. Dissertation, TU-Sofia, Bulgaria, 1990 (in Bulgarian).
4. A. D. Poularikas (2000), The Handbook of Formulas and Tables for Signal Processing, CRC Press LLC, Springer Verlag, Boca Raton FL, New York, 2000, (in English).
5. Philipoff, Ph., Ph.Michaylov (2007), „BELENE Nuclear Power Plant Numerical and Experimental Bedrock, Layers and Surface Signals", J. Applied Mathematical Modeling, Elsevier, Volume 31, Issue 9, September 2007, Pages 1889–1898 (in English).
6. Philipoff, Ph., Michaylov, Ph., "BELENE" Nuclear Power Plat: umerical and experimetal free field signls // Siberia J. um. Math / Sib. Branch of Russ. Acad.of Sci. - Novosibirsk, 2007.- Vol. 10, N 1.-P. 105-122., {Digital signals are published: Experimental Bedrock Digital Signal Down (μ/s), Experimental Surface Digital Signal Up (μ/s), Theoretical Surface Digital Signal Theor (μ/s).}, (in English).
7. Ph. Philipoff, V.Tchobanov, M.Grammatikopoulos, Ph.Michaylov, (2009), „One Infinite Boundary Soil-Structure Interaction Mathematical Model", Siberian Journal of Numerical Mathematics, RAN - Seberian branch of Russian academy of sciences, (Математическая модель системы конструкция–среда с неопределенной границей, Сибирский журнал вычислительной математики, РАН Сиб.отд-ние Новосибирск), Том 12, №2, pp. 221–230 (in Russian).
8. SAP 2000 (2010), https://www.csiamerica.com/products/sap2000,
9. MATLAB,(2010), http://www.mathworks.com/products/matlab/ ,
10. Venelin Jivkov, Philip Philipoff, Anastas Ivanov, Mario Muñoz, Galerida Raikova, Mikhail Tatur, Philip Michaylov, (2013), Spectral properties of quadruple symmetric real functions. Applied Mathematics and Computation 221 (2013) pp. 344–350, (in English).
11. Venkatanathan, N., Ph.Philipoff, S.Madhumitha, (2015), Outgoing Longwave Radiation Anomaly Prior to the Big Earthquakes: A Study on the September 2015, Chile Earthquake, New Concepts in Global Tectonics Journal, V. 3, No. 3, September 2015. www.ncgt.org, (in English).
12. Venelin Jivkov, Philip Philipoff, (2016), Quadruple Symmetric Real Signals Spectral Even and Odd Decomposition, Building Materials and Structures, UDK: 624.9.042.7, 699.841, doi: 10.5937/grmk1603003M, N3 2016, (in English).
13. Natarajan, V., Philipoff, P., Sreedharan, V., Venkatachalapathy, H., (2016), Observation of Pre-EarthquakeThermal Signatures usingGeostationary Satellites: Implications for Earthquake Forecasting, SPIE,Journal of Applied Remote Sensing,10(4), 046004 (2016),doi: 10.1117/1.JRS.10.046004.Oct–Dec 2016, Vol. 10(4), Page from 046004-1 to 046004-13, (in English).
14. Jivkov, V, Natarajan V, Paneva A, Philipoff, P., (2017) Forecasting of Strong Earthquakes M>6 According to Energy Approach. J Earth Sci Clim Change, impact factor = 1,16, 15 Dec 2018, 8: 433. doi:10.4172/2157-7617.1000433, (in English).
15. Venkatanathan Natarajan, Philip Philipoff (2018), Observation of surface and atmospheric parameters using ''NOAA 18'' satellite: a study on earthquakesof Sumatra and Nicobar Is regions for the year 2014 (M > 6.0), Springer Science+Business Media B.V., part of Springer Nature 2018, Received: 7 May 2015 / Accepted: 22 February 2018, (in English).
16. Венелин Живков, Симеон Панев, Филип Филипов (2020), Разпространение на вълни в ограничени и неограничени пространства (Wave propagation in limited and unlimited spaces), "СОФТТРАДЕ", ISBN 978-954-334-341-9, (in Bulgarian).
17. Филип Филипов (2022), Структурен подход за решаване на някои вълнови гранини задачи (Structural Approach for Solving Some Boundary Condition Problems), Проект на дисертация за получаване на научната степен доктор на науките, Деловодство ТУ–София, Вх. N 2100-188/13 Юли 2023, (in Bulgarian).

18. Karapetkov, Stanimir (2023), Mathematical Modelling and Computer Simulation of the Vehicles, Mechanics of Mashines, 128, Year XXXI, No 2, ISSN 0861-9727, pp. 26–33, (in Bulgarian)
19. Венелин Живков, Симеон Панев, Филип Филипов (2023), ИЗ ДЕБРИТЕ НА МЕХАНИКАТА, Mechanics of Mashines,127,Year XXXI,No 1,ISSN 0861-9727, pp. 3–31, (in Bulgarian)
20. https://www.168chasa.bg/article/13468886
21. Даниела Арнаудова, вестник Марица Пловдив, брой 78, сряда 8 февруари 2023, Високоякостна стомана прави строежите непокладими, (2023), (in Bulgarian)

Даниела Арнаудова, вестник Марица Пловдив, брой 87, сряда 10 октомври 2023,
https://www.marica.bg/imoti/inovaciq-senzori-v-asansyorite-shte-alarmirat-pri-zemetresenie
https://www.marica.bg/imoti/arh-venelin-kondov-antiseizmichnite-sistemi-trqbva-da-badat-vklyucheni-v-programata-za-sanirane

22. https://www.168chasa.bg/article/13720667
23. https://www.24chasa.bg/articla/13797525
24. Stanimir Karapetkov, Ivan Demerdzhiev, Kamen Ishtev, Philip Philipoff, Venkatanathan Natarajan, Mario Muñoz, Mehmet Salih Bayraktutan, Elka Radeva, Petya Minkova, Daniela Arnaudova, Simeon Panev, Blagovest Panev, Venelin Kondov, Diana Bankova, Dimo Dimov (2023), Neural Network for Risk Management in Natural Disasters, Transport Crashes and Industrial Accidents, Proceedings of Knowledge, Science, Innovation, Technology Conference, Veliko Turnovo, April, 2023, p 563, Научна конференция „Знание, наука, технолоии, иновации" 2023, ISSN 2815-3472 (Print), ISSN 2815-3480 (CD), (in English).
25. Stanimir Karapetkov, Ivan Demerdzhiev, Kamen Ishtev, Philip Philipoff, Venkatanathan Natarajan, Mario Muñoz, Mehmet Salih Bayraktutan, Elka Radeva, Petya Minkova, Daniela Arnaudova, Simeon Panev, Blagovest Panev, Venelin Kondov, Diana Bankova, Dimo Dimov, (2023), Zero Mass Buildings, Proceedings of Knowledge, Science, Innovation, Technology Conference, Veliko Turnovo, April, 2023, p 571, Научна конференция „Знание, наука, технолоии, иновации" 2023, ISSN 2815-3472 (Print), ISSN 2815-3480 (CD), (in English).

KNOWLEDGE TRANSFER IN ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS: STATE-OF-THE-ART TECHNIQUES FOR EFFICIENT LEARNING AND PERFORMANCE IMPROVEMENT

Ivan Stoev, Elitza Uzunova

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

Keywords: *Artificial neural networks, Machine learning, Knowledge transfer*

Abstract: *Artificial Neural Networks (ANNs) are powerful tools used in machine learning for various applications. One of the key factors that determine the performance of ANNs is the knowledge transfer between different networks or different layers of the same network. In this paper, we review the state-of-the-art techniques for knowledge transfer in ANNs. We start by discussing the different types of information data that can be transferred between networks, followed by a detailed analysis of the methods used for it. We also provide a brief discussion on the challenges and future directions in the field of knowledge transfer in ANNs.*

ТРАНСФЕР НА ЗНАНИЯ В ИЗКУСТВЕНИ НЕВРОННИ МРЕЖИ: НАЙ-СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНИКИ ЗА ЕФЕКТИВНО ОБУЧЕНИЕ И ПОДОБРЯВАНЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА

Иван Стоев, Елица Узунова

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

Ключови думи: *Изкуствените невронни мрежи, машинно обучение, трансфер на знания*

Резюме: *Изкуствените невронни мрежи са мощни инструменти, използвани в машинното обучение за различни приложения. Един от ключовите фактори, които определят ефективността на им, е трансферът на знания между различни мрежи или различни слоеве на една и съща мрежа. В тази статия правим преглед на най-съвременните техники за трансфер на знания в изкуствените невронни мрежи. Започваме с обсъждане на различните видове информационни данни, които могат да се прехвърлят между мрежите, последвано от подробен анализ на използваните за това методи. Представяме също така кратка дискусия относно предизвикателствата и бъдещите насоки в областта на трансфера на знания в изкуствените невронни мрежи.*

Introduction

Artificial Neural Networks (ANNs) are computational models inspired by the structure and function of biological neural networks. ANNs are widely used in various applications such as image recognition, speech recognition, natural language processing, and many more. ANNs consist of layers of interconnected nodes, known as neurons, that process information and perform computations. The performance of ANNs depends on various factors such as the number of layers, the number of neurons in each layer, and the activation functions used.

Knowledge transfer refers to the process of transferring knowledge from one network to another. This can be useful in situations where the target network has limited data or computational resources, or where the target task is related to a source task. In this paper, we discuss the different types of knowledge that can be transferred, and the methods used for knowledge transfer.

Types of Knowledge Transfer:

There are several types of knowledge that can be transferred between networks. The following are some of the most common types of knowledge transfer:

- Knowledge Transfer between Networks: This refers to the transfer of knowledge from a source network to a target network. The source network can be a pre-trained network, or it can be a network that has been trained on a similar task.
- Knowledge Transfer within Networks: This refers to the transfer of knowledge between different layers of the same network. This can be useful in situations where the target task is related to a previous task, and the lower layers of the network can be reused.
- Multi-Task Learning: This refers to the simultaneous training of a network on multiple tasks. This can be useful in situations where the tasks are related, and the network can learn to perform both tasks simultaneously [1, 2].

Methods of Knowledge Transfer:

There are different methods used for knowledge transfer. The following are some of the most common methods:

- Fine-tuning: This is a popular method for knowledge transfer between networks. In fine-tuning, a pre-trained network is used as a starting point, and the network is further trained on the target task [3].
- Transfer Learning: Transfer learning involves training a network on a source task and then using the pre-trained network as a starting point for the target task. The lower layers of the network are usually frozen, while the higher layers are trained on the target task.[2].
- Knowledge Distillation: Knowledge distillation involves transferring the knowledge from a large network to a smaller network. This can be useful in situations where the target network has limited computational resources [4].
- Cross-Stitch Networks: Cross-stitch networks are a type of multi-task learning where the different tasks share the same layers of the network. This allows the network to learn to perform multiple tasks simultaneously [5, 6]

Using of Fine-tuning

Fine-tuning is a popular method for knowledge transfer in which a pre-trained network is used as a starting point, and the network is further trained on a target task. The pre-trained network is typically a deep neural network that has been trained on a large dataset for a related task, such as image classification or natural language processing.

To use fine-tuning for a new task, the last layer(s) of the pre-trained network are replaced with new layers that are specific to the target task. These new layers are randomly initialized, and the entire network is then trained on the target task using a smaller dataset than the original pre-training dataset. The pre-trained weights are used as the initial weights for the rest of the network, which helps the network converge faster and improves performance.

Fine-tuning can be used for a variety of tasks, including image and speech recognition, natural language processing, and other machine learning applications. The effectiveness of fine-tuning depends on the similarity between the pre-trained task and the target task, as well as the size of the target dataset.

In summary, fine-tuning is a powerful technique for knowledge transfer that allows for the transfer of knowledge from a pre-trained network to a target task, by initializing the weights of the target network with the pre-trained weights and further training it on the target task.

Fine-tuning can be used for image classification tasks using different sizes of images and different categories. In fact, one of the advantages of fine-tuning is that it can be applied to a wide range of tasks and datasets.

To use fine-tuning for image classification with different sizes of images, the pre-trained network can be trained on a dataset with images of varying sizes. The pre-trained weights can then be used to initialize the target network, and the network can be fine-tuned on the target task with images of different sizes.

Similarly, fine-tuning can be used for image classification tasks with different categories. The pre-trained network can be trained on a large dataset with a wide range of categories, and the pre-trained weights can then be used to initialize the target network. The network can be fine-tuned on the target task with a new set of categories, and the performance of the network can be evaluated on a test dataset.

It is worth noting that the effectiveness of fine-tuning for a specific image classification task depends on the similarity between the pre-trained task and the target task. If the pre-trained network has been trained on a dataset with images and categories that are similar to the target dataset, then fine-tuning can be highly effective. However, if the pre-trained network has been trained on a very different task, then the transfer of knowledge may be less effective, and other methods may need to be considered.

In summary, fine-tuning can be used for image classification tasks with different sizes of images and different categories, as long as the pre-trained network is trained on a similar task and dataset. The effectiveness of fine-tuning depends on the similarity between the pre-trained task and the target task, and other methods may need to be considered if the transfer of knowledge is not effective.

Sources to use for knowledge transfer

As a source to transfer knowledge from we use Google ImageNet pre-trained models. Google has developed several pre-trained models that are based on the ImageNet dataset, which is a large-scale dataset of images that is commonly used for training and benchmarking image classification models.

The most well-known pre-trained model developed by Google is the Inception model, which was first introduced in 2014. The Inception model uses a deep neural network architecture that includes several "inception modules," which are designed to capture local features at different scales within an image. The Inception model has been shown to achieve state-of-the-art performance on several image classification benchmarks.

Since the introduction of the Inception model, Google has continued to develop and release pre-trained models based on the ImageNet dataset. These models include the Inception-v2, Inception-v3, Inception-v4, and Inception-ResNet models, as well as other models such as MobileNet and ResNet.

One of the advantages of using pre-trained models like those developed by Google is that they can be fine-tuned on a specific task using a smaller dataset, which can save time and resources compared to training a model from scratch. Additionally, pre-trained models can be used as a starting point for developing more complex models that are tailored to a specific task.

In summary, Google has developed several pre-trained models based on the ImageNet dataset, including the Inception models, which have achieved state-of-the-art performance on several image classification benchmarks. These pre-trained models can be fine-tuned on a specific task using a smaller dataset, which can save time and resources compared to training a model from scratch.

The ImageNet training dataset consists of approximately 1.2 million labeled images that are divided into 1,000 categories. These categories cover a wide range of objects and scenes, including animals, plants, vehicles, buildings, and many more.

The 1,000 categories in the ImageNet dataset [7] were selected based on the WordNet hierarchy, which is a large lexical database of English words and their relationships. The categories in the ImageNet dataset are organized into a hierarchy, with higher-level categories representing more general concepts and lower-level categories representing more specific concepts.

Some examples of higher-level categories in the ImageNet dataset include "animal", "plant", "vehicle", "building", "person", and "food". Lower-level categories within these higher-level categories include specific types of animals (such as "cat", "dog", and "bird"), specific types of plants (such as "tree" and "flower"), specific types of vehicles (such as "car" and "airplane"), specific types of buildings (such as "house" and "church"), specific types of people (such as "baby" and "doctor"), and specific types of food (such as "pizza" and "sushi").

The ImageNet dataset has been widely used for training and benchmarking deep learning models for image classification, object detection, and other computer vision tasks. The large number of categories in the dataset and the hierarchical organization of the categories make it a challenging and diverse dataset for developing and evaluating deep learning models.

The experiment

We have chosen patch-based classification because of the access to training data. Like publicly available EuroSAT data set [8]. The given data set contains high-resolution satellite images of 10 land cover classes, including urban areas, croplands, forests, and water bodies. The data set has been widely used for training machine learning models for land cover classification and vegetation estimation [9].

Data set consists of two major variants:

- EuroSAT Dataset (MS).

The data set contains 27,000 labeled and geo-referenced image patches size 64 by 64. Patches are produced from Sentinel-2 MSI: Multi Spectral Instrument, Level-1C and contain all 13 spectral bands Fig. 1 [10].

Name	Scale	Pixel Size	Wavelength	Description
B1	0.0001	60 meters	443.9nm (S2A) / 442.3nm (S2B)	Aerosols
B2	0.0001	10 meters	496.6nm (S2A) / 492.1nm (S2B)	Blue
B3	0.0001	10 meters	560nm (S2A) / 559nm (S2B)	Green
B4	0.0001	10 meters	664.5nm (S2A) / 665nm (S2B)	Red
B5	0.0001	20 meters	703.9nm (S2A) / 703.8nm (S2B)	Red Edge 1
B6	0.0001	20 meters	740.2nm (S2A) / 739.1nm (S2B)	Red Edge 2
B7	0.0001	20 meters	782.5nm (S2A) / 779.7nm (S2B)	Red Edge 3
B8	0.0001	10 meters	835.1nm (S2A) / 833nm (S2B)	NIR
B8A	0.0001	20 meters	864.8nm (S2A) / 864nm (S2B)	Red Edge 4
B9	0.0001	60 meters Sentinel 2 MSi group	945nm (S2A) / 943.2nm (S2B)	Water vapor
B10	0.0001	60 meters	1373.5nm (S2A) / 1376.9nm (S2B)	Cirrus
B11	0.0001	20 meters	1613.7nm (S2A) / 1610.4nm (S2B)	SWIR 1
B12	0.0001	20 meters	2202.4nm (S2A) / 2185.7nm (S2B)	SWIR 2

Fig. 1. Santinel 2 MSI Groups

EuroSAT Dataset (RGB)
Images are converted to JPEG format, the three visual bands are extracted and downscale to integer values between 0 and 256. Command used for downsizing is:

gdal_translate--configGDAL_PAM_ENABLEDNO-of*JPEG*-coQUALITY=100-ot*Byte*
-a_nodata0-scale0 2750 1 255-b4-b3-b2-ofJPEG<input><output>

Images are converted to JPEG format, the three visual bands are extracted and downscaled to integer values between 0 and 256.
We chose to work with EuroSAT Dataset (MS) and slice out needed bends instead of producing JPEG fails from real data, every downscaling 2751 values to 256 values will result in information loss.
We decided to use EfficientNetV2 model [11], because of model reported good performances in anther patch-based classification tasks.
Our first attempt to train the model we used EfficientNetV2L without pre-trained weights.

Total params: 117,762,538
Trainable params: 117,249,962
Non-trainable params: 512,576

We achieved:

Accuracy 0.6408
F1_score: 0.6300

in tree training epochs using 20% of dataset as validation and all 13 spectral bands from the data set images.

This efficiency was not enough for our goals, so we tried to train the same model using feature vectors of images with EfficientNet V2 with input size 480x480, trained on imagenet-ilsvrc-2012-cls (ILSVRC-2012-CLS) [12]. This time we had to use only the 3 visual bands red (B4), green (B3), blue (B2), from our data set as the pre-trained features vector allow input tensors of shape [None, None, None, 3]. After fine tuning the model for 4 epochs we achieved:

Accuracy 0.9700
F1_score: 0.9695

with using 20% of data set as validation. With these results we are ready to test the model over a real Satellite image from the selected polygon. We prepared an image captured on 07/28/2019. We split the image into 2041 patches with size 64x64. Then we applied categorization based on trained model predictions, with the foaling result Fig. 2.

Categorizes:	Counts:
Forest:	292
HerbaceousVegetation:	233
Highway:	200
Industrial:	185
Pasture:	300
PermanentCrop:	47
Residential:	367
River:	67
SeaLake:	350
Total	**2041**

Fig. 2

Given categorization was visually expected and corrected, and then we calculated again the accuracy and F1_score between predictions and corrected categorization. Result is:

Accuracy 0.9520
F1_score: 0.9500
[13]

Using partitions of the same dataset as both training and validation data and achieving an increase in accuracy from 0.6408 to 0.9700, we immediately suspected overfitting of the network. But we achieved similar accuracy with patches extracted from images acquired over the ground polygon of our research, non-present in the training dataset. Overfitting was rejected as a hypothesis. And the increase of accuracy was so significant that we changed our method to incorporate patch-based classification. Knowledge transfer in form of fine-tuning in our case was very successful even though source of the knowledge was the ImageNet dataset that primarily contains natural images associated with object recognition, covering a wide range of categories like animals, objects, scenes, and more, as organized by the WordNet hierarchy. It doesn't specifically contain geospatial images or satellite imagery.

Up to now the most important element when choosing AI model for an engineering task to consider, was existence and shape of the training dataset.
In the future when we prepare an AI model, we also have to consider a source and type of knowledge to transfer.

Challenges and Future Directions:

One of the main challenges in knowledge transfer is determining which knowledge to transfer and how to transfer it. There is also a need for more research on how to combine different types of knowledge transfer methods. Another challenge is determining the optimal architecture for the target network.

In the future, there is a need for more research on unsupervised and self-supervised learning methods for knowledge transfer. These methods can be useful in situations where the target task has limited data. There is also a need for more research on meta-learning methods for knowledge transfer, which can enable a network to learn how to transfer knowledge between tasks more efficiently.
Another important direction for future research is the development of more efficient and scalable methods for knowledge transfer. This is especially important in the era of big data, where large-scale datasets are becoming increasingly common. The development of more efficient methods for knowledge transfer can enable the development of more powerful and robust ANNs that can handle the demands of large-scale datasets and complex tasks.

Knowledge transfer is a crucial factor in the performance of ANNs. The ability to transfer knowledge between different networks or different layers of the same network can enable the development of more powerful and efficient ANNs. In this paper, we reviewed the different types of knowledge transfer and the methods used for knowledge transfer. We also discussed the challenges and future directions in the field of knowledge transfer in ANNs. The development of more efficient and

scalable methods for knowledge transfer can enable the development of more powerful and robust ANNs that can handle the demands of large-scale datasets and complex tasks.

This work was partially supported by the Bulgarian Ministry of Education and Science under the National Research Programme " Young scientists and postdoctoral students -2" approved by DCM 206 / 07.04.2022

References:

1. Caruana, R. (1997). Multitask learning. Machine learning, 28(1), 41–75.
2. Ruder, S. (2017). An overview of multi-task learning in deep neural networks. arXiv preprint arXiv:1706.05098.
3. Yosinski, J., Clune, J., Bengio, Y., & Lipson, H. (2014). How transferable are features in deep neural networks?. In Advances in neural information processing systems (pp. 3320–3328).
4. Pan, S. J., & Yang, Q. (2010). A survey on transfer learning. IEEE Transactions on knowledge and data engineering, 22(10), 1345–1359
5. Hinton, G., Vinyals, O., & Dean, J. (2015). Distilling the knowledge in a neural network. arXiv preprint arXiv:1503.02531.
6. Misra, I., Shrivastava, A., Gupta, A., & Hebert, M. (2016). Cross-stitch networks for multi-task learning. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 3994–4003).
7. Deng, J., W. Dong, R. Socher, L. -J. Li, Kai Li and Li Fei-Fei, "ImageNet: A large-scale hierarchical image database," 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Miami, FL, USA, 2009, pp. 248–255, doi: 10.1109/CVPR.2009.5206848.
8. Helber, P., B. Bischke, A. Dengel and D. Borth, "EuroSAT: A Novel Dataset and Deep Learning Benchmark for Land Use and Land Cover Classification," in IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 12, no. 7, pp. 2217–2226, July 2019, doi: 10.1109/JSTARS.2019.2918242.
9. Helber, P., B. Bischke, A. Dengel and D. Borth, EuroSAT, 2017.
10. "Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument Level-1C | Earth Engine Data Catalog", Google Developers, [online] Available: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_Harmonized.
11. Tan, M., Q. V. Le, EfficientNetV2, June 2021.
12. TensorFlowHub, [online] Available: https://tihub.dev/google/imagenet/efficientnet_v2_imagenet1k_l/feature_vector/2.
13. Stoev, I., E. Uzunova, "Calculating the Vegetation-to-Building Ratio in an Urban Environment Using Remote Sensing Images and Artificial Neural Network. A Case Study from Sofia, Bulgaria," 2023 10th International Conference on Recent Advances in Air and Space Technologies (RAST), Istanbul, Turkiye, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/RAST57548.2023.10197955.

QUALITY OF THE WATER OF RIVER LEBNITSA - SW BULGARIA INTENDED FOR AGRICULTURAL IRRIGATION AND LIVESTOCK BREEDING

Anton Sotirov

Institute of Agriculture, Kyustendil, Agricultural Academy, Sofia, Bulgaria
Department "Agrotechnologies, Plant Protection and Economics"
Direction "Earth Sciences and Ecology"
e-mail: sotirov_anton@hotmail.com

Keywords: *Environmental monitoring, Water contamination, Pollution, River Lebnitsa*

Abstract: *The water from the river Lebnitsa, Kyustendil region, SW Bulgaria during the performed monitoring was determined as moderate clean. Water partly in some areas is not suitable for irrigation of agricultural crops and for livestock breeding. Turbidity, foaming, high carbonate content and values of electrical conductivity, total dissolved solids and salts slightly above the typical for this type of water of mountain rivers of the region were found. Some indicators for clean water are missing. The amount of coliforms is high. In order to use water for irrigation and livestock breeding, it is necessary to be established and eliminate the sources of water pollution first.*

КАЧЕСТВО НА ВОДАТА НА РЕКА ЛЕБНИЦА - ЮЗ БЪЛГАРИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕНА ЗА НАПОЯВАНЕ И ЖИВОТНОВЪДСТВО

Антон Сотиров

Институт по земеделие, Кюстендил, Селскостопанска академия, София, България
Отдел „Агротехника, растителна защита и икономика на културните растения"
Направление „Науки за земята и екология"
e-mail: sotirov_anton@hotmail.com

Ключови думи: *екологичен мониторинг, заразяване, замърсяване, река Лебница*

Резюме: *Водата от река Лебница, област Кюстендил, ЮЗ България при извършения мониторинг е определена като умерено чиста. На места водата не е подходяща за напояване на селскостопански култури и за животновъдство. Установени са мътност, пенообразуване, високи стойности на карбонатност и електропроводимост, общо разтворени вещества и соли малко над характерните за този тип вода на планинските реки в района. Количеството колиформи е високо. За да се използва водата за напояване и животновъдство, е необходимо първо да се установят и премахнат източниците на замърсяване на водата.*

Introduction

The Lebnitsa River, Kyustendil region is a left tributary of the Bistritsa River. It originates north of Bozhderitsa hill in the Osogovo Mountains at 1300 m above sea level. It flows along a rocky trough in a steep valley, gradually expanding. South of the village of Gyueshevo changes its direction to North-East and enters into the Kamenichko field. It flows northeast of Dolno Selo village. Its length is 13 km, an average slope of 40‰. The catchment area is green with *beech* and *pine* in the mountainous area. In the valley there is a deposit of lead-zinc ore [1]. The Lebnitsa River is of economic importance, it is a source of water for irrigation of agricultural crops in the valley and water for breeding of farming animals. It is the main water source for the float factory and landfills of the lead-zinc deposit. The boundaries of the Kamenichko field are marked by the foothills of the Osogovo, Lisets and Chudinska mountains and have a hilly relief. Within it there are internal valley hills, which rise by 110-120 m above the valley field. It is drained by the rivers Bistritsa and Lebnitsa. The

Kyustendil valley is located along the valley of the Struma River between the Zemen and Skrino gorges and is surrounded by the Osogovo, Lisets, Zemenska and Konyavska mountains. Its average altitude is 550 m [2]. The aim of our project is collecting data about the quality of the water of Lebnitsa for irrigation of agriculture and framing.

Materials and Methods

We applied the method for measuring on spot ("in situ"), on field with grab samples, because the benefits of that method are the high degree of authencity, propriety and accuracy of the studies. We used digital (electronic) devices during the execution of the study because of their capabilities for fast, easy and precise measurement of the studied parameters on field.

The total radioactivity and the radioactivity of the water and sediment are measured with Geiger counter "Radex" RD1503 (μSv/h).

Conductivity meter "SensoDirect 150" was used for determination of water acidity (pH), water temperature (t,°C), electrical conductivity (EC, μS/cm), total dissolved solids (TDS, ppm), dissolved oxygen (O_2, %), salt content (ppm).

For the study of the chemical parameters of the river water we used spectral photometer "Lovibond MD-600". With this instrument are determined: free, total and combined chlorine Cl, acidity (pH), cyanuric acid CYS, total alkalinity $CaCO_3$, free, total and combined copper and iron Fe (mg/l).

Nitrate NO_3^- mg/l and nitrite NO_2^- mg/l content in the water are determined through colorimetric method with testing tapes with ranges 0-10-25-50-100-250-500 mg/l. The content of arsenic As is measured through a colorimetric method with testing tapes with ranges 0.005-0.0010-0.0025-0.05-0.1-0.25-0.5mg/l and reagent melodic acid. For determining the content of zinc Zn is applied method with testing tapes with ranges 0-4-10-20-50 mg/l and reagent sodium hydroxide. Manganese Mn is also measured through a colorimetric method with testing tapes with ranges 2-5-20-50-100 mg/l and reagent sodium hydroxide. The content of lead Pb is determined through colorimetric method with testing tapes with ranges 20-40-100-200-500 mg/l and reagent Blei-Test. Sulphates SO_4 are measured through colorimetric method with testing tapes with ranges 200-400-800-1200-1600 mg/l. Sulphites SO_3 are measured through colorimetric method with testing tapes with ranges 10-40-80-180-400 mg/l.

The microbiological research for *coliforms* is done according to the method described in State Gazette BDS EN ISO/IEC 17025:2006 for research of river waters. The research is held by Test Chemical and Microbiological Laboratory at "RIOKOZ", Kyustendil. The volume of the samples 250 ml, column units KOE/100 m land standard validated methods BDS EN ISO 9308-1, temperature during the research 37°C in value and limit of the indicator 5000 (Protocols №455 and №456/25.08.2015).

For detecting of fish presence Portable radar was used (ultrasonic sonar for fish detection "Fish Finder" with monochromatic LCD display, single rayed, frequency 200 kHz, top depth 100 m, picture of the river bottom's terrain). The method of interview of fishermen and local people was used for figure up the presence of fish species *Salmo trutta* which is a bioindicator for clean water in this type of rivers (River passports, Bulgarian Ministry of Environment and water).

For the sedimentological examination of anthropogenic detritus was applied microscopic method of research which is used in geology for sediment rocks – binocular (stereo) microscope "CETI" (STAR-24-ED) with reflected white light and application for fluorescent light and a digital monocular microscope USB 2.0 DigiScope and a Digital Microscope with computer program Micro Viewer.

Data for accomplished environmental monitoring of the water and the sediment of river Struma and her right tributaries from the Kyustendil basin are submitted by [3, 4, 5].

Results and Discussion

As a result of the study, white-grey foam and turbidity was observed into the river water. Water had high turbidity some sediments were covered with black asphalts and there is some anthgopogene microdetrite in the sediments. Acidity of the water was 8,1, which is normal for river type R3 water [6], total alkalinity is high >200 mg/l, EC, TDS and Salt and Cyanuric acid [7] have little higher values non-typical for mountain rivers. Generally, there is some human pollution of the water which is presented by alkaline chemicals, probably soap derivates (superficial-active substances) or faecal or farming waste water flows into the river, because microbiological study proved high content of *coliforms* 4580 CFU/g (Table 1). Content of the nitrite and nitrate is low. Fe, Cl, Cu, As, Pb, Mn, Zn is not much. This is the same for all studied parameters. Radiation of the background, water and sediment is little bit high, but all of them are in the frame of the normal. The results of the method of interview and observation of the river, including with instrument Fish Finder shown absent of the fish species – an indicator for clean water *Salmo trutta.* Almost well spread is the macro-zoo benthos *Trichoptera*: *Rhyacophila.*

Table 1. Measured parameters of the water of Lebnitsa River, Osogovo Mountain

Measured water parameter	Result
Acidity pH	8.1
Conductivity EC, µS/cm	475
Total Dissolved Solids TDS, ppm	323
Salt, ppm	227
Temperature of water t,°C	10
Temperature of air t,°C	17
Nitrite NO_3^-, mg/l	<10
Nitrate NO_2^-, mg/l	<10
Free Cl, mg/l	0.08
Total Cl, mg/l	<0,05
Combined Cl, mg/l	0,08
Cyanuric acid CYS, mg/l	11
Total alkalinity CaCO3, mg/l	>200
Free Cu, mg/l	0.1
Total Cu, mg/l	<0,05
Combined Cu, mg/l	0.1
Iron Fe, mg/l	<0,02
Dissolved oxygen $O_{2,\%}$	8.1
Arsenic As, mg/l	<0.005
Lead Pb, mg/l	<20
Manganese Mn, mg/l	<2
Zinc Zn, mg/l	<4
Sulphate SO_4, mg/l	<200
Sulphite SO_2, mg/l	<10
Anthropogene microdetrite, %	5
Radiation background, µSv/h	0,18
Radiaiton of water, µSv/h	0,20
Radiaiton of sediment, µSv/h	0.20-0.33
Hardness, mg/l	43
Eh/Oxygen Redox Potential OPR	57
Microbiology: *coliforms*, CFU/g	4580
Fish *Salmo trutta,* kg/100m^2	<0.5
Trichoptera: *Rhyacophila, num./m^2*	7
Color, foam, smelt, taste	Partly turbidity, foam

Conclusion

The water from the river Lebnitsa, Kyustendil region, SW Bulgaria during the performed monitoring was determined as *moderate-yellow*, according to [8]. Water partly in some areas is not suitable for irrigation of agricultural crops and for livestock breeding. Turbidity, foaming, high carbonate content and electrical conductivity values, total dissolved solids and salts slightly above the typical for this type of water of mountain rivers of the region were found. There are asphalt products in the sediment and discarded building materials used to strengthen the banks. The amount of coliforms is high. In order to use water for irrigation and livestock breeding, it is necessary to eliminate the sources of water pollution first.

