В Космоса човек си мисли за това, което работи, за това, което е тренирал, а също и за това, което е научил! *ген.-лейтенант Георги Иванов, космонавт (1940)*

In Space, one thinks about what works, what one has practiced, and also what one has learned! *Major General Georgi Ivanov, Cosmonaut (1940)*





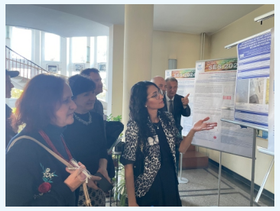


















© Space Research and Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences

p-ISSN 2603 – 3313 e-ISSN 2603 – 3321

2024

SES 2024

SES 2024

Twentieth Anniversary International Scientific Conference

SPACE, ECOLOGY, SAFETY

22 - 25 October 2024, Sofia, Bulgaria



SPACE RESEARCH AND TECHNOLOGY INSTITUTE

BULGARIAN ASTRONAUTICAL SOCIETY

BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

BULGARIAN AIR FORCE

MINISTRY OF DEFENSE

BULGARIAN AIR FORCE FOUNDATION

45-години от полета на Първия български космонавт

Георги Иванов























ПГЕБ ПРОФ. Д-Р АСЕН ЗЛАТАРОВ - София

Двадесета юбилейна международна научна конференция
Космос, Екология, Сигурност, SES2024

Първа Младежка Сесия











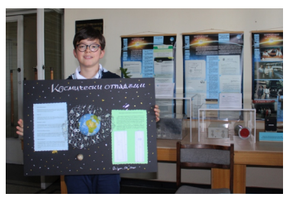
























BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES
Space Research and Technology Institute

BULGARIAN ASTRONAUTICAL SOCIETY

TWENTIETH ANNIVERSARY INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

DEDICATED TO

THE 45-TH ANNIVERSARY OF THE MISSION OF THE FIRST BULGARIAN ASTRONAUT GEORGI IVANOV

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

S E S 2024

PROCEEDINGS

The Conference is supported by Bulgarian National Science Fund
Contract № КП-06-МНФ/25 от 12.08.2024

2024

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
Assoc. Prof. Simeon Asenovski
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
General Dimitar Petrov
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
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 Twentieth Anniversary International Scientific Conference „Space, Ecology, Safety - SES 2024", which was held in October 2024, 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

Таня Иванова
45 години от полета на първия български космонавт Георги Иванов. 9

Kent Tobiska, Brad Gersey, Leonid Didkovsky, Kevin Judge,
Seth Weiman, Dave Bouwer, Justin Bailey, Tsvetan Dachev, Borislav Tomov,
Yury Matviichuk, Plamen Dimitrov, Malina Jordanova, Mityo Mitev,
Nikolay Bankov, Jordanka Semkova
International Space Station Radiation Field Measurements by Liulin-SET Spectrometer
of Armas Flight Module 9 in 2022. 16

Edelvays Spassov
Seismological Instruments for Space Research. 23

Session 1

Space Physics

Tsvetan Dachev, Petar Sapundjiev, Borislav Tomov, Yuriy Matviichuk, Mityo Mitev,
Malina Yordanova
Liulin-AA Spectrometer Measurements of the Radiation Dose during the Travel
from Bulgarian Antarctic Base on Livingston Island to Longyearbyen Town,
Svalbard Archipelago, Norway and Back to Sofia. 33

Rolf Werner, Veneta Guineva, Andrey Kirillov
Atmospheric CO_2 Concentration Forecast with the Bern-Model and the Development
of the Surface Temperature. 42

Veneta Guineva, Rolf Werner, Rumiana Bojilova, Lyubomira Raykova,
Atanas Atanassov, Dimitar Valev
Study of the Midlatitude Positive Bays at the Magnetic Station Panagyurishte
during the Descending Phase of Solar Cycle 24. 48

Atanas Atanassov
An Application of Situational Analysis Solver in Solving Problems Related to Self-Shading
of Solar Panels on Platforms with Complex Structures. 55