References:

1. Dimitrov, K., A. Peychev, K. Radenkov, A. Sotirov, V. Gaberov, K. Deyanovski, Z. Bozinovski, D. Yakimovska. (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", Sofia, Bulgaria, 16-17, 12, 2004, pp 9–11.
2. Encyclopedia Kyustedil. (1988). Bulgarian Academy of Sciences, 726 p.
3. Sotirov, A. (2014). Environmental monitoring of Kyustendil Valley, Bulgaria. E3-Journal of Environmental Research and Management, Vol. 5(2), pp 19–41.

4. Sotirov, A., D. Malwood, N. Pistalov, R. Vezenkova, M. Yerusalimova, L. Stanchev, T. Rasulski,S. Savova. (2014). Influence of some feeders on contamination of Struma River, Journal of Ecological Engineering and Environmental Protection, 3–4, pp 25–32.
5. Vitov, O., Sotirov, A. (2014). Mineral content of the sands from rivers in Kyustendil region with ecological risks for the quality of the soils, water and building materials. Journal ofEnvironmental engineering and environmental protection, No 3–4, pp 86–93.
6.https://wabd.bg/docs/plans/purb1621/PrR1/P01_07_Prilojenie%201.2.2.b.%20Pasporti%20-%20tipove%20Reki.doc
7. World Health Organization. (2004). 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, Number 103).
8. Cheshmedzhiev, D., M. Marinov. (2008). Typology of water ecosystems in Bulgaria (implementation of the water framework directive 2000/60/EU) Jubilee scientific conference on ecology (collection of reports), Plovdiv, November 1st, pp 371–383.

S E S 2 0 2 3
Nineteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
24 – 26 October 2023, Sofia, Bulgaria

APPLICATION OF CEMENT REPLACEMENT MATERIALS IN PHASE FORMATION IN MORTAR AS AN ECOLOGICAL APPROACH FOR REDUCING GREENHOUSE GASES

Bilyana Kostova[1], Ventseslav Stoyanov[2,3], Katerina Mihaylova[4], Vilma Petkova[4]

[1]New Bulgarian University, Department of Natural Sciences
[2]University of Structural Engineering and Architrcture (VSU) „Lyuben Karavelov“
[3]Academy of the Faculty of Fire safety and civil protection
[4]Institute of Mineralogy and Crystallography, Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: bkostova@nbu.bg

Keywords: *cement mortars, mineral filler, XRD, Scanning electron microscopy, ecology*

Abstract: *One of the main approaches to reducing the environmental impacts of the construction industry is the use of mineral additives to reduce the quantity of cement used in mortars and concrete for construction. Solid industrial wastes, including construction and demolition wastes, are traditionally used in conventional cement-based composites. Their application is limited by the application of compositions, the requirements of desirable properties of fresh and hardened mortar/concrete, as well as the required durability and corrosion resistance to known exposure.*

The objects of this research are different cement composites with a high content of inert mineral fillers (marble and quartz sand) and low water-to-cement ratio, obtained after the hydration of white Portland cement. The aim of the work is to investigate phase formation and to measure the density, compressive strength and porosity of the cement composites, where the research is made after 28 and 120 days of water curing. The phase composition (newly formed phases, as well as the formation of C-S-H gels) was defined using powder X-Ray diffraction and scanning electron microscopy. The experimental data show that the cement composites with higher water content exhibit a variety of newly formed phases, like hydration products of C-S-H gels. The use of marble as an additive lead to the creation of carbo-sulpho-aluminates. Testing of samples with a high content of inert mineral fillers showed that their structure is denser. Prolonged hardening of cement systems under constant access to water increases the compressive strength by 17.9%.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ЦИМЕНТОЗАМЕСТИТЕЛИ ВЪВ ФАЗООБРАЗУВАНЕТО НА ЦИМЕНТОВИ РАЗТВОРИ КАТО ЕКОЛОГИЧЕН ПОДХОД ЗА РЕДУЦИРАНЕ НА ПАРНИКОВИ ГАЗОВЕ

Биляна Костова[1], Венцеслав Стоянов[3,4], Катерина Михайлова[4], Вилма Петкова[4]

[1]Нов български университет, Департамент „Природни науки“
[2] Висше строително училище „Л. Каравелов“
Катедра „Технология и мениджмънт на строителството“ – София
[3]Академия на МВР, Факултет „Пожарна безопасност и защита на населението“,
Катедра „Управление на безопасността и превенция“ – София
[4]Институт по минералогия и кристалография „Акад. Ив. Костов“ – Българска академия на науките
e-mail: bkostova@nbu.bg

Ключови думи: *циментови разтвори, минерални пълнители, прахова рентгенова дифракция, сканираща електронна микроскопия, екология*

Резюме: *Един от основните подходи за намаляване на въздействието на строителната индустрия върху околната среда е използването на минерални добавки за намаляване на количеството цимент, използван в строителните разтвори и бетона. Твърдите промишлени отпадъци, включително отпадъците от строителство и разрушаване, традиционно се използват в конвенционалните композити на циментова основа. Тяхното приложение е ограничено от прилагането на съставите, изискванията за желаните свойства на пресния и втвърдения*

разтвор/бетон, както и от необходимата трайност и устойчивост на корозия при известни експозиции.

Обект на това изследване са различни циментови композити с високо съдържание на инертни минерални пълнители (мраморно брашно и кварцов пясък) и ниско водоциментно съотношение, получени след хидратация на бял портландцимент. Целта на работата е да се изследва фазообразуването и да се измерят плътността, якостта на натиск и порьозността на циментовите композити, като изследванията са направени след 28 и 120 дни на втвърдяване с вода. Фазовият състав (новообразуваните фази, както и образуването на C-S-H гелове) е определен с помощта на рентгенова прахова дифракция, измервания с инфрачервена спектроскопия и сканираща електронна микроскопия. Експерименталните данни показват, че циментовите композити с по-високо съдържание на вода показват разнообразие от новообразувани фази, като хидратационни продукти на C-S-H гелове. Използването на мрамор като добавка води до създаването на карбо-сулфо-алуминати. Изпитването на образци с високо съдържание на инертни минерални пълнители показва

Използването на мраморното брашно като добавка води до формирането на карбосулфоалуминати. Изпитването на образци с високо съдържание на инертни минерални пълнители показва, че структурата им е по-плътна. Продължителното втвърдяване на циментовите системи при постоянен достъп на вода увеличава якостта на натиск със 17,9 %.

Introduction

One of the main approaches to reducing the environmental impacts of the construction industry is the use of mineral additives reducing quantity of cement used in mortars and concretes for construction. Solid industrial wastes, including construction and demolition wastes, traditionally are used in conventional cement-based composites. Their use is limited by the application of compositions, requirements of desirable properties of fresh and hardened mortar/concrete, as well as the required durability and corrosion resistance to known exposure. White decorative mortars and concretes have restrictions on white color of the binder and mineral additive [1, 2], good workability [3, 4], and a dense structure that does not have significant destructive processes at various atmospheric impacts.

The decorative cement mortars and concretes are an artificial imitation of the natural stones. Their key advantage is better workability, but durability and stability are their main disadvantages [5-7]. The proper application of these cement-based stones in construction works depends on their physical, chemical and mechanical properties, which are the result of the microstructure of newly formed hydrate phases. Here, of particular importance is the proper choice of cement replacement additives (hydraulic, pozzolanic, and almost inert fillers, incl. technogenic wastes) and additives, which aim both at reducing the cost of the composite and improving its properties and durability in different environments [8-12].

The goal of this work is to study the influence of the cement-to-water ratio, the amount of marble powder additive and the low water-to-cement ratio on the hydration process. A major emphasis of the study is on the formation of hydrosulphate- and hydrosulphonated calcium-silicate phases in white cement compositions and their effect on the measured properties. The effect of the studied parameters is evaluated by the methods of powder X-ray diffraction, SEM microscopy, and physical-mechanical methods for obtaining the following properties: bulk density after immersion, adsorption after immersion, compressive strength, and porosity.

Samples preparation

This work investigates cement solutions with different ratios of the main components – cement, aggregate and binder. The components of these mixes are: white Portland cement (binder) type CEM I 52.5 N (Devnya Cement, Bulgaria), clinoptilolite (0-0.8 mm, Beli Plast deposit, Bulgaria), and clean washed and dried river sand as an aggregate.

The chemical composition of the used white Portland cement CEM I 52.5 N, produced by Devnya Cement (Bulgaria), is (in wt%): SiO_2 – 24.3; Al_2O_3 – 2.1; Fe_2O_3 – 0.2; CaO – 68.3; MgO – 0.3; Na_2O – 0.13; K_2O – 0.02; Free lime – 1.9. The mineral composition was calculated via the Bogue method (wt %): C_3S – 72.13; C_2S – 15.28; C_3A – 5.23; C_4AF – 0.61.

Two mortars were prepared using two types of aggregate – river sand (sample, named As) and marble powder (sample, named Mm). The first type of aggregate, river sand, was cleaned, washed and dried. The properties of sand were defined as: fineness modulus FM = 2.7 (EN 12620:2002+A1:2008) and shape index – 4.6 % (EN 933-4:2008) i.e. spheroid particles, over 85.0 % content of SiO_2. The second aggregate, marble powder, was produced by AIAS S.A. White Marble Products (Greece) with the following chemical composition wt %): CO_2 + H_2O – 45.7; SiO_2 – 0.12; Al_2O_3 – 0.38; Fe_2O_3 – 0.14; CaO – 32.9; MgO – 20.0; Na_2O – 0.05; K_2O – 0.19; and MnO – 0.01**.**

The polydispersity of the aggregate is: maximal size of grains – 2 mm; grains with sizes < 0.125 mm – 50.0 wt %; grains with sizes < 0.063 mm – 35.0 wt %.

The prepared mortar specimens (6 prisms, 40×40×160 mm) were stored in the moulds for 1 day in a moist atmosphere (> 95% RH and 20 °C). Then the demoulded samples were stored under water (20 ºC) until strength testing for 28 and 120 days – the obtained samples were named As028, As120, Mm028, and Mm120, respectively).

Table 1 shows the samples' composition: sample As: binder (white Portland cement) + aggregate (river sand) + water, and sample Mm: binder (white Portland cement) + aggregate (marble powder) + water. All samples were mixed with distilled water.

Table 1. Composition of mortars

Sample	Binder	Aggregate	Ratio		
			cement/ aggregate	water/ cement	water/ fines*
As028, As120	white Portland cement	river sand	1:3	0.50	0.500
Mm028, Mm120	white Portland cement	marble powder	1:2	0.60	0.353

* all particles with sizes below 125 μm

Experimental Methods

The bulk density after immersion and adsorption after immersion were measured according to ASTM C642-13 [13, 14]. Due to the different bulk densities of the samples, the adsorption values were adjusted to comparable values. The compressive strength at 28 and 120 days of water curing was measured according to EN 196-1:2016 [15].

A broken part of a sample with a mass of 2.0±0.3 mg was used to measure the porosity by the method of mercury intrusion porosimetry using the Carlo Erba, Porosimeter Mod. 1520, pressure range 1-150 atm, corresponding to the pore size range 50-15000 nm.

Powder X-ray diffraction (PXRD) analysis was performed with an X-ray powder diffractometer D2 Phaser BrukerAXS, CuKα radiation (λ = 0.15418 nm) (operating at 30 kV, 10 mA) from 5 to 80 °2θ with a step of 0.05° (grinded sample with weight – 1.0±0.1 mg and particle sizes below 0.075 mm). Phase identification and peak fitting were carried out using the computer program for qualitative analysis QualX (v. 2.24) with the indexed Powder Diffraction File database [16].

Scanning electron microscopy (SEM) was performed with a microscope Philips PH, Model 515, regime of secondary electron emission. The fracture fragments of the samples with an approximately flat surface of about 10×10 mm were dried for 12 hours at 60 ± 5ºC, then coated with a thin layer of gold.

Results and Analysis

Physical-mechanical properties

The results show that the compressive strength of the conventional cement mortar As028 is comparable to that given by the factory (Table 2). This indicates that the sand used is similar to the CEN Standard sand, EN 196-1. The compressive strength increases by 7.6% at day 120 (As120), due to the filling of the porous space with newly formed hydrates (the pore volume decreases by 6.8%).

The values for the measured parameters indicate the formation of a thin structure of hardened samples Mm, which are characterized by a higher water-to-cement ratio. The presence of fine particles decreases the water-to-fines ratio, but does not increase the density of the structure. The prolonged water curing increases the compressive strength by 14.3%, which is greater than the decrease in the total pore volume by 9.3% (Table 2).

Table 2. Physical-mechanical properties of the samples

Sample	Bulk density after immersion	Adsorption after immersion	Compressive strength		Pore volume	
			28 days	120 days	28 days	120 days
	$kg.m^{-3}$	$mm^3.cm^{-3}$	$N.mm^{-2}$	$N.mm^{-2}$	$mm^3.g^{-1}$	$mm^3.g^{-1}$
As	2126	173.8	56.3	60.6	44.98	41.91
Mm	2158	258.5	53.8	61.5	64.66	58.69

PXRD analysis

PXRD analysis was used to confirm the previously obtained results and to better evaluate the investigated samples. The PXRD analysis (Table 3, Fig. 1 and Fig. 2) shows the presence of two

groups of minerals in the studied samples: (i) relict minerals from the initial composition: belite, albite, anorthite, Mg-rich calcite, quartz, dolomite and (ii) newly formed minerals: tobermorit, hillebrandite, and scolecite for CSH/CSAH gel minerals, ettringite and monosulphoaluminate for sulphoaluminates, hemi- and monocarboaluminate for carboaluminates and portlandite.

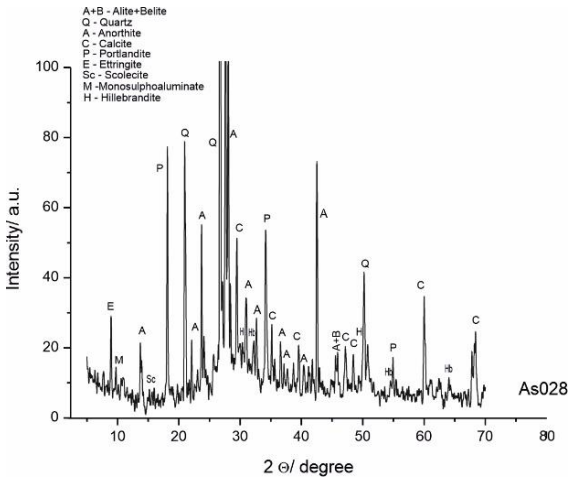


Fig. 1a. PXRD pattern of sample As028

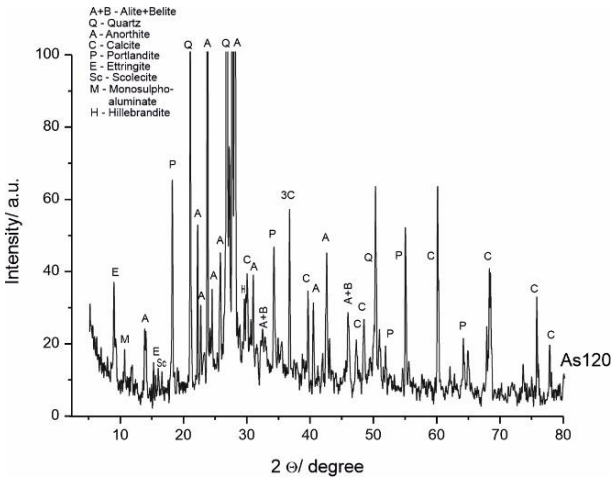


Fig. 1b. PXRD pattern of sample As120

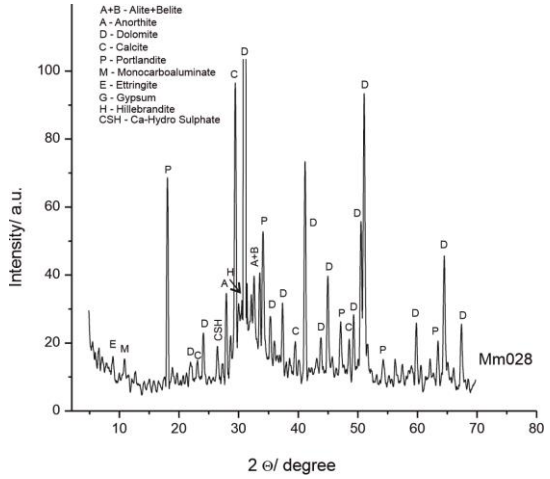


Fig. 2a. PXRD pattern of sample Mm028

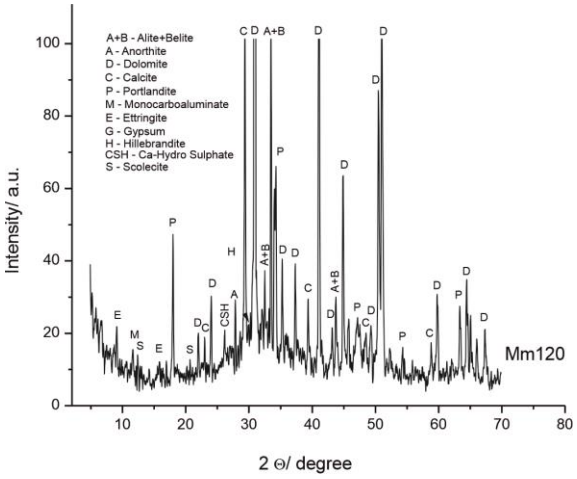


Fig. 2b. PXRD pattern of sample Mm120

The identification of relict minerals in the samples' compositions is associated with insufficient water in the systems, which results in an incomplete hydration of the raw minerals.

Table 3. PXRD analysis results

No	Phase description	Sample	Identified phases
1.	***Relict minerals***		
1.1.	Non-hydrated phases of cement and aggregates	As028, As120 Mm028, Mm120	belite (C_2S), 49-1673– $2CaO.SiO_2$
			albite (C_3S), 11-0593 – $(Na,Ca)Al(Si,Al)_3O_8$
			anorthite (CAS_2), 41-1486– $CaO.Al_2O_3.2SiO_2$
			quartz, 46-1045 – SiO_2 – 3.34
		Mm028, Mm120	dolomite, #36-0426 – $CaMg(CO_3)_2$
1.2.	Phases of the source components	As028, As120 Mm028, Mm120	Mg-rich Calcite, #47-1743 – $CaCO_3$
2.	***Newly formed phases***		
2.1.	- containing OH^-	As028, As120 Mm028, Mm120	portlandite (CH), #44-1481 – $Ca(OH)_2$
2.2.	- containing SO_4^{2-}, OH^- and crystal water H_2O	As028, As120 Mm028, Mm120	ettringite, #41-1451 – $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}.26H_2O$
		As028, As120	monosulphoaluminate, #45-0158 – $Ca_4Al_2SO_{10}.12H_2O$
		As028, As120 Mm028, Mm120	calcium hydrogensulphate, #85-1271 – $Ca(HSO_4)_2$

2.3.	- hydrosilicates – CSH/CSAH, forming of main oxides CaO, SiO_2, OH^- and/or crystal water H_2O	As028, As120 Mm028, Mm120	hillebrandite, #42-0538 - $Ca_6Si_3O_9(OH)_6$
		As028, As120	tobermorite 11A, #45-1480 - $Ca_5Si_6(O,OH)_{18}.5H_2O$
		As028, As120 Mm120	scolecite, #41-1355 - $CaAl_2Si_3O_{10}.3H_2O$
2.4.	- OH- and HCO_3^- /CO_3^{2-} phases	Mm028, Mm120	monocarboaluminate, #41-0219 – $Ca_4Al_2(OH)_{12}(CO_3).5H_2O$
		Mm028	hemicarboaluminate, #41-0221 – $Ca_4Al_2(OH)_{12}(OH)(CO_3)_{0.5}.4H_2O$

SEM

The surface structures of the studied samples are shown in Figures 3 and 4. The micrographs indicate the stable and dense structures, even at 28 days of curing, so there are no empty spaces for the growth of new minerals. The CSH/CSAH gel possibly forms a fine-grained crystal aggregate with structural parameters under the limit of PXRD detection. Additionally, the areas with self-desiccation drying cracks can be seen. Due to wall effects, different cement-to-water ratios, and empty spaces, these areas are filled with crystal hydrates of different morphologies: plate crystals (portlandite), needle crystals (ettringite), and fine crystal aggregates (CSH gel).

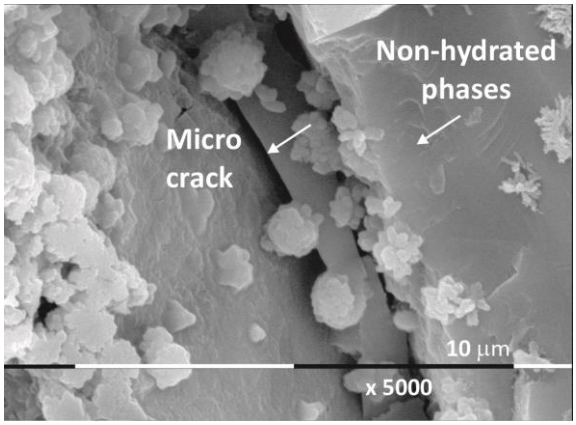


Fig. 3a. SEM micrograph of sample As028

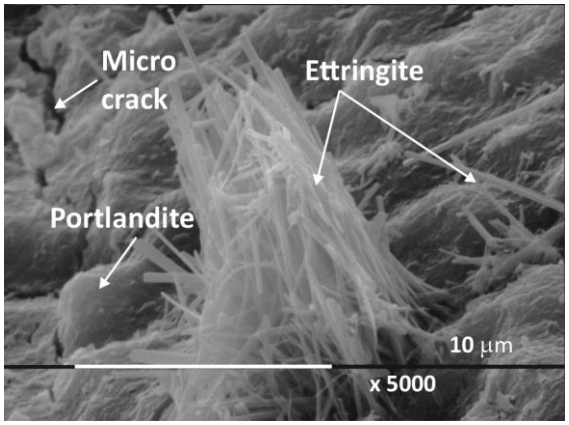


Fig. 3b. SEM micrograph of sample As120

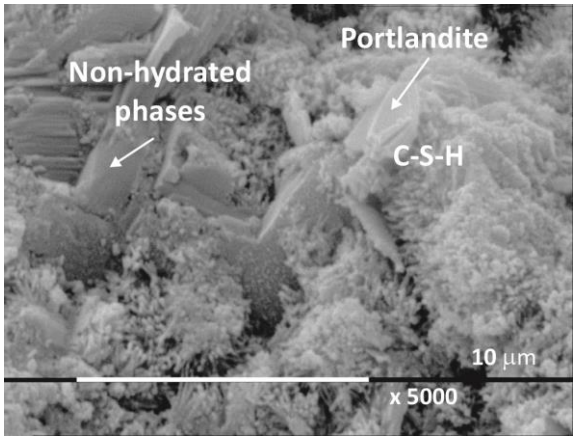


Fig. 4a. SEM micrograph of sample Mm028

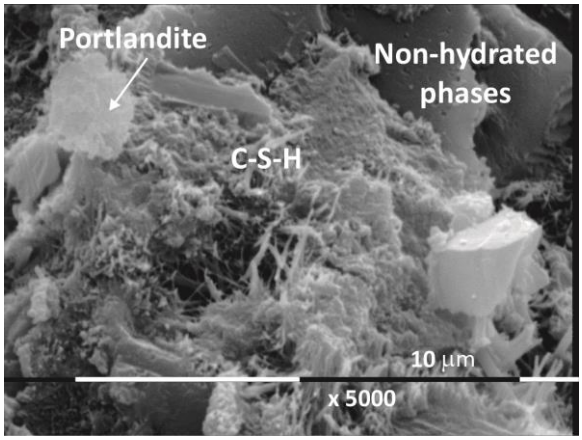


Fig. 4b. SEM micrograph of sample Mm120

According to the results of the PXRD analysis, the following reaction mechanism schemes for the hydration of the samples have been defined:

(1) $2Ca_3SiO_5$ (C_3S) + $7H_2O$ → $Ca_3Si_2O_7.4H_2O$ (C-S-H gel) + $3Ca(OH)_2$ (fast)

(2) $2Ca_2SiO_4$ (C_2S) + $5H_2O$ → $Ca_3Si_2O_7.4H_2O$ (C-S-H gel) + $Ca(OH)_2$ (slow)

Formation of ettringite

(3) $Ca_3Al_2O_6$ (C_3A) + $3CaSO_4.2H_2O$ + $26H_2O$ → $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}.26H_2O$

Formation of hillebrandite (CSH)

(4) Ca_2SiO_4 (C_2S) + H_2O → $Ca_2SiO_3(OH)_2$

Formation of tobermorite (CSH) – only in compositions with sand

$2Ca_3SiO_5$ (C_3S) + $4SiO_2$ + $6H_2O$ → $Ca_5Si_6O_{16}(OH)_2.4H_2O$ (C-S-H gel) + $Ca(OH)_2$

$3Ca_2SiO_4$ (C_2S) + $3SiO_2$ + $6H_2O$ → $Ca_5Si_6O_{16}(OH)_2.4H_2O$ (C-S-H gel) + $Ca(OH)_2$

Formation of Scolecite (CSAH)

(5) $Ca_3Al_2O_6$ (C_3A) + $3SiO_2$ + $5H_2O$ → $CaAl_2Si_3O_{10}.3H_2O$

The use of marble white-powder (Mg-rich calcite) increases the content of CO_3-ions [17-19], which are involved in the formation of hydrated phases, verified by the presence of hemi-, and monocarboaluminate:

(6) $Ca_3Al_2O_6$ (C_3A) + $0.5CaCO_3$ + $0.5\ CaO$ + $12H_2O$ → $Ca_4Al_2(CO_3)_{0.5}(OH)_{12}.5.5H_2O$

(7) $Ca_3Al_2O_6$ (C_3A) + $CaCO_3$ + $11H_2O$ → $Ca_4Al_2(CO_3)(OH)_{12}.5H_2O$

Conclusions

The micro-structural evolution, studied by physico-mechanical and structural analyses, shows the formation of a stable dense structure without any space for the growth of new crystals.

Regardless of the very dense structure, the samples have open and continuous porosity. Water penetrates through capillaries, thus making the processes of delayed hydration and pozzolanic reaction possible and reducing the amount of portlandite.

Funding: This work was supported by the Operational Program “Science and Education for Intelligent Growth” co-financed by the European Union through the European Structural and Investment Funds under grant BG05M2OP001-1.001-0008 of National Centre for Mechatronics and Clean Technology (V.P.).

Acknowledgements: The authors gratefully acknowledge New Bulgarian University, the Department of Natural Sciences, and the Geology Laboratory – BF.

References:

1. Cardoso, T. C., P.Ricardo de Matos, L. Py, M. Longhi, O. Cascudo, A. P. Kirchheim, Ternary cements produced with non-calcined clay, limestone, and Portland clinker, Journal of Building Engineering, Volume 45, 2022, 103437, https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103437.
2. Deboucha, W., N. Leklou, A. Khelidj, M .N. Oudjit, Hydration development of mineral additives blended cement using thermogravimetric analysis (TGA): Methodology of calculating the degree of hydration, Constr. and Building Materials, 146, 2017, 687–701 https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.132
3. Gusain, I., S. Sharma, S. Debarma, A. K. Sharma, N. Mishra, P. P. Dahale, Study of concrete mix by adding Dolomite in conventional concrete as partial replacement with cement, Materials Today: Proceedings, Volume 73, Part 1, 2023, Pages 163-166, https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.583.
4. Hu, H., W. Yao, Yo. Wei, Recycling waste dolomite powder in cement paste: Early hydration process, microscale characteristics, and life-cycle assessment, Science of The Total Environment, 902, 2023, 166008, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166008.
5. Lea's Chemistry of Cement and Concrete (Ed. P.C. Hewlett). 4th Ed., Butterworth-Heinemann; 2004, 1092 p.
6. Hamad, B. S., Investigations of chemical and physical properties of white cement concrete, Advanced Cement Based Materials, 2, 1995, 161–167.
7. Ling, T.-C., C.-S. Poon, Properties of architectural mortar prepared with recycled glass with different particle sizes, Materials & Design, 32, 2011, 2675–2684.
8. Aïtcin, P.C., Binders for Durable and Sustainable Concrete, Spon Press, 2007, p. 528.
9. Aïtcin, P.C., S. Mindess, Sustainability of Concrete, Spon Press; 2011, p. 328.
10. Schutter, G. De, P. J. M. Bartos, P. Domone, J. Gibbs, Self-Compacting Concrete, Whittles Publishing, 2008, p. 288.
11. Self Compacting Concrete (Ed. A. Loukili), Wiley; 2011, p. 288.
12. Taylor H. F. W., Cement Chemistry, 2d ed. London: Thomas Telford Publishing; 1997.
13. ASTM C642-13 Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete: 2013.
14. Stoyanov, V., Investigation of properties of decorative mortars besed on design of experiments, In Proc.: International Conference on Civil Engineering Design and Construction. (Eurocodes – Science and Practice) DCB 2010, September 09–11, 2010, Varna, Bulgaria, 2010, 463-470 (in Bulgarian)
15. EN 196-1:2016, Methods of testing cement - Part 1: Determination of strength, 2016
16. PDF (Powder Diffraction File), ICDD, Newtown Square, PA, 2001.
17. Matschei, T., B. Lothenbach, F. P. Glasser, The role of calcium carbonate in cement hydration, Cement and Concrete Research, 37, 2007, 551–558 https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.10.013
18. Douba, A. E., P. Hou, Sh. Kawashima, Hydration and mechanical properties of high content nano-coated cements with nano-silica, clay and calcium carbonate, Cement and Concrete Research, 168, 2023, 107132 , https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107132
19. Lewis, J., M. McDonald, A. Carballo-Meilan, R. Chacartegui, W. Afzal. The physicochemical properties of Portland cement blended with calcium carbonate with different morphologies as a supplementary cementitious material, Journal of Cleaner Production, 338, 2022, 130309, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130309

ИНТЕНЗИВНО ЕНЕРГЕТИЧНО СМИЛАНЕ – ЕКОЛОГИЧЕН ПОДХОД ЗА ПРЕРАБОТКА НА ФОСФОРНИ РУДИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ПОДОБРИТЕЛИ ЗА ПОЧВИ

Вилма Петкова[1], Катерина Михайлова[1,2], Биляна Костова[3]

[1]Институт по минералогия и кристалография „Акад. Ив. Костов“– Българска академия на науките
[2]Минно геоложки университет „Св. Ив. Рилски“
[3]Нов български университет, департамент „Природни науки“
e-mail: bkostova@nbu.bg

Ключови думи: *фосфоритова руда, интензивна трибохимична активация, специфична повърхност, усвояеми форми на P_2O_5, функционални зависимости*

Резюме: *Седиментните фосфоритови руди имат широко приложение в производство на подобрители за почви. Класически метод за преработката им е разтваряне с минерални киселини, който е свързан със значителни замърсявания на околната среда. Екологичен метод за преработка на тези руди е интензивното енергетично смилане - трибохимична активация (НЕМ), чрез което се постигат модификация и дефектиране на главния рудообразуващ минерал апатат, водещо до увеличаване количеството на усвояемата форма от растенията форма на P_2O_5 ($P_2O_5^{ass}$) и увеличаване на реакционната повърхност (SSA) на готовия продукт. Фосфоритови руди от Тунис и Узбекистан за подложени на НЕМ с различна продължителност - от 5 до 240 минути. Установени са функционални зависимости между времето на НЕМ активация и съдържанието на $P_2O_5^{ass}$, както и между времето на НЕМ активация и SSA, чрез които е построена зависимост, показваща функционална връзка между SSA и $P_2O_5^{ass}$. Получената нова зависимост позволява: (i) експериментално измерване само на единия параметър; (ii) извършване на НЕМ активация при по-малък на брой времена и математическо изчисляване на стойностите за SSA и $P_2O_5^{ass}$ за необходимите други времена на НЕМ активация.*

HIGH-ENERGY MILLING – AN ECOLOGICAL APPROACH TO PROCESSING PHOSPHOROUS ORES FOR THE PRODUCTION OF SOIL CONDITIONERS

Vilma Petkova[1], Katerina Mihaylova[1,2], Bilyana Kostova[3]

[1]Institute of Mineralogy and Crystallography “Acad. Iv. Kostov” – Bulgarian Academy of Sciences
[2]University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”
[3]New Bulgarian University, Department of Natural Sciences
e-mail: bkostova@nbu.bg

Keywords: *phosphorite ore, high-energy milling, specific surface, P_2O_5 assimilable forms, functional dependences*

Abstract: *Sedimentary phosphorite ores have wide application in the production of soil conditioners. The classical method for their processing is dissolution with mineral acids, which is associated with significant environmental pollution. An ecological approach for the processing of these ores is high-energy milling (HEM). This method allows for the modification and defecting of the main ore-forming mineral apatite, thus leading to an increase in the amount of plant-assimilable form of P_2O_5 ($P_2O_5^{ass}$) and an increase in the specific surface area (SSA) of the end product. Phosphorite ores from Tunisia and Uzbekistan were subjected to HEM for different durations of time, from 5 to 240 minutes. Functional dependences were established between the HEM activation time and the $P_2O_5^{ass}$ content and between the HEM activation time and SSA. Through them, a new dependence was found, which shows the functional relationship between SSA and $P_2O_5^{ass}$ and allows: (i) the experimental measurement of only one parameter; (ii) the performance of HEM activation at lower amounts of time and the mathematical calculation of the SSA and $P_2O_5^{ass}$ values for the required other HEM activation times.*

Въведение

Фосфоритовата руда със седиментен произход се среща често и образува големи промишлени находища. Използва се за производство на фосфорни торове и подобрители за почви. Класически метод за нейната преработка е разтваряне с минерални киселини с цел увеличаване количеството усвояема от растенията форма на P_2O_5 ($P_2O_5^{ass}$) [1, 2]. Киселинните методи за производството на фосфорни торове и подобрители за почви предизвикват замърсявания на околната среда с газови емисии на киселинни оксиди и твърдофазни отпадъци - фосфогипс, което според някои автори води дори до климатични промени [3, 4].

Екологичен метод за преработка на тези руди е интензивното енергетично смилане (НЕМ), известен в литературата като трибохимична активация, чрез който се постига модификация и дефектиране на главния рудообразуващ минерал апатат, увеличаване количеството на усвояемата форма от растенията форма на P_2O_5 ($P_2O_5^{ass}$) и увеличаване на реакционната повърхност (измерена като специфична повърхност SSA) [5, 6], като не се допуска замърсяване на околната среда.

Основна цел в публикуваните статиите за трибохимично активиран апатит, е установяване на най-подходящото време за активация на различни образци, при което се постигат оптимални стойности на усвояемите форми на P_2O_5 ($P_2O_5^{ass}$), както и установяване на причините за тези резултати. Публикуваните данни обикновено представят голям брой експериментални изследвания [7, 8].

В предишни наши публикации са установени функционални зависимости между НЕМ и стойностите на $P_2O_5^{ass}$, както и между НЕМ и SSA в образци от отделни находища [9, 10]. Тези резултати предлагат възможност за установяване на връзка между изменението на стойностите на P_2O_5 и SSA при образци, подложени на НЕМ, което е и фокусът на настоящата работа. За целта са изследвани проби от седиментна фосфоритова руда от две находища, разположени в Тунис и Узбекистан.

Материали и методи

Изследвана е природна апатитова руда със седиментен произход. Пробите са от промишлени находища в Тунис и Узбекистан – химичният и минералният състав на рудата е представен в Таблица 1 и Таблица 2 [2].

Таблица 1. Химичен състав

Находище	wt %						
	$P_2O_5^{ass}$	CaO	SOx	SiO2	CO2	MgO	F_2
Тунис	29.58	48.40	3.58	1.88	6.48	0.67	2.74
Узбекистан	24.20	46.50	2.42	7.70	9.60	-	2.40

Таблица 2. Минерален състав

Находище	Минерал/ %					
	франколит	кварц	калцит	доломит	анхидрит	фелдшпат
Тунис	94.5	0.3	2.9	1.1	1.1	следи
Узбекистан	73.1	6.0	15.8	0.9	1.0	2.9

Интензивната трибохимична активация (НЕМ) е извършена в планетарна мелница Pulverisette-5, Fritsch Co (Germany). Проби от двете находища са смлени със следната продължителност от времена: 5, 10, 30, 60, 120, 150 и 240 min с Cr-Ni-смилащи тела с диаметър 20 mm, при скорост на въртене 280 min^{-1} и теглото на пробата за смилане е 20 g.

Специфичната повърхност (SSA) на изходните и смлените проби е определена чрез BET – метод (EMS-53 sorptometer and KELVIN 1040/1042 software (Costech International)).

Общото съдържание на P_2O_5 ($P_2O_5^{tot}$ %) е определено въз основа на разтворимостта му в амониев цитрат и в 2% лимонена киселина. Стойностите на $P_2O_5^{ass}$ % са определени в съответствие с БДС 14131-88 и процедурата ЕЕО ЕЕО 77/535.

Получените резултати от химичните анализи и SSA са обработени математически, като е определено най-доброто съвпадение R^2 (максимално близко до 1) с функционална зависимост.

Резултати и дискусия

В Таблица 3 са представени получените резултати от химичните анализи и измерването на SSA на изходната руда и пробите подложени на НЕМ активация.

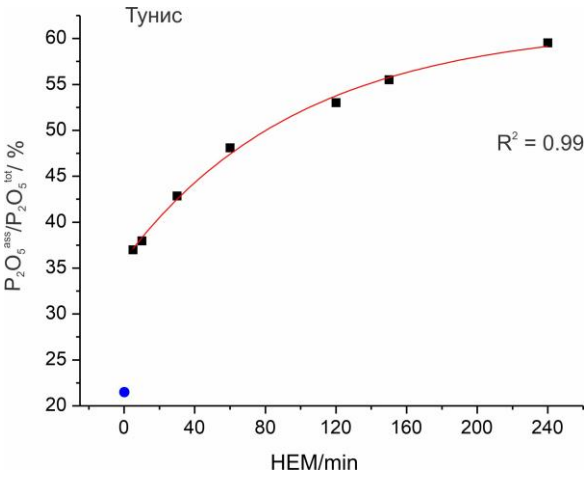
Таблица. 3. Резултати от химични анализи и измерване на SSA за изходната руда и активираните проби.

Проба / НЕМ активация/min	**$P_2O_5^{tot}$/%**	**$P_2O_5^{ass}/P_2O_5^{tot}$ /%**							
	0	**0**	**5**	**10**	**30**	**60**	**120**	**150**	**240**
Тунис	29.58	21.46	37.00	37.98	42.85	48.10	53.01	55.50	59.54
Узбекистан	24.13	22.80	23.75	25.54	30.00	36.79	47.80	55.01	61.49
Проба / НЕМ активация/min		**SSA/ $m^2 . g^{-1}$**							
		0	**5**	**10**	**30**	**60**	**120**	**150**	**240**
Тунис		14.43	18.71	20.47	18.48	12.60	8.72	7.65	7.10
Узбекистан		8.90	11.29	16.70	15.37	11.85	7.06	6.5	4.63

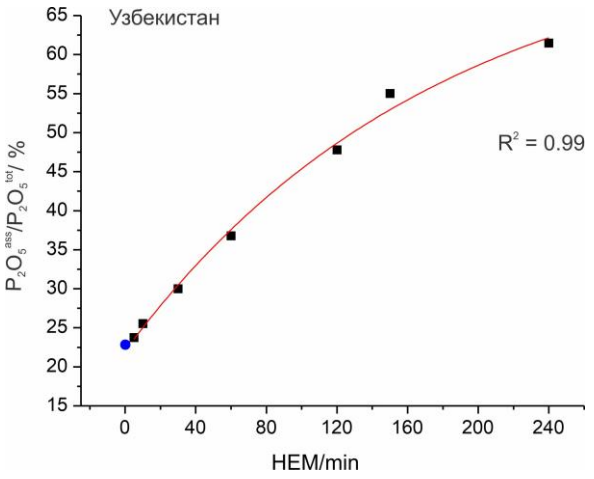
Резултатите показват увеличаването на съдържанията на $P_2O_5^{ass}/P_2O_5^{tot}$ /% (увеличаването на $P_2O_5^{ass}$) с увеличаване времето на НЕМ активация по експоненциална функция с най-добро съвпадение на функциите за двете серии от проби $R^2 = 0.99$ (Фиг. 1 и Фиг. 2) по следните формули за проба Тунис (1) и проба Узбекистан (2):

(1) $$y = -25.61 * \exp(x/-100.05) + 61.74$$

(2) $$y = -54{,}06 * \exp(x/-177.20) + 76.12$$

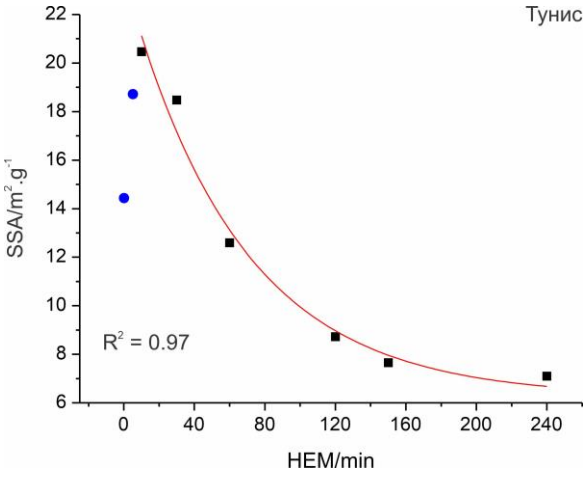


Фиг. 1. Тунис – експоненциална зависимост на НЕМ от $P_2O_5^{ass}/P_2O_5^{tot}$ (● - стойност извън зависимостта)

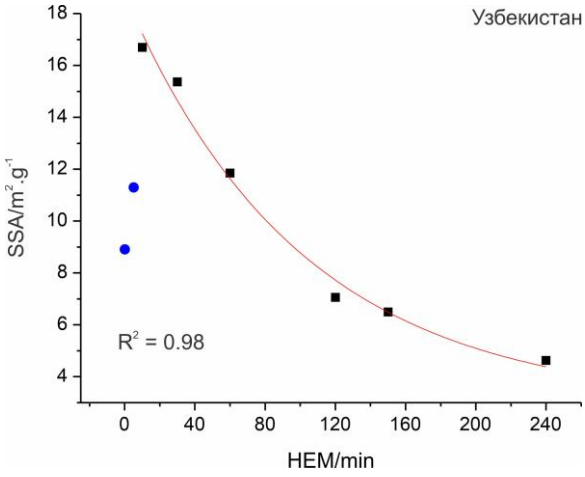


Фиг. 1. Узбекистан – експоненциална зависимост на НЕМ от $P_2O_5^{ass}/P_2O_5^{tot}$ (● - стойност извън зависимостта)

Стойностите на SSA и на двете серии (Таблица 1) показват рязко увеличение от изходната руда към пробите, смлени до време 10 min. При смилане и на двете серии от 30 до 240 min се наблюдава намаляване на SSA. Достатъчният брой проби за време на НЕМ между 30 и 240 min позволява построяване на експоненциална зависимост на намаляване на стойностите на SSA, представена на Фиг. 3 и Фиг. 4.



Фиг. 3. Тунис – експоненциална зависимост на НЕМ от SSA (● - стойности извън зависимостта)



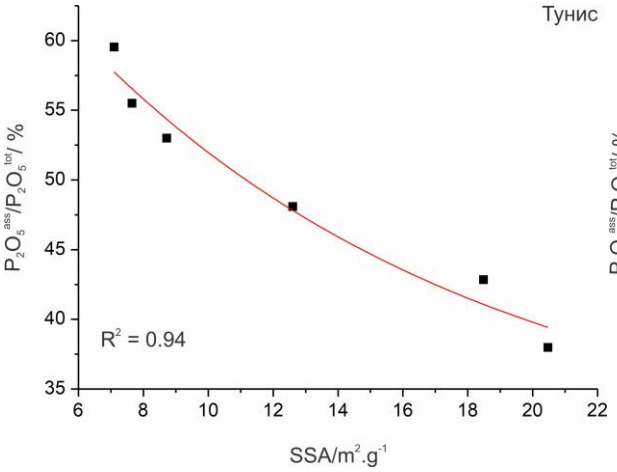
Фиг. 4. Узбекистан – експоненциална зависимост на НЕМ от SSA (● - стойности извън зависимостта)

Пробите от Тунис показват най-добро съвпадение към експоненциално намаляваща функция R^2 = 0.97 (Фиг. 3) по формула (3), а тези от Узбекистан – R^2 = 0.98 (Фиг. 4) – по формула (4):

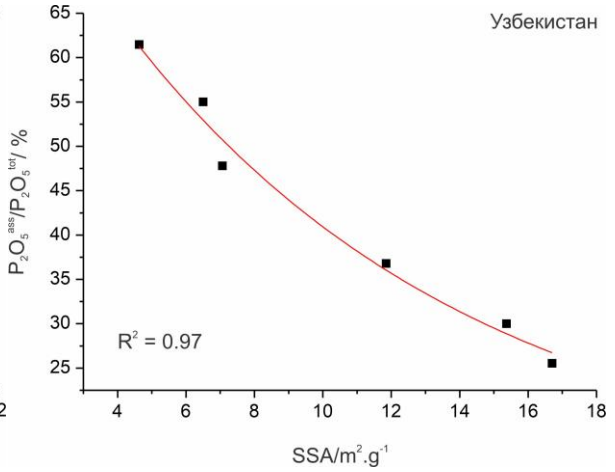
(3) $$y = 17.35 * \exp(x / 64.72) + 6.25$$

(4) $$y = 15.78 * \exp(x / -100.66) + 2.93$$

Функционалните зависимости, представени на фигури 1-4, имат един общ параметър – време за НЕМ, което позволява той да бъде елиминиран и да се построи нова зависимост, показваща връзката между останалите два параметъра - на $P_2O_5^{ass}$ и SSA. Построените нови зависимости са представени на Фиг. 5 (за образците от Тунис) и на Фиг. 6 (за образците от Узбекистан).



Фиг. 5. Тунис – експоненциална зависимост на SSA от $P_2O_5^{ass}/P_2O_5^{tot}$



Фиг. 6. Узбекистан – експоненциална зависимост на SSA от $P_2O_5^{ass}/P_2O_5^{tot}$

Установена е експоненциална намаляваща зависимост на SSA от $P_2O_5^{ass}$ с най-добро съвпадение R^2 = 0.94 за пробите от Тунис по формула (5) R^2 = 0.97 за пробите от Узбекистан по формула (6):

(5) $$y = 49.22 * \exp(-x / 12.52) + 29.82$$

(6) $$y = 78.41 * \exp(-x / 10.27) + 11.30$$

Получената нова зависимост позволяват определяне стойностите на SSA от тези на $P_2O_5^{ass}$ и обратно, което позволява намаляване броя експериментални измервания. Функционалната зависимост позволява и смилане на по-малък брой времена и математическо определяне на стойностите други времена на смилане.

Заключение

Получена е нова функционална зависимост между SSA от тези на $P_2O_5^{ass}$, която оптимизира научната работа за разработване на екологичен метод за преработка на фосфоритови руди чрез:

- експериментално измерване само на единия от двата параметъра;
- извършване на НЕМ при по-малък на брой времена и математическо изчисляване на стойностите за SSA и $P_2O_5^{ass}$ за необходимите други времена на НЕМ активация.

Финансиране: Тази работа е подкрепена от Оперативна програма "Наука и образование за интелигентен растеж", съфинансирана от Европейския съюз чрез Европейските структурни и инвестиционни фондове с безвъзмездна финансова помощ BG05M2OP001-1.001-0008 на Националния център по мехатроника и чисти технологии (В. П.)

Благодарности: Авторите изказват благодарност на Нов български университет, Департамент "Природни науки" и Лаборатория по геология - БФ.

Литература:

1. Pelovski, Y., V. Petkova, I. Dombalov, Thermotribochemical treatment of low grade natural phosphates. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2007, 88, 207–212.
2. Tõnsuaadu, K., T. Kaljuvee, V. Petkova, R. Traksmaa, V. Bender, K. Kirsimäe, Impact of mechanical activation on physical and chemical properties of phosphorite International Journal of Mineral Processing, 2011, 100, 104–109.
3. Elliot, J. C., Structure and chemistry of the apatite and other calcium orthophosphate, studies in inorganic chemistry. Amsterdam: Elsevier; 1994
4. Чайкина, М.В., Механохимия природных и синтетических апатитов, Изд. СО РАН, филиал “Гео”, Новосибирск, 2002, 223.
5. Petkova, V., Y., Pelovski, I. Dombalov, K.Tonsuaadu, Thermochemical investigations of Natural Phosphate with Ammonium Sulphate additive. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2005, 80, 701-708.
6. Yaneva, V., O. Petrov, V. Petkova. Structural and Spectroscopic Studies of the Nanosize Appatite (Syrian). Materials Research Bulletin, 2009, 44, 693–699.
7. Balaz, P. Mechanochemistry in nanoscience and minerals engineering. Berlin: Springer; 2008.
8. Jebri, S, H. Boughzala, A. Bechrifa, M. Jemal. Structural analysis and thermochemistry of ‘‘A’’ type phosphostrontium carbonate hydroxyapatites. J Therm Anal Cal., 107(3), 2012, 963–72.
9. Petkova, V., V. Koleva, B. Kostova, S. Sarov. Structural and thermal transformations on high energy milling of natural apatite. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2015, 121, 1, 217–225.
10. Petkova, V., B. Kostova, M. Kadiyski, T. Kaljuvee, Influence of SiO_2 on thermal behavior of high energy activated natural phosphorites. Book of abstracts CCTA 12th Conference on calorimetry and thermal analysis of the Polish society of calorimetry and thermal analysis (PTKAT) and 5th Joint Czech - Hungarian - Polish – Slovakian thermoanalytical conference. Maria Curie-Skodowska University Press, ISBN 978-83-7784-684-1. 2015, 218–220.

S E S 2 0 2 3
Nineteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
24 – 26 October 2023, Sofia, Bulgaria

МОНИТОРИНГ НА ВЪЗСТАНОВЯВАНЕ СЛЕД ГОРСКИ ПОЖАР С ИЗПОЛЗВАНЕ НА DIRECTION ANGLE

Наталия Станкова

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

Ключови думи: *Дистанционни изследвания, екомониторинг, горски пожар, Direction Angle*

Резюме: *Извършен е мониторинг на възстановителните процеси след горски пожар с използване на получения чрез tasseled cap индекс – Direction Angle (DA). Обектът на изследване се намира в Североизточните Родопи, в близост до с. Черньовци (област Кърджали), България, където през 2012 г. избухва горски пожар. Извършен е 10-годишен мониторинг на възстановяването след горския пожар (2012–2022 г.).*

MONITORING POST-FIRE FOREST RECOVERY USING DIRECTION ANGLE

Nataliya Stankova

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

Keywords: *Remote sensing, Ecomonitoring, Wildfire, Direction Angle*

Abstract: *Monitoring of the post-fire forest recovery was carried out using the tasseled cap derived index – Direction Angle. The study area is located in the Northeastern Rhodopes, near the village of Chernyovtsi (Kardzhali region), Bulgaria, where a wildfire broke out in 2012. A 10-year monitoring of post-fire forest recovery was carried out (2012–2022).*

Въведение

Горите са сред най-уязвимите екосистеми, засегнати от горски пожари. Мониторингът на степента на въздействие, както и възстановителните процеси след горски пожари са от изключително значение. Аерокосмическите методи за дистанционно наблюдение са високотехнологичен инструмент за надежден и широкомащабен мониторинг [1] на процесите на възстановяване, протичащи в горските екосистеми след пожар [2, 3]. Дистанционните изследвания са източник на информация, който осигурява висока пространствена разделителна способност [4, 5], както и исторически данни [6].

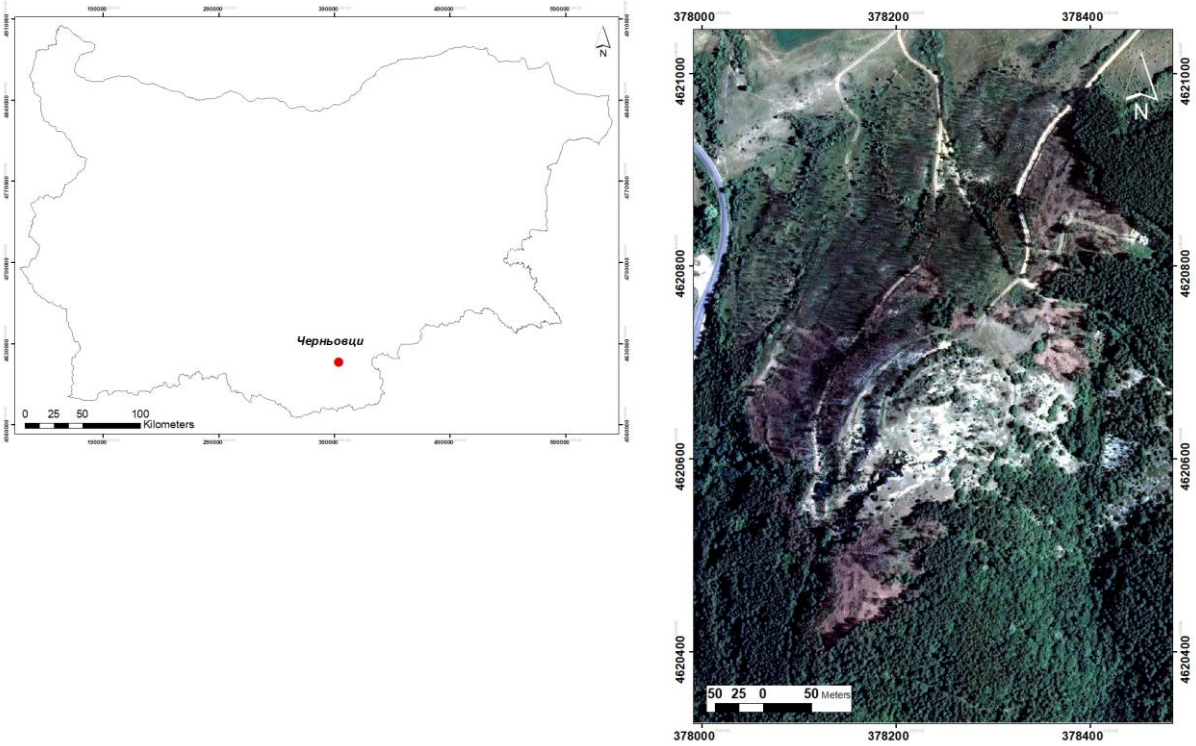
Целта на настоящето изследване – мониторинг на възстановяването след горски пожар, е постигната чрез използване на Direction Angle (DA) – индекс, получен на базата на tasseled cap трансформация [7]. Измененията на стойностите на Direction Angle отразяват тенденцията на промяната на зелената компонента за различните моменти от изследвания период [8, 9], което дава възможност за оценка на степента на възстановяване на Greenness компонентата.

Обект на изследване

Обектът на изследване се намира в Североизточните Родопи, в близост до с. Черньовци (област Кърджали), България (Фиг. 1). Координатите на пожара са 41°43’40’’N; 25°32’07’’E.

На 1 октомври, 2012 г. избухва горски пожар, който засяга около 15 ха иглолистна и смесена гора [10]. Местните широколистни гори в района се отнасят към Тракийската провинция на Европейската широколистна горска област. Поради ерозионните процеси през

50-те години на миналия век и увеличаване териториите с голи площи, е извършено масово залесяване с иглолистни гори – черен бор (*Pinus nigra Arn.*).



Фиг. 1. Местоположение на с. Черьовци, България (в ляво); Координати на пожара 41°43’40’’N; 25°32’07’’E.; Аерофото изображение, 2013 г. (дясно)

Територията на пожара до с. Черньовци се намира на 450-510 м. надморска височина. Районът се характеризира с Континентално-средиземноморски климат. Горските екосистеми в тази част на България са подложени на стрес през лятото за последните години, поради честите и продължителни засушавания, свързани с изменението на климата [11, 12]. Топографията също повлива на развитието на пожара – горските екосистеми не са напълно увредени, тъй като пожарът е възникнал през есента. По-високото съдържание на влага в горската растителност, характерно за този сезон, обусловява по-малката интензивност на пожара, което засяга в по-малка степен горските екосистеми. Като резултат гората не е напълно унищожена.

Материали и методи

Мониторингът на възстановителите процеси след горския пожар е извършен на базата на методология, използваща Direction Angle. DA представлява индекс, получен на базата на tasseled cap трансформация (1), въведен и валидиран в предходни изследвания [8, 9, 13].

(1) $$DA = \arccos(nTCG / VIC)$$

където nTCG е нормираната стойност на зелената tasseled cap компонента – Tasseled cap Greenness, а VIC е Вектор на моментното състояние на екосистемата.

Мониторингът на възстановяване е проведен за период от десет години – 2012-2022 г. За целта на мониторинга са използвани изображения от Landsat (ETM+, OLI и OLI-2), веднъж годишно през месец август. Сателитните изображения от Landsat са свободно достъпни чрез онлайн платформата на US Geological Survey – Earth Explorer (https://earthexplorer.usgs.gov/) [14]. Датите на сателитните изображения, използвани за целите на мониторинга, както и сензорът, от който са получени, са показани в Таблица 1.

Таблица 1. Използвани сателитни изображения при екологичния мониторинг на възстановяване

Дата	Сензор
03/09/2012	Landsat ETM+
13/08/2013	Landsat OLI
16/08/2014	Landsat OLI
26/08/2015	Landsat OLI
21/08/2016	Landsat OLI
24/08/2017	Landsat OLI
18/08/2018	Landsat OLI
21/08/2019	Landsat OLI
23/08/2020	Landsat OLI
03/08/2021	Landsat OLI
30/08/2022	Landsat OLI 2

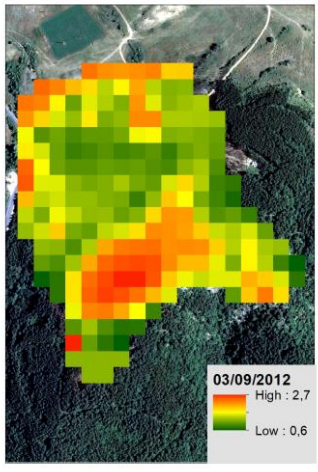
Аерофото изображения [15] с много висока разделителна способност от 2013 г. (една година след пожара), са използвани с цел визуална интерпретация и избор на тестовия участък, както и за валидация. Пространствената разделителна способност на аерофото изображенията е ≤ 0.4 m.

Резултати

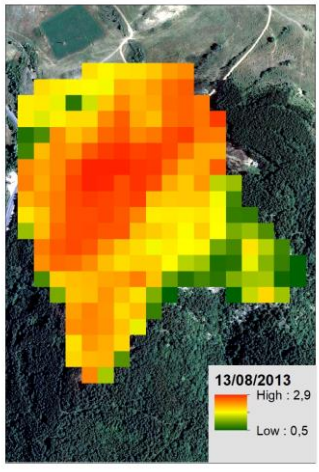
Растерните изображения на DA показват посоката на промяна на зелената tasseled cap компонента спрямо VIC (Векторът на състоянието на екосистемата), което позволява да се оцени степента на възстановяване на растителната компонента за различни моменти от изследвания период.

Фиг. 2 а) – к) визуализира растерните изображения на индекса DA, показващи изменението на стойностите му през периода на мониторинг (2012–2022 г.). На фиг. 2 а) се наблюдават ниски стойности на DA на по-голямата част от територията на изследвания периметър около месец (03/09/2012) преди възникването на пожара, което индикира доброто вегетативно състояние на горските екосистеми в района. Максималните стойности на DA на Фиг. 2 б) една година след пожара потвърждават силно засегнатата изгоряла площ на територията на пожарището.

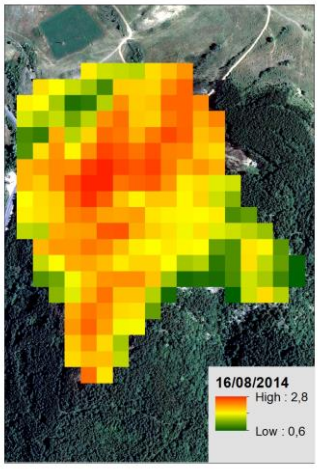
Начало на възстановителни процеси се наблюдава след 2016 г. (Фиг. 2 д)), което се дължи на проведено залесяване в района. Възстановяването се потвърждава и от понижаване на стойностите на DA на изображенията след 2016 г. Наблюдават се стабилни темпове на възстановителните процеси през последните години от проведения мониторинг с трайно занижаване на стойности на DA индекса (Фиг. 2 й), Фиг. 2 к)), което дава индикация за добро вегетативно състояние на растителните съобщества.



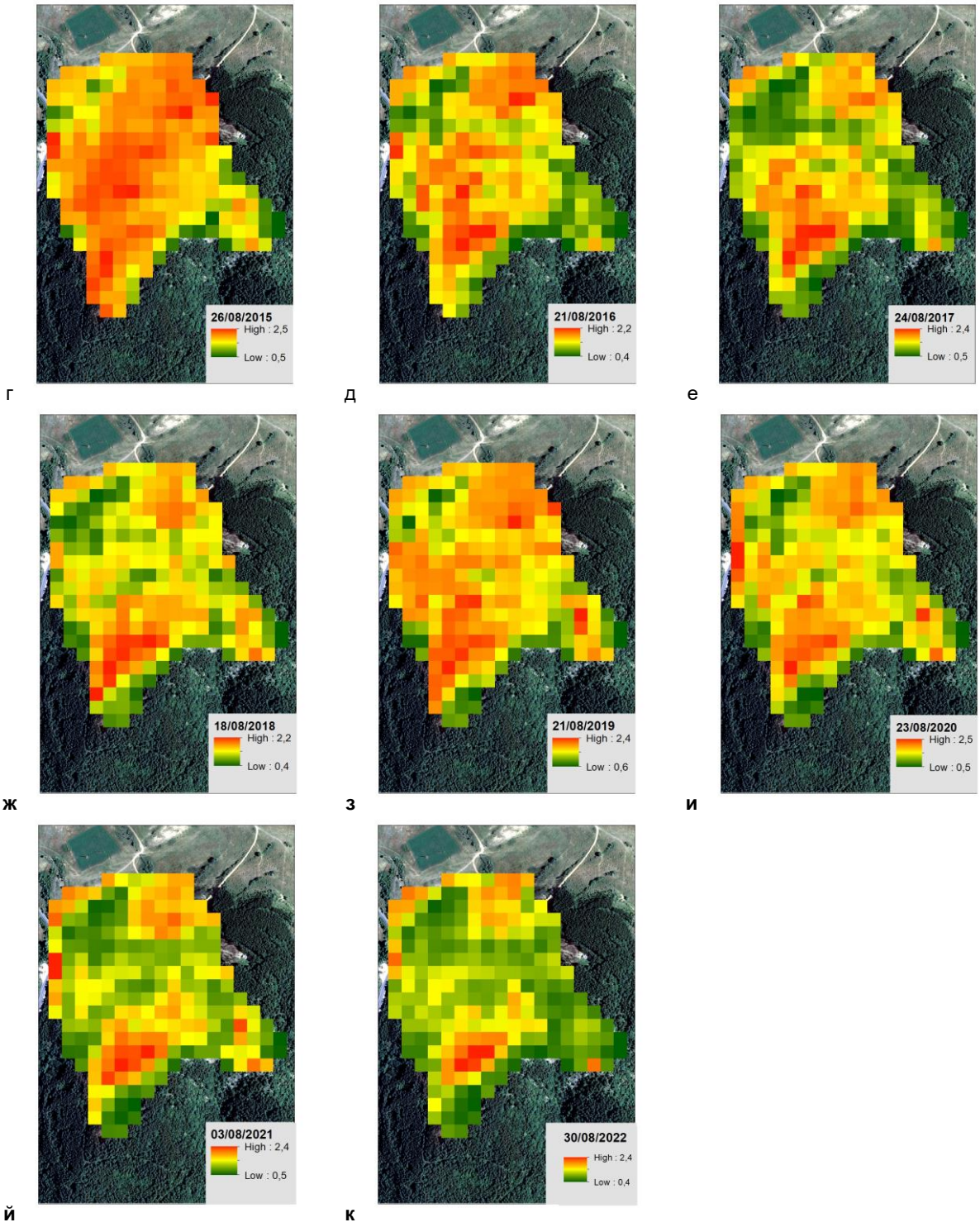
а



б



в



Фиг. 2. Direction Angle за периода 2012-2022 г.

Благодарности

Авторът изказва благодарности на US Geological Survey за предоставения достъп до сателитните изображения на Landsat и на Министерството на земеделието на Република България за аерофото изображенията.

Литература:

1. Spasova, T. Assessment of monitoring and security on the Black sea coast by remote sensing and open data. Proc. SPIE 12263. SPIE Sensors + Imaging 2022.12263-13, 5 - 7 September, 2022 Berlin, Germany.
2. Мардиросян, Г. Природни бедствия и екологични катастрофи – изучаване, превенция, защита. София, Акад. Издателство „Проф. Марин Дринов“, 2020, ISBN 978-619-245-013-7, с. 353.
3. Stankova, N. Post-fire recovery monitoring using remote sensing: A review. Aerospace Research in Bulgaria, 2023, 35, pp. 192–200. https://doi.org/10.3897/arb.v35.e19.
4. Spasova, T. Creating a digital twin and polar digital space in Antarctica. Proc. SPIE 12786, Ninth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2023), 1278625 (21 September 2023). https://doi.org/10.1117/12.2682918.
5. Spasova, T., A. Dancheva, D. Avetisyan, I. Ivanova, I. Popov, B. Shirov. Monitoring of Renewable energy sources with remote sensing, Open data and field data in Bulgaria. Proc. SPIE, 3-6 September, 2023, Amsterdam, Netherlands (под печат).
6. Dimitrov, P., P. Olofsson, G. Jelev, I. Kamenova. Mapping of forest cover change by post-classification comparison and multitemporal classification of SPOT data – a Bulgarian case study. Aerospace Research in Bulgaria, 2018, 30, Space Research Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences, 2018, ISSN:1313-0927, DOI:10.3897/arb.v30.e05, pp. 42–62.
7. Kauth, R., G. Thomas. 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, 1976.
8. Stankova, N., R. Nedkov. Model for quantitative assessment of Disturbance Index and Vector of Instantaneous Condition of an ecosystem after fire based on aerospace data, Eleventh Scientific Conference with International Participation, Space, Ecology, Safety, 4-6 November, 2015, Sofia, pp. 292–297.
9. Stankova, N., R. Nedkov. Research model of monitoring the recovery of an ecosystem after fire based on satellite and GPS data. Ecological Engineering and Environment Protection 1/2016, ISSN 1311–8668, pp. 5–11.
10. Stankova, N., T. Spasova, I. Ivanova. Monitoring post-fire forest regrowth using differenced disturbance index classification. Proc. SPIE 12786, Ninth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2023), 127861V (21 September 2023). https://doi.org/10.1117/12.2681787.
11. Avetisyan, D., E. Velizarova, R. Nedkov, D. Borisova. Assessment and mapping of the current state of the landscapes in Haskovo region (Southeastern Bulgaria) in relation to ecosystem services using remote sensing and GIS. Proc. SPIE 10773, 107731P (2018). doi:10.1117/12.2325894.
12. Avetisyan, D., R. Nedkov. Application of remote sensing and GIS for determination of predicted status of the ecosystem/landscape services in changing environmental conditions. Proc. SPIE 11174, 111740I (2009). doi:10.1117/12.2532609.
13. Avetisyan, D., N. Stankova, Z. Dimitrov. Assessment of Spectral Vegetation Indices Performance for Post-Fire Monitoring of Different Forest Environments. Fire 2023, 6, 290. https://doi.org/10.3390/fire6080290.
14. USGS. Earth Explorer. Available online: https://earthexplorer.usgs.gov/ (accessed on 22 October 2022).
15. Изпълнителна агенция по околна среда. http://pdbase.government.bg/zpo/en/index.jsp (accessed on 15 May 2021).

ОЦЕНКА НА ПОРАЖЕНИЯТА СЛЕД ГОРСКИ ПОЖАР ДО СЕЛО ХВОЙНА (СРЕДНИ РОДОПИ) С ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДИСТАНЦИОННИ МЕТОДИ

Наталия Станкова

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

Ключови думи: *Дистанционни изследвания, горски пожар, Disturbance Index, Sentinel 2*

Резюме: *Извършена е оценка на последствията и степента на засегнатост след горски пожар чрез използване на Disturbance Index (DI). Обектът на изследване се намира в Средни Родопи, в близост до с. Хвойна (област Смолян), България, където на 28/08/2023 избухва горски пожар. Използвани са многоспектрални спътникови изображения от Sentinel 2 – преди и след пожара.*

ASSESSMENT OF THE DISTURBANCES AFTER A WILDFIRE NEAR THE VILLAGE OF HVOYNA (MIDDLE RHODOPES) USING REMOTE SENSING METHODS

Nataliya Stankova

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

Keywords: *Remote sensing, wildfire, Disturbance Index, Sentinel 2*

Abstract: *Assessment of the consequences and the degree of disturbances after a wildfire was conducted using Disturbance Index (DI). The study area is located in the Middle Rhodopes, near the village of Hvoyna (Smolyan region), Bulgaria, where on 28/08/2023 a forest fire broke out. Multispectral satellite imageries from Sentinel 2 – before and after the fire – were used.*

Въведение

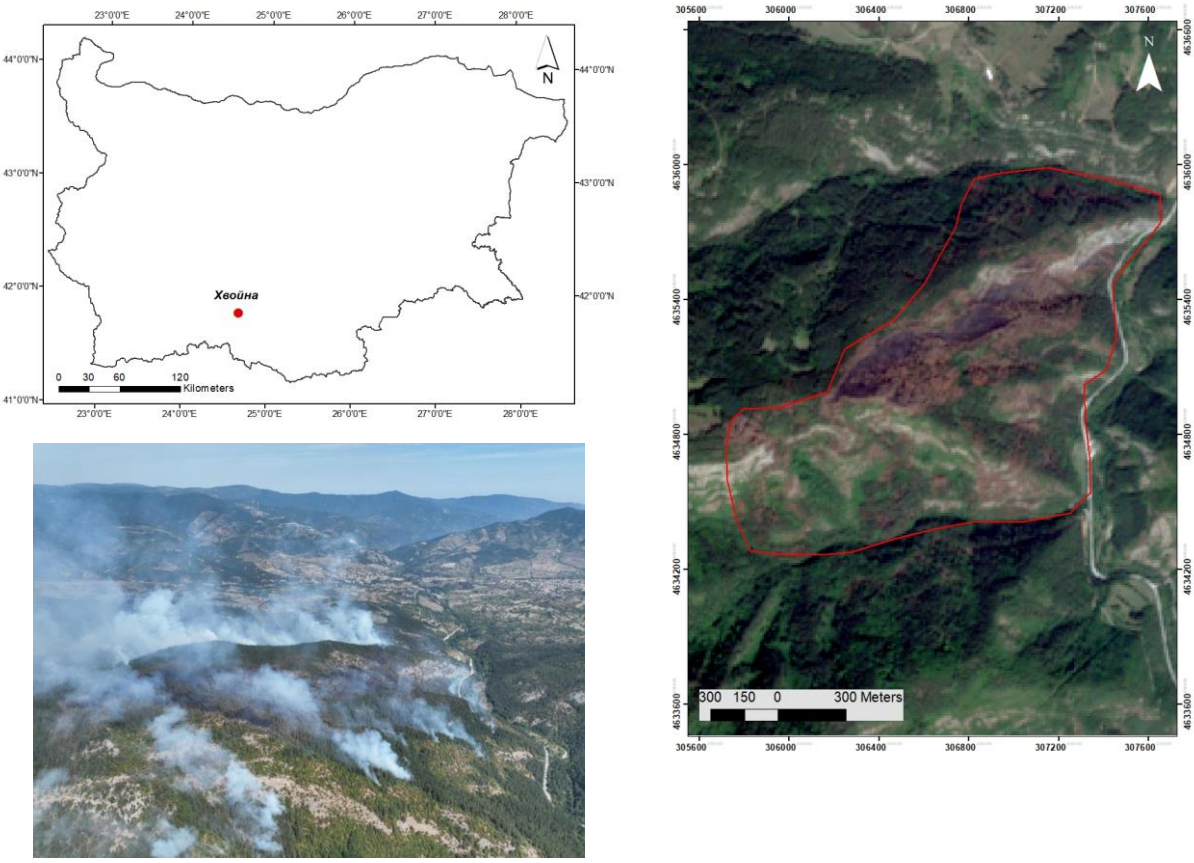
Сухото и горещо време в края на месец август, 2023 г. е основание за възникване на пожари. На 28/08/2023 г. избухва пожар в близост до родопското село Хвойна (община Чепеларе), в местността „Синият хан“, потушаването на който отнема четири дни. Причината за възникването на пожара е с антропогенен характер – цигара, изхвърлена от преминаващ автомобил по пътя Хвойна-Чепеларе. Пламъците са обхванали върховете на най-близките борове край пътя и пожарът бързо се превръща във върхов. Медиите съобщават за засегнати от пожара 1500 дка, в които попада широколистна и иглолистна гора. Пожарът засяга и 100-годишна иглолистна гора.

Оценяването на последствията и степента на поражение върху почвата и растителността, непосредствено след пожара, е от изключителна важност за планирането на възстановителни мероприятия. Поради финансовите средства, необходими за теренна работа, както и своевременната ангажираност на опитни специалисти, все по-често приложение намират дистанционните методи [1–4]. Дистанционните методи имат капацитет за изучаване на хетерогенността и пространственото разпределение на изгорелите участъци. С цел оценка на пораженията след пожар, много от изследванията базират своите методологии на разликовите вегетационни индекси. Най-често използвани са dNDVI (Differenced Normalized Difference Vegetation Index) и dNBR (Differenced Normalized Burn ratio) [5–9].

Целта на настоящето изследване е да се извърши оценка на последствията и степента на нарушенията след горския пожар до с. Хвойна чрез използване на методология, различна от стандартните подходи, използващи вегетационни индекси. Предложената методология е на базата на получения чрез прилагане на tasseled cap трансформация спектрален индекс – Disturbance Index (DI) [10–12].

Обект на изследване

Обектът на изследване се намира в Средните Родопи, в близост до с. Хвойна и с. Студенец (област Смолян), България (Фиг. 1). Територията на пожара се намира на 720–1150 m надморска височина. Пожарът попада на територията на Натура 2000 зона – „Родопи-Западни“ (BG0001030) по Директивата за местообитанията, а в близост се намира и Натура 2000 зона – „Персенк“ (BG0002105) по Директивата за птиците.



Фиг. 1. Местоположение на с. Хвойна, България (горе ляво); Местоположение на пожара – изображение от Sentinel 2 A от 22/09/2023 в RGB (дясно); Снимка на пожара, източник: БГНЕС (долу ляво).

На 28 август, 2023 г. избухва горски пожар, който засяга около 1500 дка иглолистна и широколистна гора. Изгарят вековни гори от Черен бор (*Pinus nigra*) на възраст между 100–130 г.

Пожарът е потушен за четири денонощия, като в гасенето участват два военни хеликоптера и над 150 души – пожарникари, горски служители и доброволци. Трудността при гасенето на пожара е вследствие както на липсата на пътен достъп, поради труднодостъпната местност, така и от натрупани количества смола по възрастните дървета, тъй като до 1995 г. в гората е извършван смолодобив. Наличието на площадки с натрупана смола при по-възрастните дървета в боровата гора е сред причините и за по-продължително горене, което не може да се изгаси с поливане с вода, обясняват от Южно Централно Държавно предприятие.

Материали и методи

Оценка на степента на пораженията след пожара при с. Хвойна е направена с помощта на изображения от Sentinel 2 – преди пожара от 18/08/2023 г. и след пожара от 12/09/2023 г. Външният контур на пожара е очертан по изображение от Sentinel 2 A от 22/09/2023 (Фиг. 1) в RGB канали. В сравнение с Landsat, Sentinel има по-добра пространствена, спектрална и времева разделителна способност. Използването на мултиспектрални изображения от Sentinel допълнително увеличава точността на получените следпожарни екологични оценки. Сателитните изображения от Sentinel са свободно достъпни чрез онлайн платформата Copernicus Open Access Hub [13].

Оценката на последствията и степента на пораженията след пожара е извършена, използвайки методология на базата на Differenced Disturbance Index (dDI) [14]. Обработката на сателитните изображения включва основни операции като георефериране, генериране на мултиспектрални композитни изображения, прилагане на tasseled cap трансформация, нормиране, пресмятане на спектрални индекси, описани в Таблица 1. На базата на тематичния растер на dDI, е направена класификация, която показва степента на нарушенията (%) (Фиг. 2 б).

Табл. 1. Спектрални индекси, използвани при оценка степента на пораженията след пожара

Спектрален индекс	Абревиатура	Формула
Disturbance Index	DI	$nTCB - (nTCG + nTCW)$
Differenced Disturbance Index	dDI	$DI_{post-fire} - DI_{pre-fire}$

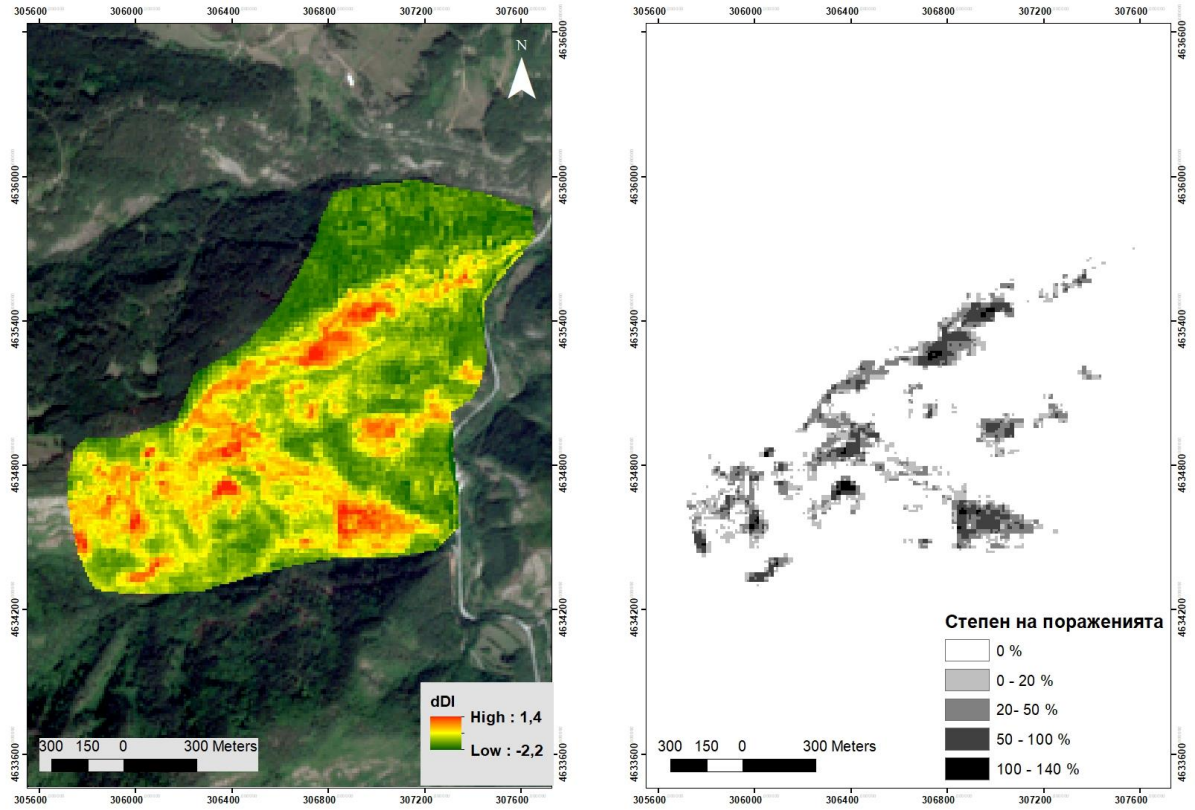
Резултати

Концепцията за DI предполага, че високите стойности на TCB (tasseled cap Brightness) и ниските стойности на TCG (tasseled cap Greenness) и TCW (tasseled cap Wetness) са характерни за увредените от пожара горски области, където DI се откроява с високи стойности. И обратното, незасегнатите гори, характеризиращи се с добър вегетационен статус, имат ниски стойности на TCB и високи стойности на TCG и TCW, което се изразява в ниски отрицателни стойности на DI.

Тематичната карта на dDI, представена на Фиг. 2 а), изобразява изменението на стойностите на DI преди (18/08/2023) спрямо след пожара (12/09/2023). Районите с най-големи разлики в индекса преди и след пожара, съответно с най-високи стойности на dDI, са обозначени с червен цвят. Те индикират най-силно засегнатите от пожара гори. Ниските отрицателни стойности на dDI посочват незасегнатите от пожара гори.

На базата на растерното изображение на dDI е направена класификация, показваща степента на пораженията (%) на територията на пожарището – Фиг. 2 б). Отрицателните стойности на dDI са класифицирани с 0% степен на поражения – това са незасегнатите от пожара гори, а положителните стойности на dDI – спрямо стойностите на индекса в четири класа, съответно с 0-20%, 20-50%, 50-100% и 100-140% степен на поражения.

Като заключение можем да обобщим, че полигонът на пожарището може надеждно да бъде идентифициран чрез използване на dDI (Фиг. 2 а), както и степента на пораженията след пожар могат да бъдат оценени с помощта на dDI класифициран тематичен растер (Фиг. 2 б).



а б

Фиг. 2. а) Тематична карта на dDI, изобразяваща изменението на стойностите на DI преди (18/08/2023) спрямо след пожара (12/09/2023); б) Карта на степента на пораженията (%) на територията на пожара.

Благодарности

Авторът изказва благодарности на Copernicus Open Access Hub за предоставения достъп до сателитните изображения на Sentinel.

Литература:

1. Мардиросян, Г. Основи на дистанционните аерокосмически технологии, София, Акад. Издателство „НБУ“, 2015, с. 240.
2. Spasova, T., D. Avetisyan. A synchronized remote sensing monitoring approach in the Livingstone island region of Antarctica. Proc. SPIE 12786, Ninth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2023), 127861X, 21 September 2023. https://doi.org/10.1117/12.2682162.
3. Dancheva, A., T. Spasova. Use of open, spatial and satellite data for the purpose of researching landfills for municipal. Aerospace Research in Bulgaria. 35, pp. 41-51, 2023. http://dx.doi.org/10.3897/arb.v35.e05.
4. Spasova, T., A. Dancheva, D. Avetisyan, I. Ivanova, I. Popov, B. Shirov. Monitoring of Renewable energy sources with remote sensing, Open data and field data in Bulgaria. Proc. SPIE, 3-6 September, 2023, Amsterdam, Netherlands (под печат).
5. Димитров, П., А. Гиков. Идентификация и оценка на следи от пожари в Рила планина чрез използване на спектрални индекси по данни от Landsat. Proceedings of the Fifth Scientific Conference. with International Participation SPACE, ECOLOGY, NANOTECHNOLOGY, SAFETY – SENS`2009, 2-4 November, 2009, Sofia, Bulgaria, pp. 142–149.
6. Stankova, N., R. Nedkov. Monitoring forest regrowth with different burn severity using aerial and Landsat data. In Proc. of Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International, Milano, Italy, July 26-31, 2015, pp. 2166–2169. doi: 10.1109/IGARSS.2015.7326233.
7. Viedma, O., J. Meliá, D. Segarra, J. García-Haro. Modeling Rates of Ecosystem Recovery after Fires by Using Landsat TM Data. Remote Sensing of Environment, 61, 1997, pp. 383–398.
8. Гиков, А., П. Димитров. Картографиране на изгорелите площи и оценка на пораженията при пожарите в Кресненското дефиле през 2017 година. Journal of the Bulgarian Geographical Society, Vol. 40, 2019, pp. 10–16.
9. Avetisyan, D., N. Stankova, Z. Dimitrov. Assessment of Spectral Vegetation Indices Performance for Post-Fire Monitoring of Different Forest Environments. Fire, 2023, 6, 290. https://doi.org/10.3390/fire6080290.

10. Healey, S., W. Cohen, Z. Yang, O. Krankina. Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection. Remote Sensing of Environment, 2005, 97, pp. 301–310. doi: http://dx.doi.org/10.1016/ j.rse.2005.05.009.
11. Avetisyan, D., E. Velizarova, L. Filchev. Post-Fire Forest Vegetation State Monitoring through Satellite Remote Sensing and In Situ Data. Remote Sens. 2022, 14, 6266. https://doi.org/10.3390/rs14246266.
12. Stankova, N. Post-fire recovery monitoring using remote sensing: A review. Aerospace Research in Bulgaria, 2023, 35, pp. 192–200. https://doi.org/10.3897/arb.v35.e19.
13. Copernicus Open Access Hub. Available online: https://scihub.copernicus.eu/ (accessed on 22 October 2022).
14. Masek, J. G., C. Q. Huang, R. Wolfe, W. Cohen, F. Hall, J. Kutler, P. Nelson. North American forest disturbance mapped from a decadal Landsat record. Remote Sens. Environ. 2008, 112, pp. 2914–2926. https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.02.010.

WATER-RELATED NATURAL HAZARD ASSESSMENT: A GIS-BASED METHODOLOGY FOR THE RHODOPE MOUNTAIN RANGE IN BULGARIA

Ekaterina Ivanova

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

Keywords: *Floods, landslide susceptibility, drought hazard, soil erosion, Rhodope Mountain*

Abstract: *According to the United Nations Environment Programme over 90 percent of "natural" disasters are water-related. Their importance has been steadily growing in recent years due to climate change, which is affecting the hydrological cycle and increasing their frequency and intensity. Using the powerful toolset of GIS, the present study analyzes in a spatial context some of the most significant water-related natural hazards, affecting the Rhodope Mountains region, namely drought, floods, soil erosion and landslides. Drought leads to the degradation of river ecosystems, which are highly dependent on the water availability, and this in turn increases erosion and soil loss. On the other hand, floods and landslides cause devastation and death and result in severe damage to societies, economies and the environment. The study is based on long-term hazard inventory data in the Rhodope Mountain Range, provided by official institutions, regarding past hazardous events such as floods (10 years of measurements, between 2010 and 2020), landslides (5 years of measurements, between 2015 and 2020) and flow-discharge (59 years of measurements, between 1936 and 1995). The purpose of the study is to analyze their temporal and spatial behavior and to divide the territory into risk zones with the possibility of predicting their future occurrence. From the assessment of flood and landslide sites, it is clear that the area is characterized by a high level of risk of occurrence of water-related disasters. This situation calls for intervention from government bodies so that to prepare proper disaster management plans to help mitigate the problem.*

ОЦЕНКА НА ПРИРОДНИТЕ ОПАСНОСТИ, СВЪРЗАНИ С ВОДИТЕ: ГИС-БАЗИРАНА МЕТОДОЛОГИЯ ЗА РОДОПСКАТА ПЛАНИНСКА ВЕРИГА В БЪЛГАРИЯ

Екатерина Иванова

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

Ключови думи: *Наводнения, податливост на свлачища, опасност от суша, почвена ерозия, Родопи планина*

Резюме: *Според Програмата на ООН за околната среда над 90 процента от „природните" бедствия са свързани с водата. Тяхното значение непрекъснато нараства през последните години поради изменението на климата, което влияе върху хидроложкия цикъл и увеличава тяхната честота и интензивност. Използвайки мощния инструментариум на ГИС, настоящото изследване анализира в пространствен контекст някои от най-значимите природни опасности в Родопския планински регион, свързани с водата, а именно засушаването, наводненията, почвената ерозия и свлачищата. Засушаването води до деградация на речните екосистеми, които са силно зависими от наличието на вода, а това от своя страна увеличава ерозията и загубата на почвени ресурси. От друга страна, наводненията и свлачищата причиняват опустошения и смърт и водят до тежки щети на обществата, икономиките и околната среда. Проучването се основава на дългосрочни данни от инвентаризация на опасностите в Родопите, предоставени от официални институции, по отношение на минали опасни събития като наводнения (10 години измервания, между 2010 г. и 2020 г.), свлачища (5 години измервания, между 2015 г. и 2020 г.) и речен отток (59 години измервания, между 1936 и 1995 г.).Целта на изследването е да се анализира тяхното времево и пространствено поведение и да се раздели територията на рискови зони с възможност за прогнозиране на бъдещата им поява. От оценката на местата на наводнения и свлачища става ясно, че районът се*

характеризира с висока степен на риск от възникване на водни бедствия. Тази ситуация изисква намеса от държавни органи и институции, така че да се изготвят подходящи планове за управление на бедствия, за да се помогне за смекчаване на проблема.

Introduction

Water-related natural hazards, so called hydro-meteorological hazards, are a subcategory of natural hazards originating from atmospheric, hydrological or oceanographic processes, which cause severe socio-economic disruptions and damages [1]. The increase in frequency and intensity of them across Europe has been accurately documented and recognized, especially the trends in flood risk [2, 3]. Water-related disasters (floods, storms, landslides, and droughts) occurred globally in the past 20 years account for 73.9% of all natural disasters, while nearly 60% of them are caused by floods and drought [4]. In general, mountainous areas are more sensitive to various natural hazards and threats will be more pronounced in them compared to other areas. In this context, the assessment of multiple hazards, taking into account their possible regional variations in the intensity and frequency of extreme weather conditions, is essential to identify areas potentially more exposed to climate change [2].

The Rhodope Mountain Range represent a significant part of the Bulgarian's mountain ecosystems, which play a key role in the national water supply system. On the other hand, the region is vulnerable to water-related natural disasters due to its structural instability, geographical location and topography. The disaster events has risen in the recent years resulting in numerous socio-economic losses and climate change has increasing their frequency and severity. Although various research work and data collections are being executed by national organizations, national plane for their mitigation still not exist.

The Rhodope Mountain Range is located in Southeastern Europe, which suggests that the region suffers extreme disasters events of a different and contradictory nature. On the one hand, the area is prone to streamflow droughts, which is becoming more severe and persistent in Southern Europe resulting from the increased evaporative demands with higher temperatures, while Eastern and Central Europe, opposite, is facing floods and soil erosion due to earlier spring snowmelt and heavy and high-intensity short duration convective storms [2, 5].

Risk assessments imply the combination of hazard, vulnerability and exposure (e.g., population, assets) [3]. This work is aimed at assessing the hazard component of the risk, based on historical data about past events about floods, landslides and water discharge data. The main objective is to analyze their temporal and spatial behavior and to identify areas potentially vulnerable to occurrence of water disaster events, in order to facilitate future research and decision-making for water management.

Study area

The study area includes the Rhodope Mountain Range of the Bulgarian territory, extending on an approximately 15 700 km^2 between longitudes 23º40'E and 26º40'E and between latitudes 40º50'N and 41º14'N (Fig. 1).

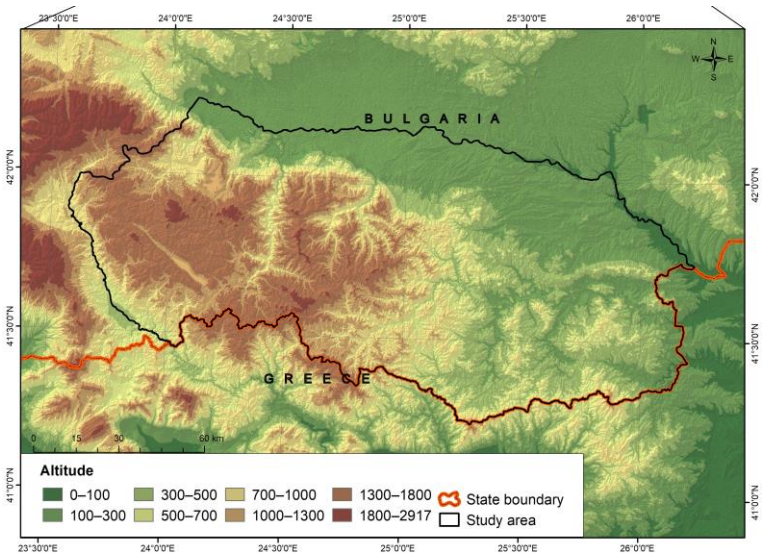


Fig. 1. Study area

The local climate of the region is determined by Mediterranean influence from the south and continental influence from the north. The average annual temperature varies from 5 to 10–13 ºC, whilst the average annual precipitation ranges between 600 and 1,100 mm [7]. The relief differs from 40 to 2,190 m above sea level with an average elevation of 745 m. The highest mountain is Golyam Perelik (2,191 m). The region also has the highest species diversity in the Balkans and includes 17 Natura 2000 protected sites [8, 9]. The region is characterized by a dense and complex river network and climatic and topographic variations determine the contrasts in the flow regime.

Data and methods

The study is based on long-term hazard inventory data in the Rhodope Mountain Range, provided by official institutions, regarding past hazardous events such as floods (10 years of measurements, between 2010 and 2020), landslides (5 years of measurements, between 2015 and 2020) and flow-discharge (59 years of measurements, between 1936 and 1995). A spatial database was created to assess water-related hazards in the Rhodope Mountain Range which also include digital elevation model (DEM) and the shapefiles of streams, gauging stations, roads and settlements, derived from 1:50,000 scaled topographic maps. One of the most devastating natural disasters that occur frequently in the Rhodope Mountain region is flood. Flood inventory database for past events, provided by East Aegean River Basin Directorate in Bulgaria, was utilized for flood hazard assessment. The data comprise information on 622 floods occurred in 207 locations in the investigated area over 10 years of observation, between 2010 and 2020. The average frequency of an event is 3 times. The minimum frequency is 1, while the maximum is 22. The database also contains information on their impact on society, infrastructure, human health, the economy and the environment. Flood frequency was applied in this study to calculate the probability (in percentages) of a future disaster occurrence. Geostatistical kriging and IDW interpolations were then enforced in order to identify flood hazard areas. For the landslide hazard assessment this study adopts the meaning of "landslide hazard" as a synonym of "landslide susceptibility", i.e. probability of landslide occurrence in a given area for a certain time interval. Analytic Hierarchy Process (AHP) [10] was applied to identify landslide hazard areas, which is based on Multi-criteria Decision Analysis (MCDA) and calculating the weights of the landslide causal factors. The method stands on a subjective assessments of the relative importance of a range of factors (criteria) in a network of digital values (weights). ASTER-GDEM v.003 was used to derive independent variables of the important landslide causal factors, which is freely shared by the Distributed Active Archive of Earth Processes of the NASA Center (https://lpdaac.usgs.gov/). The spatial database for landslide hazard assessment included slope, stream power index (SPI), topographic wetness index (TWI), distance from rivers, distance from roads and land use/cover (LULC) data. To determine water availability, long term flow inventory data was employed in this study, including monthly minimum, maximum and mean discharge records [11]. Low-flow index Q90 (daily flows exceeding 90% of the time), calculated in a previous study, was used for defining minimum flow indispensable for riverine ecosystems [12]. The values for Q90 were extracted from the flow duration curves and expressed in percentage of the mean annual flow (MAF). Then obtained values were interpolated, using the kriging geostatistical method and IDW method, in order to define drought hazard areas. Other hazardous event occurring in the Rhodope Mountain Range is soil erosion. Regarding soil erosion assessment, this paper used Global Soil Erosion Map, provided by the ESDAC of the JRC of the European Commission [13, 14], which had been re-scaled to a regional level. The measurement unit of the map is t/ha/yr.

Water-related natural hazard assessment

The flood assessment shows that during the last 10 years a significant part of the Rhodope Mountain region (approximately 20% of the territory) is exposed to a high and very high risk of adverse events in the future, mainly in the eastern and southeastern parts of the region (Fig. 2). In terms of public significance and human health, 3% of events are of medium (2.4%) and high (0.6%) impact. While, in terms of infrastructure and real estate, high and medium impact events exceed 30%. The economic impact of floods in the region, assessed with a medium and high degree of risk, is about 8% of the events. Floods with adverse environmental consequences of medium and high risk are between 7 and 8 percent. The total economic value of the damage amounts to about BGN 2 million. Seven factors with the strongest influence on landslide occurrence were selected for landslide susceptibility assessment of the Rhodope Mountain Range. These are average slope gradient, land cover, distance from rivers, distance from roads and two indexes extracted from DEM, which characterize the spatial differentiation of hydrological conditions and the distribution of soil moisture: Topographic Wetness Index (TWI) [16] and Stream Power Index (SPI) [17].

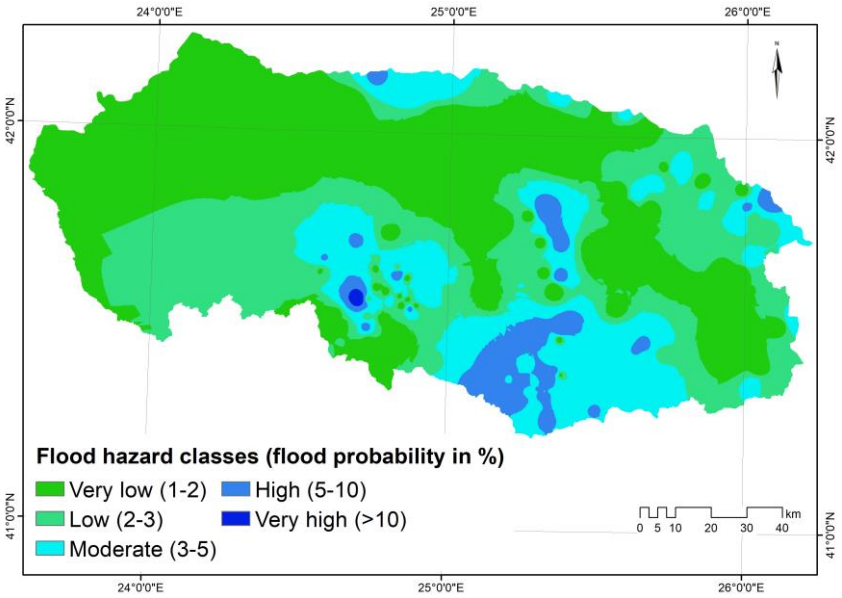


Fig. 2. Flood hazard map of the Rhodope Mountain Range, Bulgaria

Then, they are weighted according to AHP model developed in a previous study [18], so that to develop landslide susceptibility map for the Rhodope Mountain region. Based on this map, the landslide probability in percentages was calculated, which was subsequently used to assess the landslide hazard. The area was divided into 5 hazard zones (Fig. 3). The results show that the areas with high and very high landslide hazard classes are located close (up to 200 km) to riverbeds and roads.

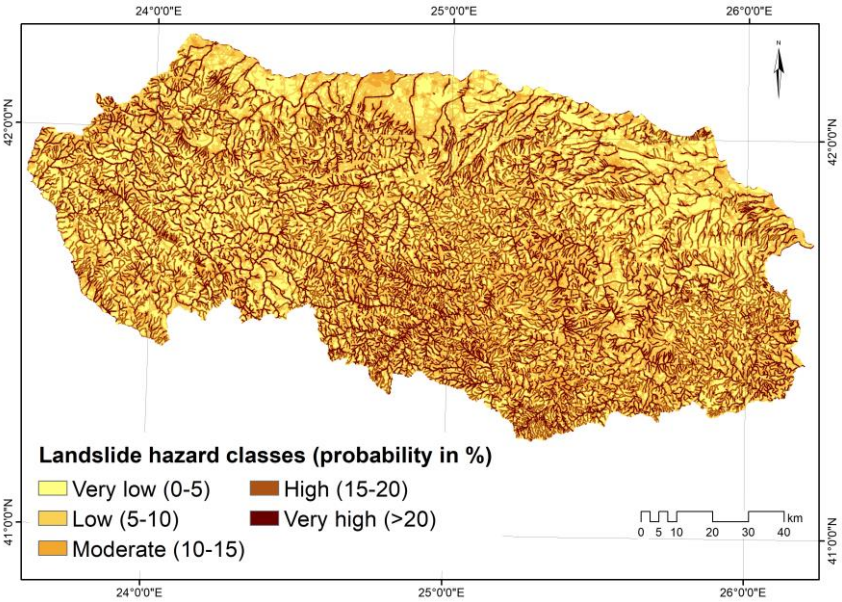


Fig. 3. Landslide hazard map of the Rhodope Mountain Range, Bulgaria

Since the rivers are now facing increasing pressure to provide water as a result of rapidly growing global human population and global climate change, the assessment of low flow has become an essential for achieving sustainable management of natural resources, especially in drought-prone areas. Considering that water availability is critical for the natural ecosystems and control numerous functions and processes, as well as the ecological balance in the aquatic, riparian and floodplain communities, the Q90 low flow index was selected to assess drought hazard in the Rhodope Mountain Range. The Q90 index was calculated as a percentage of mean annual flow (MAF) and then divided into 5 drought hazard zones, as Q90 values are indicative of habitat quality in these zones (Fig. 4). The results show that the entire south-eastern half of the Rhodope region is subject to water shortages and is characterized by a high and very drought hazard classes.

However, a particular surface area subject to the same hazard can face a variety of consequences, depending on land cover types, thence, to provide risk map for disaster mitigation, the risk classes need to be taken in consideration. For example land cover information, settlement data, transportation networks, social economic data, etc. [19].

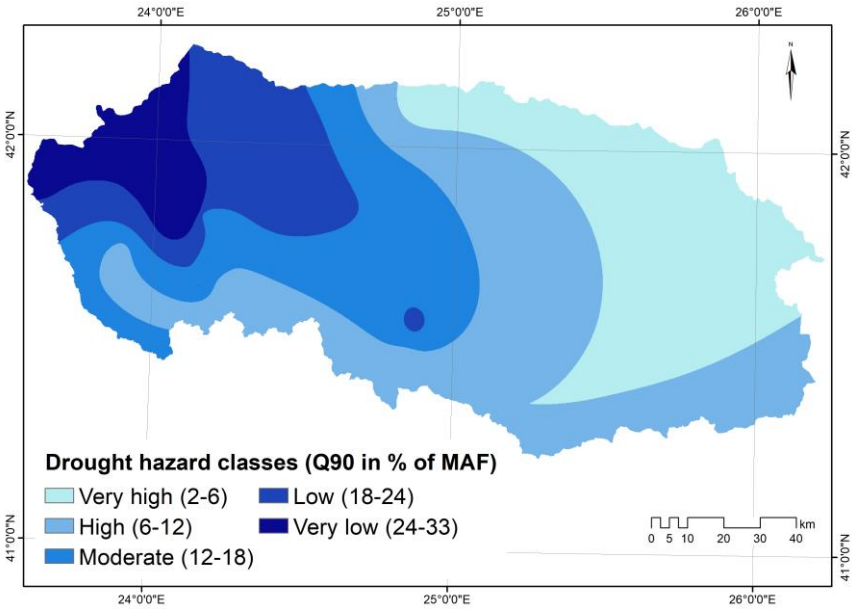


Fig. 4. Drought hazard map of the Rhodope Mountain Range, Bulgaria

Soil erosion by water is one of the most significant forms of land degradation and leads to desertification, especially in arid areas [20]. Agriculture is the sector most affected by water erosion and leads to loss of cultivable, fertile land and soil structure degradation. Nonetheless the soil erosion can also result in destruction of infrastructures, pollution of surface water, flood risk, etc. In this study, the assessment of soil erosion reveals that large areas of the eastern and southeastern parts of the Rhodope Mountain Range are also affected by soil erosion (Fig. 5).

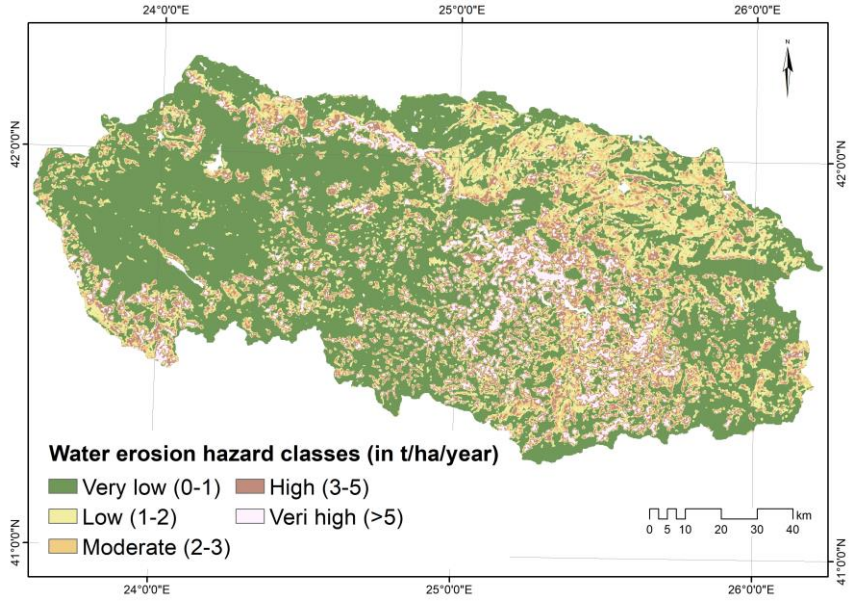


Fig. 5. Water erosion hazard map of the Rhodope Mountain Range, Bulgaria

The soil erosion map was divided into 5 water erosion hazard categories. Owing to the large forest areas, in the western part of the region water erosion shows a stable trend, below 1 t/ha/year. While, the majority of the southern and southeastern parts are characterized by a medium, high and very high water erosion hazard categories (over 3 t/ha/year).

Conclusion

The study assessed the water-related hazardous probability in the Rhodope Mountain Range of the territory of Bulgaria based on long-term hazard inventory data for historical events, regarding floods, landslides, drought hazard and soil erosion by water. That work is an attempt to analyze their temporal and spatial behavior and to identify areas potentially vulnerable to occurrence of water-related disaster events. Four hazardous maps were developed using GIS and remote sensing data and the territory was divided into different hazard zones, so that to facilitate future detailed research and analysis. The results find that the Rhodope Mountain region, in particular, its eastern and southeastern parts are exposed to risk from various water-related disaster events in the future. To reduce disaster losses, more efforts must be made to manage disaster risk in the future, given climate change and an increase in vulnerable populations. All these disaster management measures have an important spatial component. In this line, the use of earth observation products and geographic information systems (GIS) has become an important approach in disaster-risk management and hazard and risk assessments.

References:

1. UNISDR, Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030. Proceedings of the 3rd United Nations World Conference on DRR, Sendai, Japan, 2015, pp. 14–18.
2. Forzieri, G., L. Feyen, S. Russo, M. Vousdoukas, L. Alfieri, S. Outten, M. Migliavacca, A. Bianchi, R. Rojas, A. Cid. Multi-hazard assessment in Europe under climate change. Climatic Change, 137, 2016, pp. 1–15.
3. IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 2018, pp. 1–594.
4. Lee, J., D. Perera, T.Glickman, L.Taing. Water-related disasters and their health impacts: A global review. Progress in Disaster Science, 8, 2020, 100123.
5. Kumar, P., S. Debele, J. Sahani, L. Aragão, F. Barisani, B. Basu, E. Bucchignani, N. Charizopoulos, S. Di Sabatino, A. Domeneghetti, A. Sorolla Edo, L. Finér, G. Gallotti, S. Juch, L. Leo, M. Loupis, S. Mickovski, D. Panga, I. Pavlova, F. Pilla, A. Prats, F. Renaud, M. Rutzinger, A. Basu, M. Shah, K. Soini, M. Stefanopoulou, E. Toth, L. Ukonmaanaho, S. Vranic, T. Zieher. Towards an operationalisation of nature-based solutions for natural hazards. Science of the Total Environment, 731, 2020, 138855.
6. Ban, N., J. Schmidli, C. Schär. Heavy precipitation in a changing climate: does shortterm summer precipitation increase faster? Geophysical Research Letters, 42(4), 2015, pp. 1165–1172.
7. Yordanova, M., S. Velev, I. Drenovski. Characteristic features of the physical geographical regions. In Kopralev, I. (Ed.): Geography of Bulgaria: Physical and Socio-Economic Geography, BAS, Sofia, Bulgaria, 2002.
8. Tsiftsis, S., I. Tsiripidis. Orchids of Rodopi Mountain-Range National Park. Management Body of Rodopi Mountain-Range National Park, Mesochori, Paranesti, Greece, 2012.
9. Natura 2000 Network and Protected Areas Database. Ministry of Environment and Water, 2015 Bulgaria [online] http://natura2000.moew.government.bg/Home/Documents.
10. Saaty, T. The Analytic Hierarchy Process. John Wiley, New York, 1980.
11. Myronidis, D., E. Ivanova. Generating regional models for estimating the peak flows and environmental flows magnitude for the Bulgarian-Greek Rhodope Mountain Range torrential watersheds. Water, 12(3), 2020, 784.
12. Ivanova, E., D. Myronidis. Application of an integrated methodology for spatial classification of the environmental flow in the Bulgarian-Greek Rhodope Mountain Range. International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics, 8(1), 2022, pp. 84103.
13. Panagos, P., M. Van Liedekerke, P. Borrelli, J. Köninger, C. Ballabio, A. Orgiazzi, E. Lugato, L. Liakos, J. Hervas, A. Jones, L. Montanarella. European Soil Data Centre 2.0: Soil data and knowledge in support of the EU policies. European Journal of Soil Science, 73(6), 2022, e13315.
14. Panagos, P., M. Van Liedekerke, A. Jones, L. Montanarella. European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements. Land Use Policy, 29(2), 2012, pp. 329–338.
15. European Soil Data Centre (ESDAC), esdac.jrc.ec.europa.eu, European Commission, Joint Research Centre
16. Beven, J., M. Kirky.A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. Hydrological Sciences Bulletin, 24 (3), 1979, pp. 43 – 69
17. Moore, I., P. Gessler, G. Nielsen, G. Peterson. Soil attribute prediction using terrain analysis. Soil Science Society of America Journal, 57(2), 1993, pp. 443–452
18. Ivanova, E. Landslide Susceptibility Mapping using Frequency Ratio and Analytic Hierarchy Process (AHP): Comparative study of two areas in Bulgaria. Proceedings of the International Conference “Analysis and Management of Changing Risk for Natural Hazards”, 18–19 November, 2014, Padua, Italy, pp. AP23-1–AP23-9
19. Pradhan, B. Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing. Journal of Spatial Hydrology, 9(2), 2009, article 4.
20. Stefanidis, S., C. Chatzichristaki, P. Stefanidis. An ArcGIS toolbox for estimation and mapping soil erosion. Journal of Environmental Protection and Ecology, 22(2), 2021, pp. 689–696.

S E S 2 0 2 3
Nineteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
24 – 26 October 2023, Sofia, Bulgaria

ДИНАМИКА НА ЕКОЛОГИЧНИТЕ ФАКТОРИ ВЪВ ВОДОСБОРА НА РЕКА СОВОЛЯНСКА БИСТРИЦА

Христофор Скандалиев[1,2], Нели Сивева[1,2], Томислав Скандалиев[1,2]

[1]Химикотехнологичен и металургичен университет – гр. София
[2]Клуб за аерокосмически технологии „Зодиак" – гр. Кюстендил
e-mail: fori2ivanov@yahoo.com

Ключови думи: *Екология, околна среда, добивна промишленост, мониторинг*

Резюме: *Представени са нови данни за динамиката в промените на екологичната обстановка във водосбора на река Соволянска Бистрица, Кюстендилско. Изследването е продължение на извършени по-рано наблюдения и анализи на компонентите на околоната среда в района, като дава актуална картина за състоянието на водите, дънните утайки и техногенните остатъци от добивни и преработвателни промишлени дейности.*

DYNAMICS OF ENVIRONMENTAL FACTORS IN THE RIVER CATCHMENT AREA OF THE SOVOLIANSKA BISTRITSA RIVER

Hristofor Skandaliev[1,2], Neli Siveva[1,2], Tomislav Skandaliev[1,2]

[1]University of Chemical Technology and Metallurgy – Sofia
[2]Club of Aerospace Technologies ZODIAC – Kyustendil
e-mail: fori2ivanov@yahoo.com

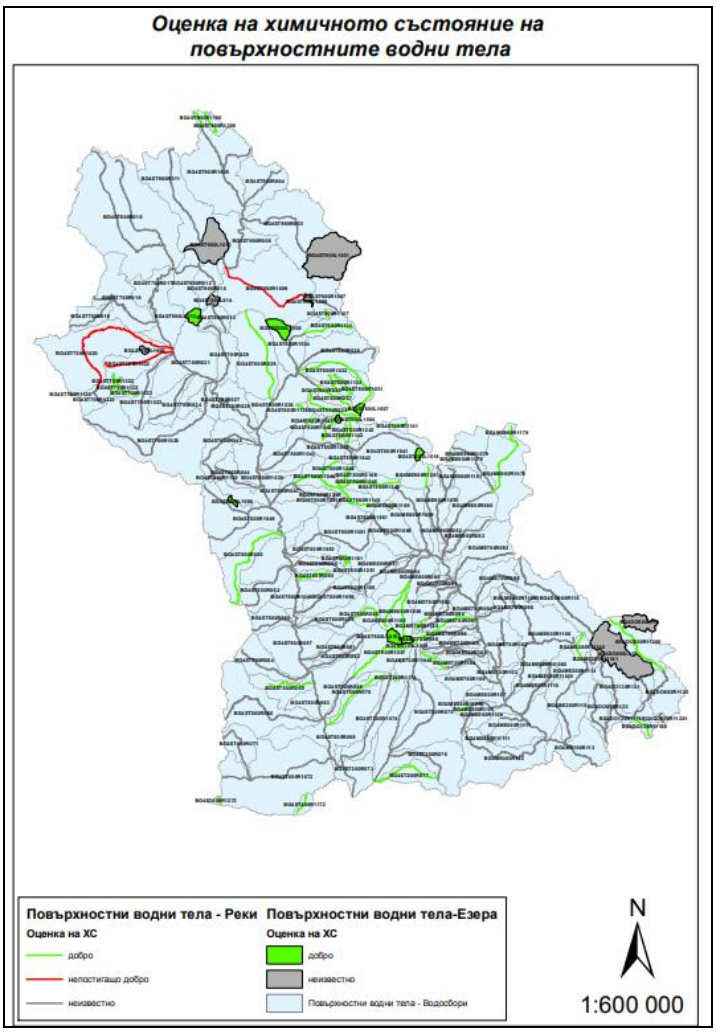
Keywords: *Ecology, Environment, Mining industry, Monitoring*

Abstract: *New data on the dynamics of changes in the ecological situation in the watershed of the Sovolianska Bistritsa River, Kyustendilsko, are presented. The research is a continuation of earlier observations and analyzes of the components of the surrounding environment in the area, providing an up-to-date picture of the state of the waters, bottom sediments and man-made residues from mining and processing industrial activities.*

Въведение

Екологичните фактори са елементите от природната среда, които пряко или косвено оказват съществено влияние върху живите организми. Следенето на тяхното състояние, оценка, контрол, промени, прогнозиране и управление са основни цели в системите за екологичен мониторинг. Компонентите на средата са в непрекъснато развитие и взаимовръзки, затова наблюденията върху тяхната динамика са изключително важни за достоверна оценка на екологичната обстановка като цяло. Реките са високодинамични системи, оказващи влияние върху състоянието на околната среда на големи разстояния дори и при малък дебит и слаб отток.

В района на гр. Кюстендил протичат десните притоци на р. Струма - р. Соволянска Бистрица и р. Банщица (Глогошка) с означения като повърхностни водни тела, съответно BG4ST700R1020 и BG4ST700R1022. Според ПУРБ (2016-2021) и ПУРБ (2022-2027) на Басейнова дирекция „Западнобеломорски район", Благоевград тези две реки са посочени като проблемни (червен код) по отношение на химичното състояние на водите с превишени СГС за тежки метали [4, 5, 6] (Фиг. 1 и Фиг. 2).



Фиг. 1. Проблемни повърхностни водни тела в „Западнобеломорски район“

Превишени средногодишни концентрации на приоритетни вещества над СКОС се наблюдават в три повърхностни водни тела, определени в лошо химично състояние, а именно:

- водно тяло с код BG4ST700R1020, р. Соволянска Бистрица от кота 1195 м. до вливане в р. Струма. Измерени са високи СГС-стойности, превишаващи СКОС за приоритетните вещества кадмий и олово. Предположението е, че тези замърсявания са в резултат на стари, вече приключили промишлени дейности в района за добив и обогатяване на цветни руди;
- водно тяло с код BG4ST900R1009, р. Арката от яз. Долна Диканя до вливане в р. Струма. Измерени са високи СГС-стойности, превишаващи СКОС за приоритетните вещества никел и олово. Най-вероятен източник на това замърсяване е нерегламентирано заустване на непречистени отпадъчни води;
- водно тяло с код BG4ST700R1022, р. Глогошка (Банщица) от кота 1160 м. до вливане в р. Струма. Измерени са високи СГС-стойности, превишаващи СКОС за приоритетните вещества никел, кадмий и олово. Най-вероятен източник на това замърсяване е нерегламентирано заустване на непречистени индустриални отпадъчни води от производства и предприятия в района на град Кюстендил;

Фиг. 2. Химично състояние на р. Соволянска Бистрица и р. Банщица

С оглед сериозността на тези проблеми, активисти от граждански организации и инициативи в гр. Кюстендил от много години се включват в провеждането на наблюдения, измервания на компонентите на екологичната среда и физическо почистване на водните артерии, коритата и бреговите ивици в района на града. Тъй като във водосбора на р. Соволянска Бистрица съществуват множество предпоставки за промишлено и битово

замърсяване, то контролът върху състоянието на екосистемата в района е изключително важна задача за всички заинтересовани институции, организации и граждански общества.

Река Соволянска Бистрица извира в най-високите части на планина Осогово и в горното си течение е типично планинска по характер. При с. Гърляно навлиза в Каменичка котловина, в средното си течение преминава през тесен пролом под Чудинска планина, а в долното си течение просича Кюстендилската котловина и се влива в река Струма след землището на село Ябълково. Водосборният и басейн е с площ от 300 км^2, а главни нейни притоци са реките Черна, Лева, Копривска, Лебница, Еганица и Долбин. По поречието на реката са разположени около 20 села, чието влияние, паралелно с това на притоците е определящо за екологичната обстановка във водосбора на реката. Другият съществен фактор е наличието на инфраструктурни обекти от вече спрени добивни и преработвателни дейности за добив на полиметални руди и лигнитни въглища в разглежданата територия [1, 2, 3, 13].

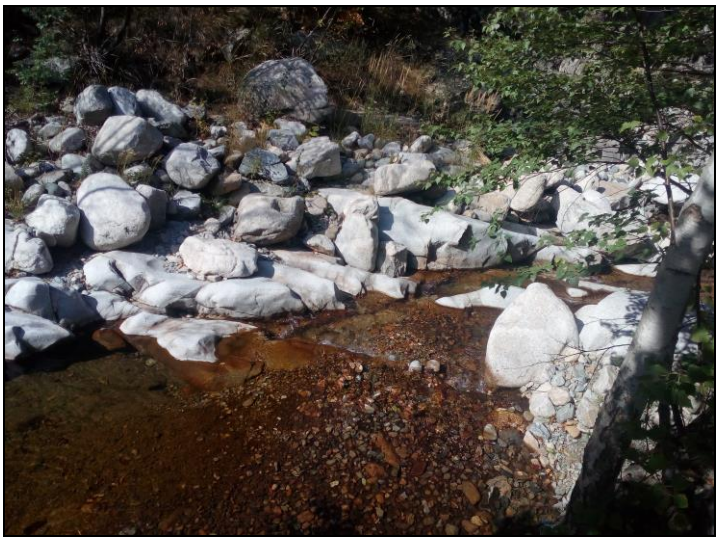
Методика и резултати от изследването

Наблюденията върху състоянието на екосистемата по поречието на р. Соволянска Бистрица се осъществява от доброволчески групи през всички сезони на годината. Водни проби (чрез визуални полуколичествени тест набори Aquamerck и Aquaquant на Merck) и анализи на дънни седименти се правят „In situ“ на различни места по протежение на реките от водосбора и техните брегове, от най-горните части до устията. Получените резултати се обощават в крайна оценка за промените в наблюдаваните компоненти на околната среда в рамките на всяка изминала година.

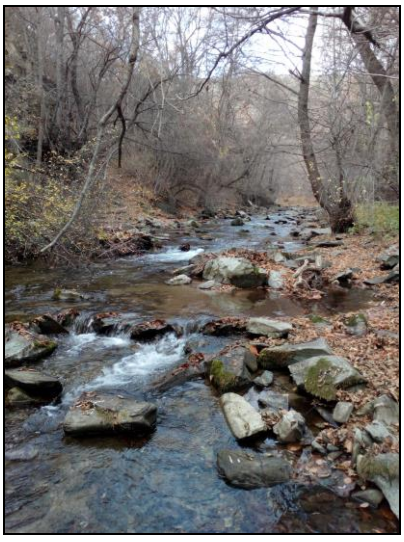
В периода от есента на 2022 г. до есента на настоящата 2023 г. е правен всесезонен мониторинг на р. Соволянска Бистрица и притоците и в районите на селата Гърляно, Гюешево, Ръсово, Преколница, Долно село, Кутугерци, Мазарачево, Соволяно, Скриняно, Николичевци и Ябълково. В резултат на изследването са получени данни, които могат да бъдат обобщени в следните заключения:

1. В горното течение на р. Соволянска Бистрица водата е бистра и буйна, но са измерени повишени съдържания на тежки метали олово (Pb), цинк (Zn), кадмий (Cd) , мед (Cu), арсен (As). В шлиховите проби е установено високо съдържание на минерални зърна от метални сулфиди - сфалерит (ZnS), галенит (PbS), халкопирит ($CuFeS_2$), пирит (FeS_2), арсенопирит (FeAsS). Коритото на реката е запълнено с огромни морени от гранит, гранодиорит, гнайс и кварцити. В някои участъци те са почти нереално бели и красиви, в други се наблюдават афльоримети от скални дайки с пъстра палитра от цветни скални ивици (Фиг. 3). Видимо не се наблюдава присъствие на речна фауна, а няма и посещения на риболовци, каквито в близкото минало са били традиционни в тази пъстървова зона.

2. При преминаването си през Каменичката котловина реката върви по коригирано и изправено корито, пресичайки градини, ниви и пасища. В този район се отглеждат зърнени култури и овощни дървета, има и много пасища, защото в местността се развъждат коне и едър рогат добитък. Това са предпоставки за торово замърсяване и повишени нива на нитрати и нитрити, каквито са отчетени при пробите. Завишени са алкалността и електропроводимостта на водата в участъка.



Фиг. 3. Горно течение на река Соволянска Бистрица



Фиг. 4. Средно течение на реката

3. В горното си течение р. Лебница (ляв приток) е малък и спокоен поток, лакътушещ в тясна долина. Във водата има повишени съдържания на същите описани в т. 1 метали и минерали, включително завишени стойности на манган и манганови съединения. По цялото протежение на тази река до устието и се наблюдава масово оцветяване в черно на речния чакъл и валуните в коритото, което доказано чрез химически анализи, е налеп от манганов диоксид (пиролузит). Наличието му се обяснява с пренос на манганови хидроокиси в колоидна форма като вернадит и псиломелан, които при дехитратация се отлагат във вид на безводен пиролузит. Колоидните хидроокиси на мангана се образуват при хидратация и окисление на първични карбонатни и силикатни руди на двувалентния манган като родохрозит, родонит и тефроит, образуващи т.н. „манганови шапки“ в окислителната рудна зона. За наличие на подобни зони във високите части на Осогово свидетелства и топонимията на редица обекти там, като Черна река, Сажденик, Черна трава, вр. Чернотрав и др.

Речна фауна и в тази река не се забелязва, липсват и ракообразни под камъните и в пясъка по дъното. В руслото и по бреговете е пълно с битови отпадъци от всякакво естество. При с. Гюешево реката протича точно под хвостохранилищата на бившия МОК и при силни ветрове фини прахови частици от изсъхналите им „плажове“ се депонират в реката. По този начин във водата се разтварят остатъци от флотационни реагенти - цианиди, сулфати, ксантати, основи, карбонати и други ПАВ. Около с. Преколница речното корито просича мергелни глинести пластове и в руслото се намират големи мергелни късове, също наситено оцветени в кафяво-черни тонове от налепи (Фиг. 5).

4. Средното течение на р. Соволянска Бистрица представлява бурно обрасъл и самозалесил се пролом между планините Чудинска и Лисец. Огромните дървета буквално са завладели речното корито, а големите скални късове от кристалинни шисти в него са ръбести и незагладени, поради малкия наклон на течението и липсата на достатъчно водна сила да ги претъркалва. Това обстоятелство позволява задържането в този участък на много от пренасяните твърди минерални частици от горното буйно течение и напластяването на някои от вредните вещества и елементи. Така проломът (който е почти обезлюден) изпълнява ролята на своеобразен буфер по пътя на реката към долните по-населени участъци от нейното протежение, като задържа част от замърсяванията в тази ненаселена зона (Фиг. 4).

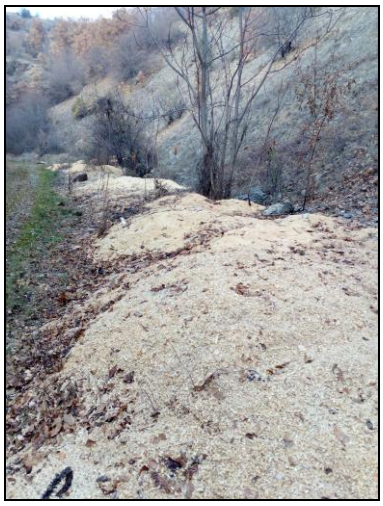
Фиг. 5. Река Лебница след с. Гюешево

Фиг. 6. Река Долбин преди с. Скриняно

5. Долното течение на реката е най-сериозно засегнато от различните видове замърсявания и негативни въздействия. Тук тя преминава през най-големите села и обширни обработваеми земеделски площи. Бреговете и коритото са пълни с битови, строителни и промишлени отпадъци (Фиг. 7 и Фиг. 8). Водата в по-тихите пасажи е видимо замърсена. Речната фауна, която по принцип е представена от рибни видове (клен, мряна, пъстърва, лешанка, кротушка), водна змия и жаби, е силно намаляла като популация. Наблюдават се нарядко дребни екземпляри риби, а змиите и жабите почти липсват през последните няколко години. Ракообразните видове също отсъстват в коритото на реката. Освен завишените

съдържания от йони на тежки метали, в този участък на реката има прекомерно съдържание на метален скрап от силно кородирали железни, оловни, медни, алуминиеви и други остатъци. Обширни територии от бреговата зона са пустеещи земи, върху които е била насипвана откривката от открития рудник за лигнитни въглища. Рекултивирането на тези площи е видимо неуспешно и сега тези земи, които навремето са били градините на селата, са абсолютно неизползваеми.

Бреговете на реката са златоносни тераси от плиоценските отложения на Кюстендилска котловина с концентрация на разсипно злато, достигаща на места до 1 g/m^3. Обезпокоително е наличието на живачна покривка по много от златинките в изследваните шлихови проби (Фиг. 9). Вероятен източник може да бъде някакъв вид промишлено замърсяване, или пък незаконен добив на злато чрез живачно обогатяване на концентрата. В други шлихови проби е установено високо съдържание на цинабарит (HgS), а за обремененост на района с този живачен минерал се знае от публикувани подробни геоложки изследвания [12, 14].



Фиг. 7 и Фиг. 8. Промишлени и битови отпадъци по бреговете на р. Соволянска Бистрица

6. Десният приток р. Долбин е малък поток, преминаващ под табана на общинското сметище край с. Радловци и вливащ се в Соволянска Бистрица преди с. Скриняно. Водата в него е толкова замърсена, че е непрозрачна и с много неприятна миризма. Чакълът в коритото на потока е оцветен в черно, вероятно също от манганови съединения. Речното легло и бреговата ивица са силно обрасли със саморасли дървесни и храстови видове и са се превърнали в сметище за битови и промишлени отпадъци от местното население и земеделците [9]. Бреговете са стръмни разкрития и склонове на златоносни тераси със средно съдържание на разсипно злато в тях 0,1–0,2 g/m^3 (Фиг. 6).

Фиг. 9. Живак върху златинки от р. Соволянска Бистрица

Фиг. 10. Заустени фекални води

7. След последните градини и къщи на селата Скриняно и Николичевци, покрай запълнения с вода котлован на бившия открит рудник за въглища, се оттича канал за битови фекални води, който се влива директно в р. Соволянска Бистрица. В мястото на заустването му се е образувало зловонно обрасло блато. Водата на този канал е типична суспензия на фекалии и мръсотии, а след нейното вливане в реката вонята се носи със стотици метри по течението и покрай брега (Фиг.10). В този участък реката преди години беше открита и чиста, пълна с риба и любители риболовци. Сега цялото речно легло е обрасло до неузнаваемост и прилича на миризлива и неприветлива джунгла. Още по-надолу по течението са опитните овощни градини на Института по овощарство, които граничат с речното корито. За жалост и зла ирония всичките натрупани дотук замъсявания на водата „мият“ оградата и градините на прочутия Кюстендилски институт и биват усвоявани в някаква степен от опитните насаждения.

8. В обща оценка за показателите от направените измервания, могат да се посочат стойности на Ph в цялата речна мрежа на р. Соволянска Бистрица, които се колебаят в рамките на 7,6–9,1. Водата почти навсякъде е с подчертано алкален характер и повишена електропроводимост. Стойностите на разтворения кислород са в нормите. Повишени са нивата на нитрати, нитрити и цианурова киселина в участъците след населените места, покрай инфраструктурните обекти на промишлеността и големите обработваеми земеделски площи.

Заключение

Проследени са промените в екологичната обстановка във водосбора на река Соволянска Бистрица чрез провеждане на едногодишен мониторинг и съпоставка на данните с предишни изследвания, направени през последните 7–8 години. В хода на изследването са установени продължаващи повсеместни проблеми с компонентите на околната среда по поречието на реката и нейните притоци.

Динамиката в промените на екологичните фактори се изразява в продължаващо общо влошаване на средата, докато при очакваните мерки за противодействие и контрол има абсолютен застой и липса на активности. Не са направени дори елементарни опити да се поставят предупредителни табели и да се вземат мерки срещу незаконното изхвърляне на отпадъци, заустването на отпадни води в реките и потоците, както и указания за правилното използване на водните ресурси. Основни замърсители са населените места по течението на реките, сметищата, последиците от преустановени добивни и преработвателни дейности и земеделието. Резултатите от мониторинга на реките в Кюстендилско, обявени от Басейнова дирекция „Западнобеломорски район“, продължават да бъдат едни от най-лошите за страната от 2016 г. до настоящата 2023 г.

Литература:

1. Сивева, Н., Скандалиев Т., Скандалиев Х., Проучване на факторите, влияещи екологичната обстановка по поречието на река Кюстендилска Бистрица., 10-та Студентска научна конференция „Екология и околна среда“, ШУ, 2022.
2. Енциклопедичен речник Кюстендил, София, 1988.
3. Захариев, Й., Каменица. Географско-етнографско изучаване., София, 1935.
4. ПУРБ (2022-2027), Басейнова дирекция „Западнобеломорски район“, Благоевград.
5. ПУРБ (2016-2021), Басейнова дирекция „Западнобеломорски район“, Благоевград.
6. Доклад за екологична оценка на регионите Стара Загора, Перник и Кюстендил (2021-2027), София, 2022
7. Neli Siveva, T. Skandaliev, H. Skandaliev, „ Study of the factors affecting the ecological situation into the river basin of the Kyustendilska Bistritsa river“ ,KONSTANTIN PRESLAVSKY UNIVERSITY OF SHUMEN, 10th STUDENT SCIENTIFIC CONFERENCE “ECOLOGY AND ENVIRONMENT” April 29, 2022.
8. Сотиров, А., Сивева Н., Скандалиев Х., Скандалиев Т., Изследване на влиянието на битовите сметища върху качествата на водата на река Бистрица., Twelfth Scientific Conference with International Participation SPACE, ECOLOGY, SAFETY 2 – 4 November 2016, Sofia, Bulgaria.
9. Сивева, Н., Скандалиев Х. и колектив, Съдържание на разсипно злато и метални находки в речните тераси на кюстендилска котловина. VII Национална студентска научна сесия по физика и инженерни технологии, Пловдив, 2018.
10. Захариев, Й., Кюстендилската котловина., София, 1963.
11. Документи от фондовете на Държавен архив в гр. Кюстендил.
12. Златарски, Г., Материяли по геологията и минералогията на България, София, 1882.
13. Анастасов, Б., Геоложки обект Осогово., София, 2019.
14. Витов, О., Сборник с научни трудове и непубликувани данни, 2021.

S E S 2 0 2 3
Nineteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
24 – 26 October 2023, Sofia, Bulgaria

МОДЕЛИ ЗА ЕКСПЕРТНИ ОЦЕНКИ НА СЛОЖНИ КОНКУРЕНТНИ СТРАТЕГИИ

Надя Маринова

Нов български университет
e-mail: nmarinova@nbu.bg

Ключови думи: *Стратегия, риск, експертни оценки, модели, цели*

Резюме: *Неопределеността се явява най-характерната причина за риск при всяка възможна конкурентна стратегия. Рискът и неопределеността на изхода от дадена стратегия се обуславят или от случайности в състоянието на средата, или от начина за противодействие на конкурентите, или от вероятностния характер за желания резултат при възможните стратегии. Както процедурата за вземане на стратегическо управленско решение, така и всеки от нейните етапи обективно следва да се оценяват в рамките на движението и обработката на необходимата информация, при отчитане и на фактора време, към това трябва да се добави, че даденият процес следва да се разглежда като единен и да се търси най-добрият компромис в множеството от компоненти.*

MODELS FOR EXPERT EVALUATIONS OF COMPLEX COMPETITIVE STRATEGIES

Nadia Marinova

New Bulgarian University
e-mail: nmarinova@nbu.bg

Keywords*: Strategy, risk, expert assessments, models, goals*

Abstract: *Uncertainty is the most characteristic cause of risk in any possible competitive strategy. The risk and uncertainty of the outcome of a given strategy are determined either by randomness in the state of the environment, or by the way of countermeasures by competitors, or by the probabilistic nature of the desired outcome in the case of possible strategies.both the procedure for making a strategic management decision and each of its stages should be objectively evaluated within the framework of the movement and processing of the necessary information, taking into account the time factor, to this it should be added that the given process should be considered as a single one and to look for the best compromise in the set of components.*

Стратегията като сложно и комплексно явление се характеризира с неопределеност и риск за бъдещите резултати и с вероятност както за неуспешни, така и за ефективни решения. От друга страна, рискът е обективен феномен, чието естество е обусловено от нееднозначността на бъдещите събития, които могат да доведат до загуби и пропуснати възможности. До тяхната реализация, рискът представлява само хипотетична опасност.

Във връзка с риска възникват въпроси пред мениджмънта, отговорите на които не са лесни, но са необходими.

Достатъчно често се налага да се вземат стратегически решения при неопределеност, т.е. в такива условия, когато процесът за изпълнението на дадена стратегия е неопределим, когато съзнателно противодействат конкуренти или когато няма ясни и точно определени цели.

Наличието на неопределимост значително усложнява избора на ефективни (оптимални) решения и може да доведе до непредсказуеми резултати. Неопределеността се явява най-характерната причина за риск при всяка възможна конкурентна стратегия. Нейното изучаване и анализиране е крайно необходимо, тъй като неопределеността отразява ситуации, при които е

невъзможно да се реализира дадена конкурентна стратегия в условия, които не могат да бъдат еднозначно определени.

Рискът и неопределеността на изхода от дадена стратегия се обуславят или от случайности в състоянието на средата, или от начина за противодействие на конкурентите, или от вероятностния характер за желания резултат при възможните стратегии.

Въпреки че бъдещето е непредсказуемо по принцип, очакваните събития могат да се предвиждат с една или друга степен на точност (често много ниска) в зависимост от естеството на обстоятелствата – вероятни или неопределими.

Неопределеността най-често се характеризира като множество от състояния на вътрешната и външната среда. При реализирането на стратегически цели винаги е необходимо да се търси най-доброто решение (в някакъв смисъл) при предварително зададено множество от допустими решения. Основната трудност се състои в обстоятелството, че последствията, свързани с вземането на едно или друго стратегическо решение зависи от неизвестни събития. Степента на неприемливост на тези последствия се измерва в условни единици на загуби, които се предполага, че може да понесе субектът, вземащ дадените решения.

Осъзнаването на риска в голяма степен е различно при стандартното му тълкуване от мениджърите в ежедневните дейности, което пречи за прилагането на разработени теоретични модели.

Същността на въпроса е в следното. Нормативната теория свързва риска предимно с колебанията, т.е. с промените в показателите (характеризирани с понятието „волатилност“). Особено характерно е отъждествяването на риска с дисперсията на даден показател. Дисперсията предполага комбиниране на разнообразието от възможните негови значения и техните вероятности за крайния показател. При това, значенията на всеки от показателите и тяхната вероятност са еднакво важни за определяне характеристиките на волатилността. В същото време, изследването в рамката на дескриптивния (описателния) подход свидетелства за това, че мениджърите в своята практическа дейност, при оценката на рискова стратегия, придават различен относителен дял на възможните значения на крайния, обобщаващия показател и неговите вероятности. В случая значенията на обобщаващия показател са много по-важни от тяхната вероятност.

Втората основна разлика между постулатите на нормативната теория и практиката е, че в тази теория отклоненията на обобщаващия показател (например рентабилността) и в едната, и в другата посока в еднаква степен се смятат за риск. На практика, в повечето случаи мениджърите оценяват нещата по друг начин. За проява на риск се смятат само отклонения в отрицателна посока (по-ниска рентабилност, по-високи разходи и т.н.). Това е свързано с факта, че в преобладаващата част от фирмите мениджърите носят съвършено различна отговорност за загубите и пропуснатите ползи.

Практически, почти при всяка стратегия, свързана с икономическата дейност, нейните начални и крайни състояния имат парична оценка и целта на нейното реализиране, естествено, е максимизиране на печалбата. Като правило, такива стратегии, особено финансовите, се намират в условия на несигурност и следователно техните резултати не могат да се прогнозират предварително и затова са рискови. При тяхното реализиране е възможна както печалба, така и загуба (или не толкова голяма печалба в сравнение с тази, която е планирана). Една стратегия е рискова, когато съществуват няколко неравностойни крайни резултата. Мениджър, вземащ решение, се интересува от стратегическия успех и се явява отговорен за него.

Видовото разнообразие на рисковете и начините за тяхното проявление е достатъчно голямо. Въпреки това, независимо от формата за оценяване на риска, обусловена от несигурната икономическа ситуация, неговото съдържание представлява отклонението на действително определените показатели от типичното, устойчивото и средното нивото или алтернативното значение на оценявания признак.

Разбираемо е, че рискът винаги предполага рискуващ субект, т.е. този, който поема риска и който е загрижен за резултатите от модела на възприетата стратегия. Самият риск възниква само при такива обстоятелства, при които възприетата стратегия може да завърши с нежелан резултат, независимо от положените възможни усилия за управление на ситуацията.

За повечето стратегии класическите модели се оказват недостатъчни за оценяване на риска, възникващ в условията на пазарна неопределеност.

Първо, в системата на пазарни отношения световната икономика е изправена пред необходимостта да се изучават много сложни обекти и процеси, за които няма и не се очаква в близко бъдеще цялостна теория, позволяваща да се използва наличният математически апарат на класическите модели и методи. Рискът и неопределеността в пазарните отношения възникват като резултат от взаимодействието на множество обекти и вътрешнофирмени и

междуотраслови процеси. Моделите и методите на взаимодействие и броят на обектите, подлежащи на анализ, често се налага да се определят по време на самия процес.

Второ, дори математическите модели и да могат да бъдат създадени и да се намерят методи, за да бъдат решени, въпреки това, в редица случаи, те остават непригодни, поради огромния брой от различни конкурентни стратегии, които трябва да бъдат отчетени.

Трето, възникват такива ситуации, когато добър на пръв поглед модел не се поддава на формализиране (за слабо структурируеми или неструктурируеми системи), в резултат на процесите, които протичат в реалната икономическа среда.

Няма консенсус, какви модели следва да бъдат използвани при избора на стратегическо решение и метод за определяне на приемлив риск. Всички съществуващи модели могат условно да се подразделят на две групи – *процесно ориентирани* и *стратегически ориентирани*.

При процесно ориентираните модели субектът, вземащ решенията, приема за основа на модела метод, който да бъде използван за управление на риска. Когато такъв метод е избран, не е необходимо никакво обосноваване на правилата, по които се развива процесът за вземане на решения.

Пазарът може да се разглежда като ярко изразен процесно ориентиран модел, при който се предполага, че взаимодействието между производители и потребители ще води до такива стратегически решения по отношение на риска, при които продукцията и действията са „прекалено рискови“ и няма да бъдат конкурентноспособни в сравнение с най-добрите алтернативи.

Стратегически ориентираните модели са по-обосновани, централизирани и публични, като в същото време имат и по-ясна логика. Например, балансът „разходи-ползи" може да се разглежда като типичен стратегически ориентиран модел. Разбира се, стратегически ориентираните модели не трябва да се противопоставят на процесоориентираните, тъй като те се вписват в обществените процеси и често определят бизнес стратегията в тези процеси.

Моделите и методите, обединени под едно общо име "формален анализ“, изхождат от общата предпоставка, че задачата за управлението на риска може да бъде решена умозрително с помощта на различни математически методи, основани на достатъчно адекватно формулирани стратегически модели. Всички тези модели, базиращи се върху икономическата теория и теорията за управлението, имат следните общи черти:

- *изискване за избор между алтернативни способи за действие (например, подходът „разходи-ползи“ е ориентиран към избор с възможно най-голямо преобладаване на ползите над разходите);*
- *сложни комплексни задачи при методологията "разделяй и владей" се разделят на по-прости компоненти, които могат да бъдат решени самостоятелно и след това да се комбинират, за да се получи пълна оценка;*
- *всички елементи при твърдо предписани правила за вземане на решения се комбинират в съответствие с официалната процедура и решенията се вземат в строго съответствие с получените резултати;*
- *всички компоненти на анализа при използване на единна методика се свеждат до единен критерий (например, към стойностните характеристики или вероятностите);*
- *безпристрастност при вземане на решенията.*

Анализът при тях се основава на чисто формални, обективни оценки, независимо от естеството на съществуващия проблем. Моделите се формират по такъв начин, че всички възможни последствия от стратегиите да бъдат ясно описани, изборът да бъде измерим и всички възможни решения да са ясно идентифицирани.

Аналитиците, разработващи моделите на формалния анализ изхождат от своя логика и строгост на подходите, свое разбиране за възможността и достъпността до първоначалната информация. Обаче, в тази връзка пред мениджърите, вземащи решения, винаги възникват въпроси, като:

Доколко всички разгледани възможности могат действително да се реализират?

Доколко този анализ е достъпен и удобен за мениджърите, вземащи решения?

Възможно ли е да се предвидят всички събития и техните последствия?

Критиците на тези модели често изразяват съмнение за възможността аналитиците адекватно да оценяват организационните препятствия при изпълнение на препоръките и се страхуват от субективни пристрастия, скрити в уж безпристрастни оценки, лежащи в основата на такива модели и методи.

Все по-често в съвременната практика топ-мениджърите привличат за управленски решения свои колеги, експерти и консултанти, с което в известна степен се застраховат. Това обикновено се отнася до решения, които, като цяло, нямат стратегически характер и особено

значение за бизнеса. В тази връзка съществуват много обективни причини за развитието на колективно управленско поведение, продиктувани от: разширяването на процеса на демократизация в управлението; появата на все по-сложни проблеми, които следва да се решават; необходимостта да се отчитат различни критерии, многообразни аспекти, при което много от тях не могат да бъдат решени с помощта на количествени методи.

В такива трудни ситуации се прилагат различни варианти, например, участието на външни специалисти, които помагат да се използват евристични методи за колективно приемани решения. Най-често се използва методът „брейнсторминг“ (мозъчна атака). Този метод е форма за стимулиране творческата активност в екипите, средство за активиране на интелектуалните способности, когато на участниците се предлага да изказват множество варианти за управленски решения, като най-успешните се използват в практическата дейност.

Особеност на евристичните модели е липсата на строги математически доказателства за оптималност на решенията. Въпреки това, използването им позволява да се съкрати времето за прегледа на всички възможни варианти за решаване на задачата по планирането и управлението и да се намалява трудоемкостта при търсене на най-добрите решения.

Евристични модели се използват при разработването на прогнози, планове и програми при различни конкурентни стратегии. Особеното при разработването на конкурентни стратегии с помощта на евристични методи се състои в обстоятелството, че с използването на подобни модели логиката на решенията, на задаваните критерии за оптималност и ограничителните условия, на приетата или избрана приоритетност при оценка на предпочитанията за получения резултат, се осъществяват с експертни методи.

Експертните методи са особено важни при решаване на сложни неформализируеми проблемни ситуации, когато непълнотата и съмнителната достоверност на информацията не позволяват да се прилагат в чист вид формални математически модели и методи за прогнозиране, планиране, контрол, анализ и управление и по този начин да се проведат някакви разчети за обосноваване на решенията. Общата насока на тези процедури изисква използването на човека като „измерителен прибор“ за получаване на количествени оценки от качествени съждения, които не се поддават на непосредствено измерване. За тази цел експертите провеждат интуитивен логичен анализ на изследваната ситуация с количествени оценки на процесите или явленията и формална обработка на резултатите от експертизата. Полученото, в резултат на обработеното общо мнение на експертите, се приема като решение на проблема.

Обработката на количествените оценки от групата експерти позволява да се получат по-достоверни данни и нова информация, която не се съдържа в явен вид в изводите на експертите и позволява да се построят ефективни модели за интуитивен логически анализ в съчетание с количествените методи за оценка и обработка.

Моделите за експертни оценки, като научен инструментариум за решаване на сложни неформализируеми конкурентни стратегии, притежават следната особеност: *първо*, научно обоснована организация за провеждане на всички етапи на експертизата, осигуряваща ефективност на всеки от етапите и *второ*, прилагането на количествени модели и методи както при организация на експертизите, така и при оценка на изводите на експертите използва формална обработка на резултатите от софтуерни продукти. Тези две особености различават моделите за експертни оценки от обикновените и отдавна известни експертизи, прилагани в различни сфери на човешката дейност.

Формалният анализ колкото и да е привлекателен, много често при неговото прилагане затрудняват технически мениджърите, вземащи решения, поради невъзможността да се разработи ясен и добре разбран модел за решения.

Някои алтернативни модели могат да дадат количествен отговор за решения, без да се прибягва до сложни математически формули, въз основа на анализа на политики, провеждани в миналото. Привържениците на такива модели утвърждават, че бизнесът постига разумен баланс между рисковете и изгодите само при продължителен период от време на базата на получен опит. Нивата на сигурност, постигани при стари рискове, осигуряват добро управление на нововъзникващи рискове. Предполагайки, че такова равновесно състояние може да бъде идентифицирано, балансът между разходите за осигуряване на сигурност и изгоди, получени в резултат от работата на фирмата в миналото, трябва да се запази и за бъдещи решения. Така е възможно да се опрости процесът за вземане на решения, въз основа на минал опит и действайки аналогично както са постъпвали предшествениците.

Този модел в англоезичната литература се нарича "метод на връзките на обувките“, които субектът, вземащ решение, „привързва“ към минали решения. Той по същество е и „метод на аналогиите“ или „метод на репродукцията“, тъй като решението се взема по аналогия с преди това вземани решения и ги възпроизвежда. Един от тези модели е и „методът на предпочитанието“, използващ като база за аналогии баланса "разходи-ползи".

При всеки от тези модели и методи миналата политика се взема като основа и за в бъдеще. Тук политиката за вземане на решения е свързана с отчитане на всички последствия от създаването на нови конкурентни стратегии и налага достатъчно строги ограничения върху нововъзникващите рискове.

В заключение следва да се отчита, че едно от концептуалните ограниченията на тези модели е свързано с обстоятелството, че за нови рискове не съществува съответен опит. Друг недостатък е свързан с факта, че те оценяват приспособимостта на конкретен избор, без да се разглеждат алтернативни решения.

Затова, както процедурата за вземане на стратегическо управленско решение, така и всеки от нейните етапи обективно следва да се оценяват в рамките на движението и обработката на необходимата информация, при отчитане и на фактора време. Това изисква структуриране на процеса за разработване на решението и формализиране на неговото проектиране. Този процес, обаче, е много сложен, тъй като следва да се отчитат много компоненти - цели, критерии, фактори, определящи избора на техните оценки и т.н. Към това трябва да се добави, че даденият процес следва да се разглежда като единен и да се търси най-добрият компромис в множеството от компоненти.

При търсенето на най-добри решения следва да се изхожда от сравняването на очаквания резултат с всички анализирани алтернативи. Обаче, това е невъзможно без да се отчита въздействието на неконтролируемите фактори върху последствията от реализацията на взетите стратегически решения, както и степента на потенциалния риск. В тази връзка колкото по-високо е йерархичното ниво на управление, толкова по-голям е времевият диапазон и толкова повече от управляемите фактори могат да се оценяват. Възможни са и обстоятелства, при които практическото реализиране на решенията да не осигурява резултатите, необходими от поставените цели. При тези обстоятелства, акцентът следва да се поставя върху възможностите, осигуряващи в най-кратки срокове реализирането на набелязаната стратегическа цел. При това, в не по-малка степен следва да се отчитат и съществуващите ограничения, присъстващи в стратегията за риска.

Литература:

1. Хаджиева, В. Еволюция на доверието в парите през вековете, годишник на департамент „Администрация и управление”, НБУ, България, 2021, ISSN 2603-297X, file:///D:/Vanya/Downloads/godishnik-departament-administratsia-i-upravlenie-2020%20(4).pdf, с. 60–70.
2. Хаджиева, В. Дизайн на глобализацията, НБУ, годишник на департамент „Администрация и управление”, НБУ, България, 2019.
3. Велев, М. Влияние на маркетинговите иновации върху стопанските резултати и конкурентоспособността на предприятията, Конкурентоспособен растеж на българската индустрия, Сборник доклади, 2008, София, 2008.
4. Маринова, Н. – „Икономическа интеграция и проблеми пред регионалното развитие“, Международна научно-практическа конференция, „ИКОНОМИЧЕСКА ИНТЕГРАЦИЯ И РЕГИОНАЛНО РАЗВИТИЕ“, 20, 21 и 22 май 2022 г., гр. Струмица.
5. Маринова, Н. Карадочева, К. Проблеми пред управлението и промотирането на бранда в кризисни ситуации, Пета юбилейна международна конференция на тема: „Ремаркетинг на реалността, 25 г. катедра ,‘‘Маркетинг‘ ,‘Икономически университет‘ гр. Варна, 17.06.2022.
6. Маринова, Н., В. Добрева. Социални решения и риск в условията на неопределеност Международна кръгла маса, Власин 15–17 Юли 2022 г.
7. Маринова, Н., В. Добрева, докторант, Модели и методи за оценяване на рискови стратегии, Сборник научни доклади от VI Международна научно-практическа конференция „Социокултурните кодове на съвременното развитие“, 2023, ISBN 978–954–383-148-7
8. Саидов, Е-Х., 2020. Ефективното управление на проектите – необходимост за всяка корпорация. В: Д. Панайотов, съст. и ред., Българската мечта – позитивната концепция. Сборник статии от научно-практическа конференция. Нов български университет, 297–306. ISBN: 978-619-233-131-3.
9. Sarov, A., E. Tzvetanova. Economic efficiency evaluation theoretical framework to biostimulants application on spring rape and oat. Proceedings of the Scientific Conference “Innovative development of agricultural business and rural areas” (29–30 September 2022, UNWE, Sofia, Bulgaria) Publishing complex – UNWE, Sofia, pp. 258–266.
10. Atanasova, T., N. Petrova. Economic policies for development of small and medium enterprises, Management and sustainable development 1/2014 (44).
11. Dimova, N. (2019). Digital Transformation and Its Influence on Retail, XI International Scientific Conference, "E-Government and E-Communications", June 13-17, 2019, Sozopol.
12. Lindner, J., G. Nedeva, G. Trendafilova, T. Stefanova, Hr. Todorova. Entrepreneurship and Management, Dionysus, S., 2007, pp. 121–122.

НАРАСТВАЩАТА ЗАПЛАХА ОТ КИБЕРАТАКИ СРЕЩУ НАУЧНИЯ СЕКТОР

Димитър Димитров[1], Евгени Андреев[2]

[1]Висше военноморско училище „Никола Вапцаров“
e-mail: dimitar.infosec@gmail.com; e.andreev@naval-acad.bg

Ключови думи: *Кибератаки, киберсигурността, научния сектор*

Резюме: *В статията се разглежда опасността от кибератаки над различни институции на научния сектор. Представени са главните видове атаки срещу институциите и какви са крайните цели на тези атаки. Направен е преглед на някои от най-сериозните кибератаки в този сектор и са представени основните проблеми и пропуски, които водят до пробивите в самите системи. Подчертава се значението на необходимостта от проактивни мерки, свързани с киберсигурността в научния сектор.*

THE GROWING THREAT OF CYBER ATTACKS AGAINST THE SCIENTIFIC SECTOR

Dimitar Dimitrov[1], Evgeni Andreev[1]

[1]Nikola Vaptsarov Naval Academy
e-mail: dimitar.infosec@gmail.com; e.andreev@naval-acad.bg

Keywords: *Cyber attacks, Cybersecurity, Scientific sector*

Abstract: *The article discusses the threat of cyber attacks on various institutions of the scientific sector. The main types of attacks on institutions are presented and what are the ultimate goals of these attacks. Some of the most serious cyber attacks in this sector are reviewed and the main problems and gaps that lead to the breaches in the systems themselves are presented. The importance of the need for proactive cyber security measures in the scientific sector is highlighted.*

Въведение

Събирането на разузнавателна информация, свързана с научния сектор на противника, е практика, която датира от хилядолетия. Този процес предлага ценна информация за нивото на напредък, постигнато от противниците или конкурентите. Научният сектор обхваща широк спектър от академични институции, лаборатории и хора, занимаващи се с научни изследвания и създаване на наука. Независимо от тяхната принадлежност, тяхната интелектуална собственост, по-специално патентите и научните изследвания, оказва значително влияние върху глобалния пейзаж на развитие на нациите. Когато една нация изостава в научните постижения и не разполага с капацитет да постигне сравними резултати, тя прибягва до неконвенционални методи, включително индустриален шпионаж и атаки от тип "вътрешен човек". Макар че тези стратегии дават резултати, като са известни не малко случая на успешна кражба на патенти и научни разработки, те са свързани със значителни рискове. Агентите, участващи в тези операции, са постоянно изложени на опасност и най-малката грешка може да доведе до тяхното разкриване. Въпреки това ситуацията се промени с дигитализирането на научния сектор. Дигитализацията на научния сектор безспорно носи множество ползи, като например по-добра свързаност, по-лесен достъп до информация и подобрен обмен на идеи. От друга страна, тя също така благоприятства кражбата на научни документи и компрометирането на цели лаборатории и институции. Свързването на различните компоненти на научната общност в мрежа е лесен процес, но защитата на тези компоненти изисква време и специфични

компетенции. Дори когато мерките за сигурност са проектирани с мисъл за защита, неправилната конфигурация и пропускането на критични стъпки за сигурност могат да направят тези мрежи уязвими. Пробивите в сигурността често се случват, когато злонамерените хакери успешно се възползват от тези уязвимости.

Атаките, насочени към академичния сектор, могат да бъдат категоризирани като разузнавателни атаки, които оценяват противника, нападателни атаки, насочени към кражба на данни, и разрушителни атаки. В съвременните военни доктрини кибершпионажът играе ключова роля по време на фазата на разузнаване, която често се изпълнява без официална военна офанзива. Освен от грешките в конфигурацията често се възползват и от липсата на киберхигиена в изследователските институти и академиите. Тенденцията за нападателни атаки за извличане на данни се засилва, особено в секторите на здравеопазването и военните иновации. Тази тенденция е обусловена от факта, че някои държави нямат капацитет да развият необходимата наука и им е по-лесно да я откраднат. Целите на тези атаки се простират отвъд правата на интелектуална собственост и патентите, те обхващат и събраните данни, като например ДНК информацията, съхранявана от компании като 23andMe [1]. В крайния случай офанзивните атаки с разрушителни намерения целят да направят дадена система неизползваема. Такива атаки могат да включват криптиране на данни и изнудване за откуп или унищожаване на конкретната система. Методите, използвани при тези атаки, често са сложни и трудни за изпълнение, като изискват значителни ресурси. Само няколко хакерски синдиката разполагат със средствата за осъществяване на такива атаки срещу научни институции. Останалите участници в заплахата, които разполагат с тази способност, са държавно спонсорирани хакерски групи (APTs). За разлика от типичните рансъмуер атаки, които засягат конкретен сегмент от системата, спонсорираните от държавата хакерски групи проникват в цялата система и я правят неработоспособна. Техните операции могат да продължат месеци преди началото на офанзивната фаза, като в крайна сметка водят до това, че системата е или криптирана, или невъзстановима.

Грешки в процеса на конфигуриране. JCA на CISA и NSA в контекста на MITRE ATT&CK.

В координирани усилия за намаляване на рисковете, свързани с кибератаки, експлоатиращи уязвимостите на неправилно конфигурирани системи, агенции от Алианса "Пет очи" си сътрудничиха при публикуването на нова Съвместна препоръка за киберсигурност (Joint Cybersecurity Advisory) [2]. Специалисти в сферата на redteaming и blueteaming операциите, част от Агенцията за национална сигурност (NSA) и Агенция за киберсигурност и сигурност на инфраструктурата (CISA), анализираха и представиха десетте най-често използвани слабости и пропуски, открити в процесите на конфигуриране на различни системи. Обърнато е внимание върху проблемите на:

1. Конфигурирането по подразбиране на софтуер и приложения

Много от наличните програми и приложения са от типа off-the-shelf (COTS). Те се предлагат с предварително конфигурирани пароли, зададени от производителя, предимно с цел тестване преди внедряване. Критичният проблем възниква, когато тези пароли по подразбиране и свързаните с тях акаунти останат непроменени след интегрирането им в системата. Този пропуск представлява значителен риск за сигурността, който може да доведе до редица заплахи, описани в рамката MITRE ATT&CK [3, 4], включително T1078.001, T1589.001, T1098, T1133, T1072 и T1078.002. Основната опасност тук е, че запазването на пароли по подразбиране и административни данни в системата създава уязвимости, които отварят вратата за неоторизиран достъп. Злонамерените хакери могат да се възползват от тези пропуски в сигурността, за да влязат в различни сегменти на вътрешната мрежа, което в крайна сметка им позволява да извършват различни действия и да установят постоянно присъствие.

Освен проблема с паролите и администраторските акаунти, друг често срещан проблем се крие в разрешенията за услуги и настройките на конфигурацията по подразбиране в системите, системните логове и приложенията. Някои услуги могат да имат слаб контрол на достъпа или да се предлагат с несигурни конфигурации по подразбиране. Дори тези услуги да не са първоначално разрешени, ако потребителите или администраторите решат да ги активират, те стават потенциални цели за експлоатация. В рамките на MITRE ATT&CK тези проблеми са категоризирани в T1649, T1557, T1558.001, T1557.001 и T1110.002. Основната опасност е, че незащитените настройки и услуги по подразбиране могат да бъдат използвани от злонамерени участници, за да компрометират сигурността на мрежата, да получат неоторизиран достъп и потенциално да увеличат привилегиите си в рамките на организацията.

2. Неправилно разпределение на привилегиите на потребителите и администраторите

Администраторите на системата или мрежата често задават множество роли на отделни потребителски акаунти, като им предоставят достъп до различни устройства и услуги в мрежата на организацията. Въпреки че този подход цели да улесни управлението на потребителите, той несъзнателно създава значителен риск за сигурността. В такива ситуации, ако злонамерен участник в заплахата компрометира един от тези многофункционални акаунти, той може да действа като канал за бързо странично движение в цялата мрежа. Така същевременно може и да избегне методите за откриване на странично движение и повишаване на привилегиите, използвани при фазата на добиване на контрол, част от Cyber kill chain [5]. Типични грешни конфигурации при разпределение на привилегиите на потребителите и администраторите са Прекомерни привилегии на акаунта, Повишени права на акаунта за услуги и Неоснователно използване на повишени акаунти.

Привилегиите на акаунта контролират достъпа на потребителя до ресурсите на хоста или приложението, като осигуряват ограничен достъп до чувствителни данни и налагат сигурност с най-малки привилегии. Когато са прекалено разрешаващи, те водят до проблеми със сигурността, като увеличават излагането на риск и разширяват повърхността на атаките. С разрастването на организациите промените в управлението на акаунтите, персонала и изискванията за достъп често водят до прекомерен достъп. Анализирайки групите в Active Directory (T1078), злонамерените участници идентифицират акаунти с ненужни привилегии, като потенциално предоставят неоторизиран достъп в рамките на домейна. Приложенията използват служебни акаунти с повишени привилегии и компрометирането им предоставя на нападателите еквивалентен достъп. Това може да доведе до неоторизиран контрол върху критични системи, което прави служебните акаунти привлекателни цели. Те могат да се използват за kerberoasting [6] (T1558.003). ИТ персоналът често използва повишени администраторски акаунти за рутинни задачи, което увеличава тяхната уязвимост. Злонамерените участници търсят валидни идентификационни данни за домейна след достъп до мрежата, като ги използват за проучване на домейна и се насочват към повишените акаунти, улеснявайки ескалацията на домейна и разширявайки повърхността на атаката.

3. Недостатъчно наблюдение на вътрешната мрежа

Неоптимална практика за конфигуриране на хост и мрежови сензори за събиране на трафик и регистриране на крайни хостове е сериозен проблем пред много организации. Тези неадекватно настроени конфигурации създават притеснителен пропуск в сигурността, като потенциално позволяват компрометирането от страна на злонамерения хакер да остане незабелязано. TA008 по рамката MITRE ATT&CK.

4. Липса на мрежова сегментация

Сегментирането на мрежата е основна практика в областта на сигурността, насочена към създаване на отделни дялове за сигурност в мрежовата инфраструктура на организацията. Когато мрежовото сегментиране не е ефективно приложено, то води до липса на добре дефинирани граници на сигурността, които да разграничават потребителските, производствените и критичните системни мрежи. На практика този недостатък на мрежовото сегментиране предоставя на неоторизирани лица, които успешно са компрометирали мрежов ресурс, свободата да се придвижват сравнително лесно през множество системи, срещайки минимални препятствия по пътя си. Липсата на правилно сегментиране на мрежата повишава уязвимостта на организацията, създавайки среда, в която потенциалните атаки с цел получаване на откуп и тактиките след експлоатиране могат да бъдат осъществени с по-голям успех. Без ясно разграничаване на зоните за сигурност злонамерените участници могат да се движат по-свободно в мрежата, което увеличава вероятността от сериозни пробиви и компрометиране на данни. T1199 по рамката MITRE ATT&CK.

5. Слабо управление на актуализациите и KEV

Системните сегменти, услугите и приложенията често се обновяват и получават пачове с цел отстраняване на уязвимости в сигурността. Въпреки това често срещана практика е организациите да отменят тези актуализации, като по този начин неволно създават възможности за потенциалните нападатели да открият отворени зони за достъп и да се възползват от критични слабости. Пренебрегването на прилагането на най-новите пачове излага системите на потенциална хакерска атака чрез публично достъпни експлойти. Такива

уязвимости често са лесно откриваеми чрез методи и инструменти за сканиране на уязвимости и изследване на отворени източници. Допускането на значителни уязвимости в производствените системи, без да се въведат необходимите пачове, значително разширява повърхността на атака, като по този начин повишава риска от успешна кибератака. Освен това възниква и друг проблем, когато организациите продължават да използват софтуер или хардуер, който вече не се поддържа от производителя. В такива случаи липсата на актуални актуализации на сигурността и пачове прави тези системи силно уязвими за експлоатация. Злонамерени участници могат лесно да се възползват от уязвимостите в тези неподдържани системи, за да получат неоторизиран достъп, да компрометират чувствителни данни и да нарушат оперативните дейности. T1595.002, T1592, T1190 и T1220 по рамката MITRE ATT&CK.

6. Избягване на контрола на достъпа до системата

Неправилно конфигурираният контрол на достъпа до системата може да изложи на опасност уязвимости, които злонамерени хакери могат да използват, използвайки техники като pass-the-hash[7] и kerberoasting. Тези методи позволяват на злонамерения хакер да се представи за определен потребител, като използва събраните негови хешове. Възможно е да се увеличат привилегиите, без да се задейства откриването им от системите за киберсигурност. T1550.002 по рамката MITRE ATT&CK.

7. Слаби или неправилно конфигурирани методи за многофакторно удостоверяване

Неправилните конфигурации на изискванията за многофакторно удостоверяване (MFA) могат да доведат до ситуации, при които хешовете на паролите за потребителски акаунти остават статични с течение на времето. Дори ако действителната парола вече не се използва постоянният хеш на паролата за акаунта може по невнимание да послужи като алтернативно удостоверение за неоторизирано удостоверяване. Дори ако организацията е приела MFA за повишаване на сигурността, остатъчният хеш на паролата може да се превърне в потенциално слабо място, ако не се управлява или актуализира правилно. TA008 по рамката MITRE ATT&CK.

8. Неефективни ACL на мрежови ресурси и услуги

Споделените данни и архиви са силно уязвими към киберзаплахи. Злонамерените хакери често се насочват към тези ресурси. Един от често срещаните начини за това е, когато мрежовите администратори е конфигурирал неправилно списъците за контрол на достъпа (ACL). Това може да позволи на неоторизирани потребители да получат достъп до чувствителни или администраторски данни, съхранявани в споделените дискове. При експлоатиране на слабо конфигурирани ACL злонамерените хакери получават достъп до споделени дискове и папки. От там те могат да събират и изнасят чувствителни данни. Тези данни могат да бъдат използвани за различни злонамерени цели, включително за изнудване на организацията или за събиране на разузнавателна информация за планиране на по-нататъшни мрежови проникванията. Екипите за оценка на сигурността често откриват чувствителна информация в тези споделени мрежови файлове, която може да подпомогне последващи злонамерени действия. T1135, T1083,TA0010,T1018,T1046 и T1552 по рамката MITRE ATT&CK.

9. Лоша киберхигиена

Пренебрегването на подходящи практики за киберсигурност може да доведе до тежки последици за организацията. Неспазването на тези основни правила може да доведе до уязвимости като лесно разбиване на пароли, ставане на жертва на фишинг и атаки със социален инженеринг, както и загуба или неправилно разполагане на важни данни. T1110.002, T1555 и T1552.001 по рамката MITRE ATT&CK.

10. Неограничено изпълнение на код

Ако на програмите им е дадена неограничени права за изпълнение, злонамерените хакери могат да използват това за да изпълнят злонамерен код в системата. Както екипите за оценка, така и злонамерените участници често използват неограничено изпълнение на код, включващ изпълними файлове, библиотеки за динамични връзки (DLL), HTML приложения и макроси. е използват тези методи, за да установят първоначален достъп, да поддържат устойчивост и да улеснят страничното движение в мрежата. Освен това тези участници могат да зареждат уязвими драйвери и след това да използват известните уязвимости на тези драйвери, за да изпълняват код в ядрото, придобивайки най-високо ниво на системни

привилегии и ефективно компрометирайки устройството. Това подчертава изключителната важност на надеждните практики за сигурност и внимателното наблюдение за защита от неограничено изпълнение на код. T1059.005, T1059, T1027.010 и T1068 по рамката MITRE ATT&CK.

Космическия сектор и хакерите

Ролята на космическия сектор в сферата на научните изследвания, промишлените предприятия и военните операции се развива с всяка изминала година по безпрецедентен начин и придобива все по-голямо значение. Този сектор се е превърнал в централна точка за различни заинтересовани страни, включително правителствени организации и частни корпорации. Изключение не правят и злонамерени държавно спонсорирани APT групи.

През август 2023 г. Националният център за контраразузнаване и сигурност (NCSC), който функционира към Службата на директора на националното разузнаване на САЩ, издаде бюлетин [8, 9], в който се посочват данни за дейностите на чуждестранни агенти и злонамерени хакери, насочени към космическия сектор на САЩ. Тези дейности са многоаспектни и пораждат многобройни опасения в областта на сигурността и разузнаването. Основната цел на тези атаки е събирането на разузнавателна информация. Чуждестранните организации активно участват в събирането на високочувствителна информация, свързана с космическия сектор на САЩ и възможностите му. Тази информация включва технически спецификации, възможности на спътниците и уязвимости. Целта е да се изгради подробна и изчерпателна карта на възможностите и потенциалните слабости на американския космически сектор, според NCSC. Тези злонамерени участници съсредоточават усилията си както върху частни, така и върху военни спътници. Като се насочват към широк кръг спътници, те се стремят да идентифицират уязвимостите в различни системи, като по този начин придобиват представа как да използват тези слабости за бъдещи атаки. В допълнение към събирането на разузнавателна информация злонамерените участници организират и разрушителни атаки. Тези атаки имат за цел да нанесат вреди и да нарушат функционирането на спътниковите комуникации и космическите способности на САЩ. Те могат да доведат до влошаване на състоянието на критичната инфраструктура, като потенциално забавят възможностите за реагиране по време на бедствия или други извънредни ситуации. Нападателите използват сателитните мрежи като допълнително стъпало за по-напреднала кибервойна. Чрез проникването в тези мрежи те могат да получат достъп до други цели с висока стойност и да извършват по-сложни кибератаки, което представлява значителна заплаха за сигурността както на националните, така и на международните интереси. Освен това атаките срещу космическия сектор надхвърлят проблемите на сигурността. Ресурсите, предоставяни от спътниковите услуги, са дълбоко обвързани с различни сектори на икономиката. Много системи, приложения и услуги разчитат на точни и непрекъснати спътникови данни, поради което тези атаки нарушават не само националната сигурност, но и по-широката икономическа екосистема.

Освен уязвимостите в сателитния сектор, наземните обсерватории все по-често стават обект на кибератаки, което представлява сериозно предизвикателство за астрономията. Само за десет месеца няколко от най-модерните и ценни обсерватории, използвани от астрономите, станаха жертва на хакерски атаки, които доведоха до сериозни смущения в работата им и повдигнаха въпроси относно естеството и обхвата на тези атаки. През ноември 2022 година обсерваторията ALMA в Чили беше подложена на кибератака [10, 11], което доведе до значително намаляване на научните ѝ дейности. Въпреки че ALMA направи изявление, в което твърди, че заплахата е била овладяна и не са били компрометирани чувствителни данни, някои съществени въпроси остават. В изявлението липсваше подробна информация за стандартите и процедурите, които трябва да се следват в случай на кибератака, което оставя открита възможността чувствителни данни да са изтекли, без да бъдат открити. Тази ситуация напомня на случаите, когато компании като LastPass първоначално омаловажаваха нарушенията, само за да могат хакерите по-късно да публикуват откраднатите данни. Друг пример за наземен компромат се случва през август 2023 година, когато Националната лаборатория за оптични и инфрачервени астрономически изследвания (NOIRLab) става жертва на хакерска атака [12]. Тази атака имаше сериозни последици, като доведе до спиране на работата на телескопите Gemini North в Хавай и Gemini South в Чили. Освен това бяха засегнати и по-малките телескопи, разположени в Cerro Tololo в Чили. За разлика от инцидента с ALMA, операцията по възстановяването на тези обсерватории е продължителен процес, продължаващ няколко седмици, през които телескопите не работят, което води до значителни смущения в научните наблюдения и изследвания.

Тези кибератаки срещу наземни обсерватории не само засягат областта на астрономията, но и повдигат по-широки въпроси относно сигурността на критичната научна

инфраструктура. Те подчертават необходимостта от строги мерки за киберсигурност, прозрачност при докладването на киберинциденти и международно сътрудничество, за да се защити работа, извършвана в тези обсерватории, и да се запази целостта на научните данни и изследвания.

Заключение

В постоянно променящия се пейзаж на киберпространството научният сектор и свързаните с него области се намират в нова реалност, изпълнена с непрестанни предизвикателства. Утопичната концепция за сигурност в цифровата епоха е под постоянна заплаха. Този сектор, чието значение нараства с всяка изминала година, се утвърди като ключов за разнообразни заинтересовани страни, включително правителствени организации и частни корпорации. Но и дори за злонамерените APT групи. За да се защити този ключов домейн, е от съществено значение да се разберат основните проблеми, с които той се сблъсква. Сред най-критичните предизвикателства NSA и CISA са установили неправилно конфигурирани и управлявани системи. Като разгледаме реални случаи на хакерски атаки, които се възползват от тези неправилни конфигурации, можем да проправим пътя за по-сигурна и устойчива мрежа, съобразена с научните занимания. Това налага проактивна позиция, при която се предприемат мерки за укрепване на нашата защита.

В този динамичен кибернетичен пейзаж осигуряването на сигурността на научния сектор не е само въпрос на защита на интелектуалната собственост и данните; става въпрос за запазване на самата същност на прогреса и иновациите в цифровата ера. Тъй като секторът продължава да се развива, значението на укрепването на неговите мерки за киберсигурност не може да бъде надценено. Това е колективна отговорност, която се разпростира върху държавните структури, частните предприятия и общността за киберсигурност като цяло.

Литература:

1. Toulas, B., 23andMe hit with lawsuits after hacker leaks stolen genetics data,https://www.bleepingcomputer.com/news/security/23andme-hit-with-lawsuits-after-hacker-leaks-stolen-genetics-data/
2. Joint Cybersecurity advisory, CISA, NSA., NSA and CISA Red and Blue Teams Share Top Ten Cybersecurity Misconfigurations, https://media.defense.gov/2023/Oct/05/2003314578/-1/-1/0/JOINT_CSA_TOP_TEN_MISCONFIGURATIONS_TLP-CLEAR.PDF
3. Trellix, What Is the MITRE ATT&CK Framework?, https://www.trellix.com/security-awareness/cybersecurity/what-is-mitre-attack-framework/
4. MITRE ATT&CK, MITRE ATT&CK, https://attack.mitre.org/
5. SantinelOne, What Is The Cyber Kill Chain? Steps, Examples, & How To Use It, https://www.sentinelone.com/cybersecurity-101/cyber-kill-chain/
6. SantinelOne, What Is Kerberoasting Attack?, https://www.sentinelone.com/cybersecurity-101/what-is-kerberoasting-attack/
7. Netwrix, Pass the Hash Attack, https://www.netwrix.com/pass_the_hash_attack_explained.html
8. Director of national intelligence, Safeguarding the US space industry, https://www.dni.gov/files/NCSC/documents/SafeguardingOurFuture/FINAL%20FINAL%20Safeguarding%20the%20US%20Space%20Industry%20-%20Digital.pdf
9. Greig, J., FBI, Air Force warn of cyberattacks on space industry by ‘foreign intelligence operations’, https://therecord.media/fbi-warns-of-space-cyberattacks
10. ALMA, ALMA Services Affected by Cyberattack, https://almascience.nrao.edu/news/alma-services-affected-by-cyberattack
11. ESO, ALMA Update on the Recovery from the Cyber-attack, https://www.eso.org/sci/facilities/alma/news/announcements/alma-ann1507121111.html
12. NOIRLab, Cybersecurity incident at NSF’s NOIRLab, https://noirlab.edu/public/announcements/ann23022/

Session 5

Space Material Science and Nanotechnology

Chairman: Prof. Dimitar Teodossiev
Secretary: Daniela Shuleva

THE EFFECTS OF COSMIC RADIATION ON MATERIALS AND CHANGES TO THEIR ELECTRONIC STRUCTURE

Margarita Dimitrova

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: m.dimitrova@space.bas.bg, maggy.larsen@gmail.com

Keywords: *materials science, crystalline solids, electronic structure, cosmic radiation, density functional theory, software, calculations*

Abstract: *The study of electronic structure and the impact of radiation on materials has raised significant attention due to its implications across various scientific disciplines and industrial applications. Exposing materials to radiation affects their structure, making this research essential for space exploration, satellite technology, and the development of radiation-resistant materials and electronics. It is critical for ensuring the safety and reliability of missions. Proficiency in software tools and models has become indispensable for predicting these changes and creating computational models to assess the potential effects of high-dose radiation.*

ВЛИЯНИЕ НА КОСМИЧЕСКАТА РАДИАЦИЯ ВЪРХУ МАТЕРИАЛИТЕ И КАК ТЯ ПРОМЕНЯ ТЯХНАТА ЕЛЕКТРОННА СТРУКТУРА

Маргарита Димитрова

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: m.dimitrova@space.bas.bg, maggy.larsen@gmail.com

Ключови думи: *материалознание, кристални твърди вещества, космическа радиация, електронна структура, теория на плътност на разпределението, компютърни програми, софтуер, изчисления*

Резюме: *Изучаването на електронната структура и влиянието на радиацията върху материалите е от особено значение в редица научни дисциплини и индустриални приложения. Излагането на материали на радиация влияе на тяхната структура и изучаването му е фундаментално за космическото изследване, технологията на сателитите и разработката на материали и електроника, устойчиви на радиация. От съществено значение е и за гарантиране на безопасността и надеждността на мисиите. Владеенето на софтуерни инструменти и модели е необходимост за предвиждане на тези промени и създаване на компютърни модели за оценка на потенциалните влияния от високи дози радиация.*

Introduction

Space presents extreme environmental conditions, including vacuum, extreme temperatures, microgravity, and radiation. Materials used in space missions [1] must withstand these conditions to ensure the reliability and success of spacecraft and equipment and must maintain their properties and functionality over extended periods to ensure success during long and demanding missions.

- Materials must shield astronauts, spacecraft, and sensitive instruments from harmful radiation.
- For future space habitats on the Moon, Mars, or in orbit, materials are essential for construction, radiation shielding, and maintaining a habitable environment.
- Materials used in spacecraft and spacesuits must be biocompatible and not emit harmful substances that could affect astronaut health.
- Materials play a role in life support systems, food packaging, and habitat design.
- Analyzing materials for recyclability and reusability is essential for reducing waste and conserving resources during long-duration missions.

Understanding the Arrangement of Electrons

Understanding the electronic structure of atoms is fundamental to material science. It provides insights into how elements interact to form compounds, why certain substances conduct electricity, and the basis for the diversity of chemical reactions observed in the natural world.

The electronic structure of an atom refers to how its electrons are distributed in energy levels, orbitals, and shells. This arrangement is fundamental to understanding an element's chemical properties, bonding behavior, and reactivity. Electrons in an atom occupy specific energy levels (electron shells - designated by the letters K, L, M, etc.).

The electronic structure of solids refers to how electrons are distributed among the atoms within a solid material. When atoms form a solid, e.g. a crystal, atomic energy levels are transformed into energy zones/bands. Understanding the electronic structure is essential for predicting the electrical, thermal, and optical properties of materials. It plays a critical role in the design and development of electronic devices, semiconductors, and advanced materials for various applications, including electronics, photonics, and energy technologies. When many atoms come together to form a solid, their electron orbitals overlap, creating a new set of energy levels in energy bands.

In a solid material, such as a crystal lattice, the electronic structure is described using energy bands. They represent ranges of energy levels that electrons can occupy. The valence band is the lower-energy band in the electronic structure of a solid. Electrons in the valence band are bound to their respective atoms and are not free to move throughout the solid. Above the valence band is the conduction band, which contains higher-energy levels. Electrons in the conduction band have enough energy to move freely within the solid and contribute to electrical conductivity. The band gap, also known as the energy gap, is the energy range that separates the valence band from the conduction band.

In insulators and semiconductors, there is a significant band gap. Electrons in the valence band cannot easily transition to the conduction band because it would require them to acquire a substantial amount of energy. This results in limited electrical conductivity in insulators and variable conductivity in semiconductors. In metals, there is no band gap, which allows electrons to move freely in the crystal lattice, leading to high electrical conductivity.

Density of states (DOS) is a concept used in condensed matter physics to describe the distribution of energy states or energy levels within a material or a system which is essential for understanding the behavior of electrons in the material and its electronic properties. It provides information about the number of available quantum states within a given range of energy values. DOS doesn’t tell us how many of these states are actually occupied by electrons however. Taking this into account it’s not difficult to understand that the more the energy increases, the more space we would need for the electrons in the conduction band and the more the density of states increases.

The Fermi level represents the highest energy level in the conduction band that is occupied by electrons at absolute zero temperature. The position of the Fermi level relative to the energy bands determines whether a material is a conductor, semiconductor, or insulator and affects its electrical and thermal properties.

In semiconductor materials, the electronic properties can be tailored by intentionally introducing impurities through a process called doping. Doping can increase or decrease the number of charge carriers (electrons or holes) and modify the conductivity.

Cosmic Radiation

Radiation encompasses a broad spectrum of energy in the form of particles or waves. This spectrum includes electromagnetic radiation (e.g., gamma rays, X-rays, ultraviolet, visible light, and radio waves) and particle radiation (e.g., alpha and beta particles, neutrons). Different types of radiation carry varying levels of energy, and this energy can interact with the atoms and molecules within materials which can lead to ionization and excitation of atoms, causing electronic structure changes in materials. This can have significant effects on spacecraft, materials, and the health of astronauts. They can penetrate spacecraft walls, create defects, degrade mechanical properties, and introduce electronic traps.

Energy Transfer and Ionization

Ionizing radiation, such as gamma rays and X-rays, possesses sufficient energy to remove tightly bound electrons from atoms, creating charged particles (ions) and free electrons. This process is called ionization.

The creation of free electrons and ions within a material can significantly impact its energy states. These free charge carriers can affect the material's electrical conductivity, electronic band structure, and energy levels. In semiconductors and insulators, for instance, the introduction of free charge carriers can alter their electronic properties, making them more conductive.

Defect Formation

Radiation can also lead to the formation of defects within the crystal lattice of a material. These defects include vacancies (empty atomic sites), interstitials (extra atoms positioned between regular lattice sites), and dislocations (structural defects). These defects introduce energy states within the material's bandgap, affecting its electronic structure and energy levels and alters the the material's electrical conductivity and optical properties.

Band Structure Modifications

Intense radiation can induce changes in the electronic band structure. Radiation-induced modifications to the band structure can result in shifts in energy levels, alterations to the density of states (DOS), and even the creation of new energy bands or states within the bandgap.

In certain materials that are typically insulators, ionizing radiation can induce electrical conductivity by creating electron-hole pairs. This phenomenon can significantly alter the electronic properties of insulating materials, leading to unexpected electrical behavior.

Interestingly, some of the effects of radiation on materials can be reversed or partially recovered through a process known as annealing. When a material is exposed to heat or other forms of energy, radiation-induced defects may migrate or annihilate, potentially restoring some of the material's original electronic properties. Annealing is a crucial aspect of materials science when considering the long-term effects of radiation exposure.

Calculating the impact of radiation on a material

Radiation Type and Energy: Identify the type of radiation to which the material will be exposed. Determine the energy levels or wavelengths associated with the radiation.

Radiation Interaction with Matter: Understand how radiation interacts with matter. Ionizing radiation can ionize atoms or molecules. Non-ionizing radiation can excite electrons to higher energy levels.

Dose Calculation: Calculate the radiation dose, which quantifies the amount of energy deposited per unit mass of the material. The dose depends on factors like the radiation intensity and exposure time.

Radiation Effects on Electronic Properties: Calculate changes in electronic band structures, energy levels, and charge carrier concentrations due to radiation exposure.

Structural Changes: Employ computational methods (e.g., molecular dynamics simulations) to model and predict structural changes.

Radiation-Induced Defects: Calculate defect concentrations and their impact on mechanical and electrical properties.

Materials Modeling: Utilize computational modeling techniques, such as density functional theory (DFT), to simulate radiation effects on the electronic structure, band gap, and charge transport properties. Use Monte Carlo simulations or molecular dynamics to study radiation interactions at the atomic and molecular level.

Experimental Validation:

Perform experimental measurements and tests to validate computational predictions and assess the material's response to radiation under controlled conditions.

Long-Term Effects:

Evaluate the long-term effects of radiation exposure, as certain materials may experience cumulative damage over time.

Calculating the impact of radiation on a material is a complex task that often requires a combination of theoretical modeling, experimental characterization, and a deep understanding of the material's properties. The goal is to predict how radiation exposure will affect the material's performance and durability in various applications, including those in aerospace, nuclear power, healthcare, and electronics. Below in Fig. 1 and Fig. 2 you see an overview of different computational methods and their usage in publications.

Several tools can help us calculate the electronic properties using DFT. These are DFT software packages like Quantum ESPRESSO, VASP, or CASTEP, Vesta. For those who have more experience with programming languages like python could also utilize github projects or other free tools and APIs such as the onse from materialsproject.org or abinit.org.

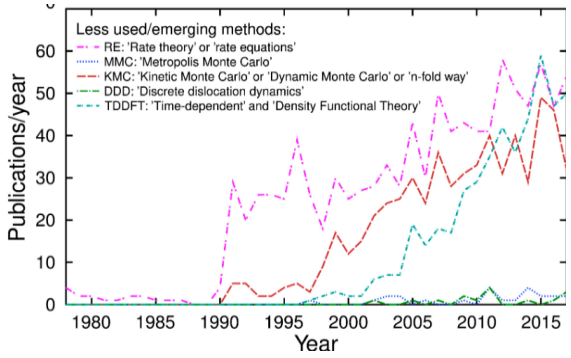


Fig. 1. Less used computational methods [2]

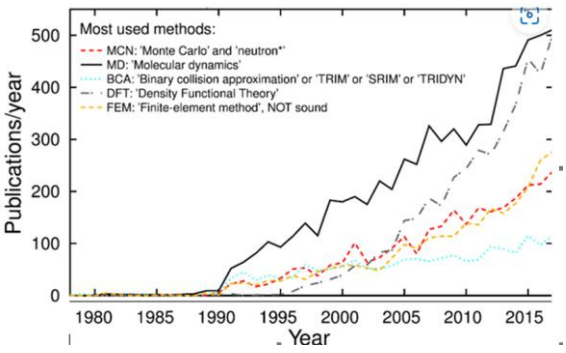


Fig. 2. Most used computational methods [2]

Computing DFT using Quantum Espresso (QE) [3, 4]

We will take a look at how we can use QE in order to do some basic calculations. Take into account that for more complex calculations you would need a supercomputer. Supercomputer System Avitohol exists and can be utilized at the IICT-BAS Institute of Bulgarian National Institute of Sciences.

For the purpose of the illustrations and experiments we will be using an Ubuntu virtual machine installed on a windows machine. As a material example we will use GaAs (Gallium arsenide) [5].
GaAs is a semiconductor compound used in some diodes, field-effect transistors (FETs), and integrated circuits (ICs).

1. **Preparing the environment.**

For the computational part we will make use of QE which runs on a Linux system.

Check on the Ubuntu website for instructions on how to install Ubuntu on a Windows Subsystem for Linux (WSL) on your local computer. You will have to enable a few windows features or install directly from powershell.

We will probably have to pre-install some packages such as gcc and fortran languages interpreter, ghostscript for .ps file conversions and python3-cif2cell for package input file conversions [6–9].

Once the Linux system is up and running we will proceed with the installation of the QE package via running the following command:

- sudo apt install quantum-espresso

2. **Prepare input file for calculations based on a crystallographic file.**

Download a so-called .cif file. A **Crystallographic Information File** (CIF) file, is a standard text-based file containing a common format to represent and exchange information about the crystal structure of materials, including their atomic coordinates and symmetry operations.

CIF files can be found on either of the websites: https://www.crystallography.net/ [10] or https://materialsproject.org [11].

We will make use of the python3-cif2cell package for Ubuntu and perform a transformation via the “cif2cell” command. This will generate the .in file which can be used as input for the Quantum espresso calculations.

- cif2cell GaAs.cif -p quantum-espresso -o gaas.in

Some modifications will need to take place on the gaas.in file based on **psuedopotential** files which can be found at the following location :

https://pseudopotentials.quantum-espresso.org/legacy_tables

Description of all fields of the input file can be found here: https://www.quantum-espresso.org/Doc/INPUT_PW.html

In order to avoid manual corrections you can directly use the generator provided by materials org: https://www.materialscloud.org/work/tools/qeinputgenerator [12–14]. This will directly generate a pw.*.in file format.

Below we can find an example input file where we used the Plane-Wave Self-Consistent Field (SCF) method for calculations [15]:

```
&CONTROL
  calculation = 'scf'
  prefix = 'GaAs'
  outdir = '.'
  pseudo_dir = '.'
  tprnfor = .true.
  tstress = .true.
  verbosity = 'high'
/
&system
ibrav = 2
celldm(1) = 10.6867
nat = 2
ntyp = 2
ecutwfc = 60
ecutrho = 244
/
&electrons
mixing_mode = 'plain'
mixing_beta = 0.7
conv_thr = 1.0d-8
/
ATOMIC_SPECIES
As     74.9216 As.pbe-n-rrkjus_psl.0.2.UPF
Ga     69.723 Ga.pbe-dn-kjpaw_psl.1.0.0.UPF
ATOMIC_POSITIONS
Ga 0.00 0.00 0.00
As 0.25 0.25 0.25
K_POINTS {automatic}
8 8 8 0 0 0
```

In order to perform the calculation execute the following command:

- pw.x -input gaas.in > gaas.out

Calculations produce an output file with information such as: total energies, Fermi level, kinetic energy cutoff, charge density cutoff, estimated scf accuracy, Cartesian and crystallographic axes, k-points, forces, information on highest occupied level including CPU usage and memory usage of the machine and many more.

This calculation is needed for further calculations and analyses of the band structure. We have to create a copy of the baas.in file and adapt some parameters such as the calculation method: calculation = 'bands', specify the number of bands: nbnd = 16 and specify K-Point configurations.

Execute the following commands:

- pw.x -input baasbands.in > baasbands.out
- bands.x -input baasbandsout.in > baasbandsout.out

In order to plot the bands use the following commands:

- plotband.x

```
Input file > GaAs.band
Reading   16 bands at     91 k-points
Range:   -8.1820   21.0070eV  Emin, Emax, [firstk, lastk] > -9, 22
high-symmetry point:  0.5000 0.5000 0.5000   x coordinate   0.0000
high-symmetry point:  0.0000 0.0000 0.0000   x coordinate   0.8660
high-symmetry point:  1.0000 0.0000 0.0000   x coordinate   1.8660
high-symmetry point:  1.0500-0.3000 0.3000   x coordinate   2.2932
high-symmetry point:  1.0000-1.0000 1.0000   x coordinate   3.2844
output file (gnuplot/xmgr) > gnumplot
bands in gnuplot/xmgr format written to file gnumplot
output file (ps) > gaasband.ps
Efermi > 6
deltaE, reference E (for tics) 5 0
bands in PostScript format written to file gaasband.ps
```

- ps2pdf gaasband.ps

This will produce a pdf file with the following information: see Fig. 3.

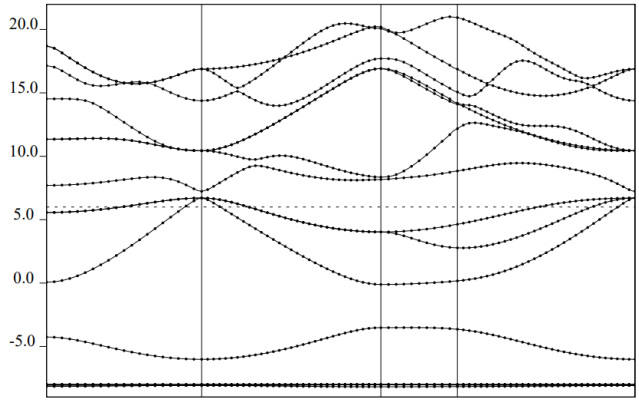


Fig 3. E (k) diagram; energy band structure of GaAs

Conclusion

We have reviewed only a small part of an existing simulation method in modelling radiation effects with QE. Many more DFT, MD and KMC methods exist and are advancing along with existing computational tools. It is worth investing collaboration and examining these tools further in order to determine if they are extendible enough. All of the methods will clearly remain in use for a long term to come.

References:

1. Miteva, A. Effect of radiation on spacecraft materials, Proceedings of the Scientific conference "Radiation safety in the modern world", Vasil Levski National Military University, 16 – 18.11.2022, Veliko Turnovo, Bulgaria, vol. 1,pp. 105-111, 2022; DOI: 10.34660/INF.2023.25.68.011
2. Nordlund, K. Historical review of computer simulation of radiation effects in materials, Journal of Nuclear Materials, Volume 520, 2019, Pages 273-295, ISSN 0022-3115, https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2019.04.028. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022311518314703)
3. Giannozzi, P, O. Andreussi, T. Brumme, O. Bunau, M. Buongiorno Nardelli, M. Calandra, R. Car, C. Cavazzoni, D. Ceresoli, M. Cococcioni, N. Colonna, I. Carnimeo, A. Dal Corso, S. de Gironcoli, P. Delugas, R. A. DiStasio Jr, A. Ferretti, A. Floris, G. Fratesi, G. Fugallo, R. Gebauer, U. Gerstmann, F. Giustino, T. Gorni, J Jia, M. Kawamura, H.-Y. Ko, E. Küçükbenli, M .Lazzeri, M. Marsili, N. Marzari, F. Mauri, N. L. Nguyen, H.-V. Nguyen, A. Otero-de-la-Roza, L. Paulatto, S. Poncé, D. Rocca, R. Sabatini, B. Santra, M. Schlipf, A. P. Seitsonen, A. Smogunov, I. Timrov, T. Thonhauser, P. Umari, N. Vast, X. Wu, S. Baroni, J.Phys.: Condens.Matter 29, 465901 (2017) https://www.quantum-espresso.org/Doc/pw_user_guide
4. University of Ghent. Cottenier Stefaan – a comprehensive online course on the matter https://www.compmatphys.org/
5. https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/gallium-arsenide
6. Kokalj, A. J. Mol. Graph. Model., Vol. 17, pp. 176-179, 1999. Code available from http://www.xcrysden.org.
7. Ubuntu GCC, gfortran 2000-2020 Debian
8. python3-cif2cell Bjorkman, A. Merkys T. Comp. Phys. Commun. 182, 1183-1186 (2011)
9. Ghostscript, Artifex Software, Inc.
10. Anubhav Jain, Shyue Ping Ong, Geoffroy Hautier, Wei Chen, William Davidson Richards, Stephen Dacek, Shreyas Cholia, Dan Gunter, David Skinner, Gerbrand Ceder, Kristin A, Jason M. Munro, Katherine Latimer, Matthew K. Horton, Shyam Dwaraknath, and Kristin A. Persson Persson https://next-gen.materialsproject.org/materials/mp-2534
11. https://wiki.crystallography.net/cod/citing/
12. SSSP efficiency, Prandini, G., A. Marrazzo, I. E. Castelli, N. Mounet and N. Marzari, npj Computational Materials 4, 72 (2018), http://materialscloud.org/sssp WEB: http://materialscloud.org/sssp
13. As.pbesol-n-rrkjus_psl.0.2.UPF, from Pslibrary 0.3.1: E. Küçükbenli et al., arXiv:1404.3015. WEB: http://theossrv1.epfl.ch/Main/Pseudopotentials, LICENSE: GNU General Public License (version 2 or later).
14. Ga.pbesol-dn-kjpaw_psl.1.0.0.UPF, from Pslibrary 1.0.0: A. Dal Corso, Comput. Mater. Sci. 95, 337 (2014). DOI: 10.1016/j.commatsci.2014.07.043, WEB: http://www.quantum-espresso.org/pseudopotentials, LICENSE: GNU General Public License (version 2 or later).
15. DOS and bandstructure for Aluminum (metal) Quantum Espresso Tutorial (pranabdas.github.io)

S E S 2 0 2 3
Nineteenth International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
24 – 26 October 2023, Sofia, Bulgaria

КОРОЗИЯ НА АЛУМИНИЙ И АЛУМИНИЕВИ СПЛАВИ

Анна Бузекова-Пенкова

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

Ключови думи: *корозия, алуминий, алуминиеви сплави*

Резюме: *В така представения доклад са разгледани видовете корозия, които се срещат при алуминия и алуминиевите сплави. Описани са причините за появата на вида корозия водещи до разрушаване на материала.*

CORROSION OF ALUMINUM AND ALUMINUM ALLOYS

Anna Bouzekova-Penkova

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

Keywords: *Corrosion, Aluminum, Aluminum alloys*

Abstract: *The presented article discusses the types of corrosion occurring in aluminum and aluminum alloys. The reasons for the occurrence of this or that type of corrosion leading to the destruction of the material are described.*

Въведение

Алуминиевата корозия е процес на разрушаване на метала под въздействието на различни външни фактори на околната среда и от реакциите, причинени от тази среда в алуминия. Въпреки предимствата на алуминия, леко тегло, здравина и пластичност, в алуминия може да настъпи постепенно корозия в продължение на седмици, месеци или дори години. Разрушаващото действие на корозията винаги започва от повърхността на метала. След това корозията се разпространява в дълбочина със скорост, зависеща от метала или вида на алуминиевата сплав, химическия състав, структурата, характеристиките на сплавта (вътрешни фактори), температурата и други характеристики на околната среда (външни фактори). Влиянието на тези фактори обяснява различната скорост на корозионния процес и съпътстващите изменения на външния вид на повърхността: тя става матова, променя цвета, появяват се точки, петна, издутини и други. С течение на времето в алуминиевите продукти могат да се образуват и големи дупки поради корозия.

Устойчивостта на алуминия и алуминиевите сплави към обикновена външна корозия е различна. Естествената устойчивост на корозия е една от причините за широкото приложение на алуминия и алуминиевите сплави от производството на кутии, гайки, болтове, трансформатори, проводници, кухненски уреди до използването му в архитектурата, автомобило, самолетостроенето, ракетостроенето и други. Основният източник на защита срещу корозия е самовъзстановяващ се оксиден филм върху алуминия и алуминиевите сплави, който постоянно съществува във външната атмосфера. Когато чистият метал влезе в контакт с въздуха (кислорода), върху алуминиевата повърхност моментално се появява тънък защитен филм от алуминиев оксид (Al_2O_3 или $Al_2O_3•H_2O$). Образуваният върху повърхността му оксиден филм е инертен и предпазва повърхността от по-нататъшно окисление. Вътрешният слой е здрав, а структурата и дебелината му зависят от температурата на окисляване. Дебелината на оксидния филм върху прясно валцуван алуминиев лист е 2,5 nm и след няколко години дебелината му може да достигне 10–20 nm (1 nm = 10^{-9} m). Дебелината на слоя зависи от времето на корозия и концентрацията на агресивни вещества в околната среда. Увеличаването

на дебелината на външния слой се дължи на окисляването на метала. Външният слой е порест и пропуска въздух и влага.

Корозията в различните й проявления възниква само в случай на разрушаване на естествения оксиден филм [1–5].

Видове корозия на алуминий и алуминиевите сплави

Алуминиевата корозия възниква в резултат на химично, електрохимично или физикохимично взаимодействие с работната среда и се различава по външни прояви. Според вида на корозионното поражение бива [2–4]:

Точкова корозия (обща)

Точковата корозия е най-често срещаният тип корозия, която външно се проявява като образуване на малки язви (ямки) с неправилна форма върху повърхността на метала (Фиг. 1).

Фиг. 1. Точкова корозия [6]

Корозионните ями, са покрити с бели, обемни и желеобразни „пъпки“ от алуминиев трихидроксид $Al(OH)_3$. Техният диаметър и дълбочина зависят от няколко параметъра, които са свързани с химическия състав и чистотата на алуминиевият продукт, корозивната среда и условията на работа. Причината за такова разрушаване е взаимодействието на алуминий със соли, разтворени в електролит. Точковата корозия възниква, когато метала е поставен в постоянен или периодичен контакт с влажна или водна среда. Всяка влага и вода, действат като проводящо вещество и при взаимодействие със сплавта разрушават оксидния защитен филм в неговите слаби места (драскотини, счупвания или ако сплавта е нехомогенна).

Галванична (контактна) корозия

Галваничната или електрохимичната корозия възниква, когато алуминият влезе в контакт с други метали, образуват електрическа верига, която е завършена от течен или филмов електролит или корозивна среда. В този процес алуминият най-често действа като анод, а друг метал като катод. Електроните се прехвърлят от анода към катода, което води до разрушаване на алуминиевия продукт (Фиг. 2).

Фиг. 2. Галванична корозия [7]

Корозионното въздействие върху алуминия има равномерен характер, развива се в дълбочина под формата на кратери, които имат повече или по-малко заоблена форма [3, 8].

При определени условия този процес може да бъде предотвратен, ако металът се държи на сух въздух. В селските райони галваничната корозия е по-рядко срещана. Градовете разположени в близост до море или океан, където във въздуха може да се наблюдава високо съдържание на хлориди, алуминият и алуминиевите продукти се нуждаят от допълнително защитно покритие.

Пукнатинна корозия

Този тип разрушаване възниква в тесни пукнатини между продукта и друга метална конструкция или изолационен материал: уплътнение или гумено уплътнение, пукнатини по повърхността на алуминиеви части и др., които са запълнени с течна среда.

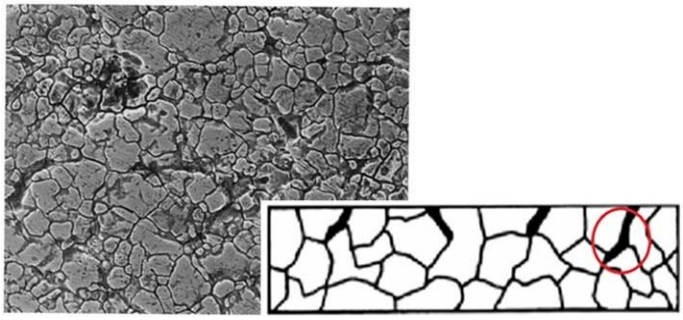
Фиг. 3. Пукнатинна корозия [9–10]

Най-често пукнатинната корозия се появява на повърхности в контакт с морска [8] или речна вода, както и на елементи от външната обшивка на моторни превозни средства. Друга причина за появата може да бъде неправилното съхранение и транспортиране на алуминиеви изделия. Недостатъчната защита на фугите води до натрупване на влага от атмосферата в тях. Освен това може да се натрупа конденз в пукнатините, ако алуминият се премести от студена в топла стая.

Корозията на пукнатините обикновено се нарича засилено корозионно разрушаване на метал в пукнатини и пролуки между фланците, между листове нитови и болтови съединения, в зоната на контакт на метал с неметали. Процепна корозия се наблюдава както при потапяне на конструкцията в електролита, така и при атмосферни условия [11–12].

Междукристална корозия

Алуминия и алуминиевите сплави имат зърнеста структура. Междукристалната корозия възниква в границите на зърната на метала, а не на самите зърна. Най-често се проявява, когато съдържанието на мед или силиций в сплавта е твърде високо. Образуването на рекристализирана структура с голям размер на зърната води до корозия от този тип. Манганът и хромът се добавят към алуминиевите сплави, за да се предотврати или минимизира рекристализацията. Сплавите от серия 6000, 6060 и 6063 обикновено са устойчиви на междукристална корозия, но при сплави от серия 7000 тя е често срещана [2, 3, 13].



Фиг. 4. Междукристална корозия [15]

Подповърхностна корозия

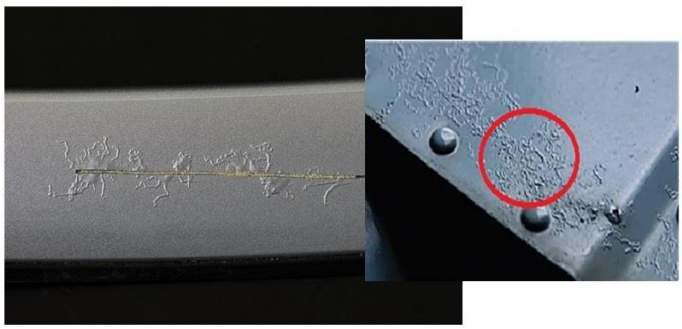
Подповърхностната корозия е процес на локализирана корозия, която започва от повърхността, когато на определени места са разрушени защитните филми, лакове и др., но основно се простира под повърхността на метала (Фиг. 5), където продуктите от разрушаване и корозия се концентрират в определени зони (по една или повече равнини) в метала.

Фиг. 5. Подповърхностна корозия

Алуминиевите сплави са податливи на този вид корозионно увреждане. Най-податливи на този вид корозия са високоякостните сплави от сериите 2000, 5000 и 7000 (сплави от системата Al-Zn-Mg). В този случай малка корозионна лезия, образувана на повърхността на метала, се задълбочава по време на процеса на корозия, приемайки формата на тесен канал, през който електролитът прониква под повърхността на метала. Подповърхностната корозия често причинява подуване (набъбване) и разслояване на метала [2, 3, 13].

Нишковидна корозия на алуминий

Нишковидна корозия е вид корозионно разрушаване, което възниква върху метала под покритието под формата на произволно разпределени нишки. Доста често алуминиевите продукти са боядисани, за да се предпазят от корозивни процеси и да ограничат контакта с техните катализатори. Не е добре покритието (нанасяне на боята) да бъде нанесено върху не добре почистена металната повърхност. Непочистената повърхност може да доведе до дефекти причиняващи нишковидна корозия в бъдеще. Корозията уврежда покритието и първоначално създава подобна на червей точкова следа (Фиг. 6). След това покритието напълно се отлепва в зоната на корозия. Това от своя страна позволява на корозивната среда да реагира с долния алуминиев субстрат.



Фиг. 6. Нишковидна корозия [15–16]

Стрес корозия

Стрес корозията, е специфичен вид корозия, която възниква под въздействието на комбинация от механично напрежение и агресивна среда и води до напукване. Нарича се още корозия под напрежение и е широко разпространена в различни индустрии от авиацията и корабоплаването до енергетиката и нефтохимията и е много опасна. Среща се главно при алуминиеви сплави с висока якост, като сплави AlZnMg. Причината за разрушаването е дългосрочната експлоатация на алуминиевите продукти при голямо натоварване (опън-натиск), особено ако често надвишава допустимите стойности в присъствието на корозивна среда. Това води до образуване на пукнатини по сплавта, сплавта постепенно губи своята здравина и става неизползваема. Този тип корозия обикновено не се среща в сплави от серия 6xxx, т.е. AlMgSi сплави [17–18].

Фиг. 7. Стрес корозия [19–20]

Заключение

Един от ключовите фактори за предотвратяване на корозия при алуминиевите сплави е правилният избор на вида сплав, който да има добра устойчивост на корозия в определена среда. Този въпрос е особено актуален при аерокосмическото използване на алуминиевите сплави [21, 22, 23]. Предварителното определяне на климатичния дизайн на продуктите позволява не само да се осигури безопасна експлоатация, но и значително да се намалят разходите за ремонт и възстановяване след повреда и разрушаване на продукти и сложни технически системи под въздействието на климатични фактори. Също така, изделията изработени от алуминий и алуминиеви сплави трябва добре да са защитени спрямо средата в която ще бъдат използвани. Покрития като бои, емайллакове или пластмасови обвивки могат да предотвратят контакта на сплавта с корозивните среди, като по този начин намаляват възможността от корозия. Редовната поддръжка и проверка на състоянието на изделията води до идентифициране и отстраняване на дефекти, които могат да доведат до корозия, а корозията до разрушаване на металните изделия, конструкции или оборудването.

Литература:

1. Ostermann Friedrich. “Anwendungstechnologie Aluminium”, Springer Vieweg, 2014, Chapter 5, 220–262, DOI 10.1007/978-3-662-43807-7.
2. Davis Joseph R. “Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys”, ASM International, 1999,1–10, 25–54, 135–154, DOI:https://doi.org/10.31399/asm.tb.caaa.9781627082990.
3. Vargel Christian. “Corrosion of Aluminium”, Elsevier Science, 2004, Chapter B.2, 113–143, eBook ISBN: 9780080472362, https://doi.org/10.1016/B978-0-08-044495-6.X5000-9.
4. Розенфельд, И. Л. “Коррозия и защита металлов”, “Металлургия”, 1969, 13.
5. Jacobs, M. H., “Corrosion and corrosion protection”, European Aluminium Association, Talat Lecture 1999, 1252, 2–16.
6. https://www.rusbolt.ru/articles/12655/
7. https://dpocourse.ru/lessons/
8. Шумахер, М., “Морская коррозия”, Металлургия, 1983, 141.
9. https://t-zinc.ru/o-kompanii/stati/tipy-korrozii-metalla.html
10. https://tdzink.ru/company/information/vidy-korrozii-metalla-foto/
11. Белоус, В. Я., Гурвич Л. Я., Ерофеева В. Л. и др. “Щелевая коррозия нержавеющих сталей в атмосфере. Защита металлов”, 1995, 31(2), 184–190.
12. Варченко, Е. А., Курс М. Г. “Щелевая коррозия алюминиевых сплавов и нержавеющих сталей в морской воде”, Scientific and Technical Journal "Proceedings of VIAM", 2018, dx.doi.org/ 10.18577/2307-6046-2018-0-7-96-105.
13. Томашов, Н. Д., Чернова Г.П., “Теория коррозии и коррозионно-стойкие конструкционные сплавы”, Машиностроене, 1986, 87.
14. http://промтехгаз.рф/slovar/mezhkristallitnaya-korroziya/
15. https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Filiform_corrosion_on_painted_aluminum.jpg
16. https://texon.ru/info/articles/gk-promtekh-lineyka-antikorrozionnykh-materialov-i-differentsirovannyy-podkhod-k-ikh-primeneniyu/
17. Энциклопедия по машиностроению XXL. Стрес корозия, https://mash-xxl.info/info/569213/.
18. Розенфельд, И. Л., “Коррозия и защита металлов”, Металлургия, 1969, 448.
19. mavink.com; stress corrosion cracking.
20. https://www.researchgate.net/figure/3-Example-of-stress-corrosion-cracking-of-a-Type-316-stainless-steel-under-thermal_fig9_294693732
21. Bouzekova-Penkova, A.,Miteva, A. “Some aerospace applications of 7075 (B95) aluminium alloy”, Aerospace Research in Bulgaria, 2022, 34, 165-179, ISSN 1313-0927; DOI: https://doi.org/10.3897/arb.v34.e145.
22. Miteva, A. .Safety in aerospace engineering, Proceedings SES 2021, 2021, 345–349.
23. Васильев, В. Ю., Пустов Ю. А., Коррозионная стойкость и защита от коррозии металлических, порошковых и композиционных материалов, „Учеба“, 2005, 130.

FOOD IRRADIATION FOR SPACE APPLICATIONS

Adelina Miteva

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: ad.miteva@gmail.com

Keywords: *radiation, food industry, food irradiation, space food, cosmic/space radiation, outer space, space environment, materials science, aerospace applications*

Abstract: *As manned space exploration develops and deep space flights become a reality, ensuring the safety and longevity of astronauts on board becomes of paramount importance. One of the important problems is the preservation and safety of food during long flights. Food irradiation is emerging as a promising method to address these issues, offering reliable ways to improve food safety and extend shelf life. This article explores the fascinating world of food irradiation and its significant role in the space industry.*

ОБЛЪЧВАНЕ НА ХРАНИ ЗА КОСМИЧЕСКИ ПРИЛОЖЕНИЯ

Аделина Митева

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: ad.miteva@gmail.com

Ключови думи: *радиация, хранително-вкусова промишленост, облъчване на храни, космическа храна, космическа радиация, космическо пространство, космическа среда, материалознание, космически приложения*

Резюме: *С развитието на пилотираната космонавтика и превръщането на мисиите в далечния космос в реалност, осигуряването на безопасността и дълголетието на астронавтите на борда на космическите апарати придобива първостепенно значение. Един от важните въпроси е съхраняването и безопасността на храната по време на дълги полети. Облъчването на храни се очертава като обещаващ метод за решаване на тези проблеми, предлагащ надеждни начини за подобряване на безопасността и срока на годност на храните. Тази статия е посветена на очарователния свят на облъчването на храни и неговата значителна роля в космическата индустрия.*

Introduction

Food quality is a priority and a major issue not only for food professionals. It is of paramount importance for all people and countries of the world, for the survival and progress of mankind and therefore for the aerospace industry.

With advances in space exploration and the increasingly realistic possibility of interplanetary travel, ensuring the health and livelihood of astronauts during extended missions is becoming a critical challenge. One innovative solution that addresses this problem is food irradiation [1–9], a process that is gaining momentum for its ability to preserve and extend the shelf life of foods while protecting them from microbial and other contamination.

Food irradiation and use of radiation in foods

Food irradiation is the process of exposing food and packaging to ionizing radiation, such as gamma rays, X-rays, or electron beams Food irradiation improves food safety and extends the shelf life of products (preservation) by effectively destroying organisms responsible for spoilage and foodborne illness, inhibits germination or ripening, and is a means of controlling insects and invasive

pests. The term "food irradiation" can be applied to any process in which food is exposed to either electromagnetic radiation or high energy particles.

Electromagnetic energy can be generated by radioactive isotopes, as in the case of gamma irradiation, or by bombarding thin metal films with high-energy electron beams to produce radiation, as in the case of x-ray irradiation. Alternatively, a high-energy electron beam ("electron beam") can be directed at the food itself.

The mechanism of action of irradiation on the destruction of harmful microorganisms in food is the destruction of the DNA of their cellular structures. The effectiveness of the radiation treatment depends on the type of radiation used, the intensity of the radiation, and the microbe in question. Regardless of the form, food irradiation mainly depends on how much energy is absorbed by the target food. It is useful to measure how much radiation dose will be required, regardless of the amount of food to be irradiated. For this reason, radiation doses are measured in kilogray (kGy) [2].

Food irradiation is now permitted in about 70 countries, and about 600,000 metric tons of food are processed annually worldwide. The regulations for how food is to be irradiated, as well as the foods allowed to be irradiated, vary greatly from country to country. In Austria, Germany and many other countries of the European Union only dried herbs, spices, and seasonings can be processed with irradiation and only at a specific dose, while in Brazil all foods are allowed at any dose.

The main causes of losses of agricultural products (up to 40%) are related to the damage of grain and grain products by insect pests. insect pests, premature sprouting of root crops, bacterial spoilage of flour, meat, fish and other food products during storage. Radiation treatment of foods extends their shelf life without significant qualitative changes in their nutritional performance.

The advantages of food processing with ionizing radiation are:

- easily applicable technology;
- the procedure is carried out in a package;
- no secondary contamination;
- non-toxic;
- not an energy-intensive technology;
- the environment is not polluted.

Requirements for radiation technologies are the subject of a number of international documents, but the main standards are those of the Codex Alimentarius:

- General Standard for Irradiated Foods and
- International Recommended Guide for the Radiological Treatment of Foods.

Technological objectives in food irradiation are:

- prolongation of storage life;
- sterilization - they are good for years without refrigeration;
- slowing the vision of fruits and vegetables;
- retarding the sprouting of root vegetables;
- control of disease-causing microorganisms.

Since 1943, experiments have begun on the use of ionizing radiation for sterilizing and preserving food products. Treating foods with ionizing radiation preserves them and destroys or inhibits the growth of microorganisms, such as bacteria and parasites, which might otherwise cause foodborne illness. Microorganisms are distinguished by extremely high radiation resistance.

Food irradiation has been approved by many countries and is supported by the World Health Organization. For example, in the U.S. and Canada, food irradiation has existed for decades.

Food irradiation is used commercially and overall volumes are increasing slowly, even in the European Union where all member states allow the irradiation of dried herbs, spices and vegetable flavourings but only some allow other foods to be sold as irradiated.

Although some consumers choose not to purchase irradiated products, there is a sufficient market for retailers to stock irradiated products permanently for many years. When labeled irradiated products are made available for retail sale, consumers purchase and re-purchase them, indicating that there is a market for irradiated products, although the need for consumer education remains.

Food scientists have concluded that any fresh or frozen food subjected to irradiation in certain doses is safe to eat, with over 60 countries using irradiation to maintain the quality of their food supply.

Irradiation leaves a product with qualities (sensory and chemical) that are more similar to unprocessed food than any preservation method that can achieve a similar degree of preservation.

Irradiated food does not become radioactive; only power levels that are incapable of causing significant induced radioactivity are used for food irradiation.

The provisions of the Codex Alimentarius are that any "first generation" product must be labeled "irradiated" as any product derived directly from an irradiated raw material; for ingredients the provision is that even the last molecule of an irradiated ingredient must be listed with the ingredients even in cases where the unirradiated ingredient does not appear on the label. The RADURA-logo is optional; several countries use a graphical version that differs from the Codex-version. The proposed

published labelling rules (from Codex Alimentarius) include the use of the Radura symbol for all products that contain irradiated food. This is necessary because irradiated food cannot be determined by smell, sight or taste.

In the USA all irradiated foods must include a visible Radura symbol followed in addition by the statement "treated with irradiation" or "treated by irradiation". Bulk foods must be individually labeled with the symbol and statement or, alternatively, the Radura and statement should be located next to the sale container.

The European Union does not provide for the use of the Radura logo and relies exclusively on labeling by the appropriate phrases in the respective languages of the Member States.

The "Radura" symbol (recommended by Codex Alimentarius), which is required by U.S. Food and Drug Administration regulations to indicate that food has been treated with ionizing radiation, is shown in Fig. 1.

Fig. 1. The logo is the symbol “Radura”. This is the international symbol indicating a food product has been irradiated. The logo is usually green and resembles a plant in circle. The top half of the circle is dashed. Graphical details and colors vary between countries.

Advantages and benefits of using irradiated foods for space applications

The US Food and Drug Administration has approved irradiation of food for limited purposes since 1963, and NASA has used irradiated food on its space missions for decades as a precaution against foodborne pathogens. However, it is only in the last 20 years that irradiation has been approved for uses that could have a significant impact on the presence of pathogens in food.

Developing food for space missions is a complex process. These products must be extremely durable, high energy density, incredibly nutritious and portable. In addition, different types of food for different types of consumers should be considered. Although modern technology has increased the shelf life of some foods to 3-5 years, this still does not meet some stringent requirements. The creation of new technologies or the combined use of several existing technologies is necessary to achieve a longer shelf life. This combination provides not only an extremely long shelf life, but also specific functional characteristics of specialized food products. To support long-term space missions, food scientists and researchers are focusing primarily on the shelf life of food products.

Below are 20 reasons to use irradiated food on aerospace missions:

1. Improving food safety. Irradiation effectively kills or reduces harmful bacteria, viruses and parasites, minimizing the risk of foodborne illness in space;

2. Increased shelf life. Irradiation helps maintain the quality and freshness of food for a longer period, making it suitable for long space missions where resupply is limited;

3. Nutrition conservation. Irradiating food does not significantly change the nutritional value of the food, ensuring that astronauts receive essential nutrients during space travel;

4. Reduce food waste. By extending the shelf life of food, irradiation helps minimize spoilage and waste, maximizing the use of available resources in space;

5. Improving the quality of food. Irradiation helps preserve the taste, texture and appearance of food, ensuring that astronauts can enjoy a varied and enjoyable diet during their missions;

6. Increasing food availability. Irradiation allows a wider range of food products to be used in space by reducing potential contamination risks and allowing perishable foods to be stored for longer periods of time;

7. Ensuring sterility. Food irradiation can effectively sterilize food, destroying harmful microorganisms and keeping food safe for consumption, especially in sensitive environments such as space;

8. Reduced chemical dependency. Irradiation can replace or reduce the need for chemical additives, preservatives and pesticides in foods, providing a cleaner and more sustainable solution;

9. Pathogen control. Food irradiation can target specific pathogens present in foods, reducing the risk of outbreaks and increasing the overall safety of the food supply in space;

10. Support off-planet agriculture: Irradiation can be used to treat seeds and plant material for space agriculture, ensuring the production of safe and disease-free crops for sustainable food production in space habitats;

11. Adaptability to different types of food. Food irradiation is applicable to a wide range of food products, including fruits, vegetables, meats and ready-to-eat meals, allowing for a varied and nutritious diet in space;

12. Convenience and storage. Irradiated foods do not require long-term refrigeration or complex storage conditions, making them easy to transport and handle in confined spaces;

13. Reducing the content of allergens. Irradiation can reduce allergenic proteins in some foods, providing safer dining options for people with allergies or sensitivities;

14. Control of invasive species. Irradiation can be used to treat foods that may carry invasive species or pests, preventing them from establishing and spreading into space habitats'

15. Saving time and resources. Irradiation dramatically reduces the need to manually inspect and sort food, saving valuable time and resources during space missions;

16. International recognition. Food irradiation is recognized and approved by international organizations such as the World Health Organization (WHO) and the Food and Agriculture Organization (FAO), making it a globally accepted method of ensuring food safety;

17. Increased emergency capacity. In emergency situations or unforeseen circumstances, irradiated food can be quickly used as a safe and reliable food source for astronauts in space;

18. Support for long missions. The use of irradiated food could support long-duration missions by providing astronauts with a sustainable and varied diet that promotes their physical and mental well-being during long periods in space'

19. Mitigate supply chain problems. Irradiation could help overcome problems associated with inconsistent supply chains in space exploration by extending the shelf life of food and reducing the need for frequent restocking;

20. Future Potential: Further advances in food irradiation technology may unlock additional benefits such as improved nutrient retention and improved food quality, thereby continually improving the nutritional options available to astronauts in space.

The future of food production will be shaped by technological advances such as 3D food printing and space gardening. Additionally, a number of experiments are being carried out by space agencies to enable future space travel. Research on environmentally friendly packaging materials is being conducted to reduce the weight of space flights. Biofilms that prevent microbial growth and increase the shelf life of the product is currently at least five years are being developed by researchers. In addition, the development of food products for space will be achieved through the cooperation of several space agencies.

The situation in Bulgaria

In 2008 for the first time in Bulgaria, a device for irradiating food was registered: gamma-sterilizer BULGAMMA of SOPHARMA AD, manufactured by NORDION, Canada [3]. The irradiator is a panel type loaded with ^{60}Co sources with a total source activity of 100,000 Ci. The products are irradiated in aluminium containers with a volume of 0.25 m^3. The containers are moved by a conveyor system into the irradiation chamber.

For radiation treatment of food in European Union (EU) it is allowed to use:

- gamma radiation from radioisotopes cobalt and cesium;
- X-rays with electron energy below 5 MeV;
- accelerated electrons, with electron energy up to 10 MeV.

To date, only these foods are allowed to be treated with ionizing radiation in our country [2, 4]:

- dried aromatic herbs;
- dried spices;
- dried vegetable spices.

Although certain exposures are permitted in the EU, they also require authorization from the relevant national authority of the Member State.

Ethical Considerations

There may be ethical concerns regarding the acceptance of irradiated food by astronauts and the general public. However, it is important to note that food irradiation has been researched

extensively, and numerous international health organizations, including the World Health Organization (WHO), the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), and the U.S. Food and Drug Administration (FDA), have approved its use as a safe and effective food preservation technique.

Irradiated products do not become radioactive. A radioactively contaminated product is a product that, for some reason, contains radionuclides and it (or its components) has radioactivity.

The product treated with radiation cannot acquire radioactivity, because during the radiation treatment there is no direct contact of the radioactive substance with the product, and the dose rate of gamma radiation or electron radiation is allowed in the processing of food products according to international standards completely eliminates the possibility of induced radioactivity.

Key advantages of food processing technology using irradiation: The most studied preservation method to date; Accelerated electrons penetrate the packaging, which protects the product from subsequent bacterial contamination; Processing does not change the taste and smell; The temperature increase during processing does not exceed several degrees; The technology does not restore the quality of spoiled food and cannot replace quality food production methods.

In the USA and other countries, systematic educational advertising is carried out about the safety of food products after their radiation treatment. Legislative acts, international agreements are indicated, and the quality of processed and unprocessed products is compared.

All this contributes to the promotion of products in the markets. More than 600 radiation centers have been created around the world; the leaders are the USA and China. Food and agriculture is the third largest segment of the global radiation technology market. In China, more than 80 centers irradiate food.

Challenges and future directions

- There are potential limitations and challenges in applying food irradiation in space, such as energy requirements and equipment considerations.
- Research is forthcoming on advances in food irradiation techniques for space applications, including the development of compact and efficient irradiation systems.
- The important collaboration between space agencies, food scientists and engineers to further improve food irradiation for space exploration should be strongly developed.

There are other alternatives regarding the delivery of food for a long-term mission [5]. Instead of bringing food to Mars, visionaries and explorers focused on growing and processing food on the planet Mars. This issue provides much research on food production and food processing related to the Mars project.

Conclusion

We have reviewed only a small part of the vast topic of aerospace applications of irradiated foods. Food irradiation effectively improves food safety/security and extends food shelf life. The use of radiation is one of the most promising and rapidly developing technologies to solve these problems.

The planned landing of man on Mars will take place as an international project, but not before methods and materials are invented to protect people and equipment from space radiation, and not before the problem of feeding astronauts is solved.

Food packaged for future deep space exploration missions will be exposed to galactic cosmic rays (GCRs) and solar radiation in deep space at higher levels and in different spectra than in low Earth orbit (LEO) [6]. This is where the use of radiation will certainly help in the production of space food. The study [6] evaluated the effects of simulated GCR (approximately 0.5 and 5 Gy doses) at the NASA Space Radiation Laboratory (NSRL) on two retort heat-stabilized food products that are good sources of radiation-labile nutrients (thiamine, vitamin E, or unsaturated fats). No trends or differences in nutrition were found between radiation-treated samples and controls immediately after treatment or one year after treatment. Small changes in several nutrients were measured after one year of storage. Further studies may be needed to confirm these results, as the foods in this study were heterogeneous and this may have masked significant changes due to bag-to-bag variation. Therefore, future studies should focus on homogenous, high-moisture foods for spaceflight, which are good sources of radiation-labile nutrients, such as thiamin and vitamin E.

Food irradiation stands as a promising solution for enhancing food safety and preservation in space applications. As space exploration progresses and humanity ventures into deep space missions, ensuring astronauts have access to safe, nutritious, and long-lasting food supplies becomes increasingly crucial. Food irradiation not only eliminates harmful pathogens and extends shelf life but also retains the nutritional value of food. By embracing this technology, we pave the way for successful long-duration space missions, pushing the limits of human exploration and discovery.

References:

1. Miteva, A. The use of radiation in the food industry and agriculture, Proceedings of the Scientific conference "Radiation safety in the modern world", Vasil Levski National Military University, 16 – 18.11.2022, Veliko Turnovo, Bulgaria, vol.1, pp. 112-118, 2022; DOI: 10.34660/INF.2023.90.50.012
2. Динева, С. Основни замърсители в хранителните суровини и продукти, Тракийски университет – Стара Загора, 2016 г.
3. Tsrunchev, T., M. Ivanova, A. Terzieva, A. Todorova, and N. Boshnakova. Providing the safety of the irradiated foods and the role of the regulatory control, 10. National Conference on Biomedical Physics and Engineering; Sofia (Bulgaria); 16-18 Oct 2008, Report Number INIS-BG—1536.
4. Diehl, J. F. Food irradiation - past, present and future, Radiat. phys. chem., vol. 63, pp. 211–215, 2002.
5. Bayram, M., R. Asar. Space Foods and Future Migration to Mars, 1st International GAP agriculture and livestock congress proceedings book, 25-27 April 2018, Sanliurfa-Turkey, 968–972, 2018.
6. Douglas, G. L., M. R Cooper,.H. Wu, R. Gaza, P. Guida and M. Young, Impact of galactic cosmic ray simulation on nutritional content of foods. Life Sciences in Space Research, 28, pp. 22–25, 2021.
7. Indiarto, R., M. A. H. Qonit. A review of irradiation technologies on food and agricultural products. Int. J. Sci. Technol. Res, 9(1), 4411–4414, 2020.
8. Prejean, J. E. Food irradiation: why aren't we using it?, http://nrs.harvard.edu/urn-3:HUL.InstRepos:8846796; 2001.
9. Diehl, J. F. Food irradiation - past, present and future, Radiat. phys. chem., vol. 63, 211–215, 2002.