Пенка Стоева, Алексей Стоев, Мирослав Костов, Десислава Тенева
Короната на Слънцето, наблюдавана по време на Великото северноамериканско пълно
слънчево затъмнение и максимума на 25-ия слънчев цикъл от Тексас, САЩ. 58

Десислава Тенева
Възможностите на спътниковите наблюдения на пълните слънчеви затъмнения
на повърхността на Земята. 65

Daniela Boneva, Krasimira Yankova, Denislav Rusev
Dynamical Processes and Flow's Formations in Accretion Discs of Binary Stars. 70

Красимира Янкова
Каскадният принцип в космологията. Нива на сложност – структуро-формиране
и самоорганизация. 75

Tsvetan Georgiev
Period Revealing by Structure Eminence Function (SEF). Four methods.
Photometric Period of Eta Carinae. 78

Любомира Райкова
Изследване на влиянието на слънчевата активност върху температурния режим
в зоната на константната температура на пещерите Съева дупка, Леденика,
Ухловица и Снежанка и връзката с температурите в съседните им градове Смолян,
Враца, Ловеч и Пазарджик. 83

Session 2

Aerospace Technologies and Biotechnologies

Петър Гецов, Гаро Мардиросян, Николай Загорски, Бойко Рангелов, Павел Пенев
Някои резултати от изпълнението на задача 1.1.6. от Националната научна програма „Сигурност и отбрана“. 91

Георги Сотиров, Росен Димитров, Евгени Хубенов
Изследване на ефективността на мултисензорна система за откриване и противодействие на дронове по резултатите от проведен летателен експеримент. 95

Galina Racheva, Ivan Kindekov
Examine of the Potential Radiation Protection Ability of Amino Acid Betaine (N, N, N-Trimethyl Glycine) against the Cellular Harmful Effect of the Ionizing Radiation in Animal Experimental Models. 104

Konstantin Metodiev
Non-Linear Flight Dynamics Model of an Aircraft. 109

Джулиан Тахов, Павлин Граматиков
Сравнително изчисление на якост на цялата конструкция на хексакоптер. 116

Павлин Граматиков, Джулиан Тахов
Проучване на земните недра с безпилотни летателни апарати. 122

Zoya Chiflidzhanova, Evgeni Hubenov, Georgi Sotirov
Synthesis of a Unified Information Space for Critical Infrastructure Monitoring. 128

Зоя Хубенова, Георги Сотиров, Любомир Алексиев, Деанна Александрова, Даниела Иванова
Мултимодална биосензорна лаборатория за оценка на оператори, работещи в екстремни условия. 133

Павел Пенев
Нови функции на разузнавателните космически летателни апарати. 140

Павел Синилков
Възможности за създаване на промишленост извън Земята. 146

Malina Jordanova, Todor Uzunov, Frank Lievens
Is Digital Health Cost Effective. 152

Session 3

Remote Sensing and Geoinformation Systems

Paraskevi E. Gkatzioura, Konstantinos Perakis
Mapping Urban Heat Island Intensity in Greek Regional Units: A Remote Sensing Approach Using the UTFVI Index on Google Earth Engine. 159

Христина Проданова, Ивайло Ананиев, Стоян Недков
Картиране на екосистемите за нуждите на басейновото управление на водите. 164

Dessislava Ganeva
Optical Remote Sensing in Precision Field Plant Breeding. A Review. 170

Adlin Dancheva, Temenuzhka Spasova, Daniela Avetisyan
Application of Remote Sensing Data to Monitor the Thermal Pollution from Waste Disposal Sites. . .175

Андрей Стоянов
Приложение на спътникови данни от Senitinel-2 за мониторинг на снежната покривка от територията на НП „Централен Балкан“, Стара планина. 181

Живко Узунов, Биляна Костова, Ралица Берберова
Археология и ландшафт. Използване на аерофотографията при възстановяване на селищните модели в околностите на антична Месамбрия Понтика. 187

Искрен Иванов, Лъчезар Филчев
Стандартизирана лунна координатна система – обзор. 192

Ангел Манев, Алексей Стоев, Динко Господинов
Астрономически основи на календарните корекции. 198

Ангел Манев, Алексей Стоев, Динко Господинов
Астрономически аспекти на грешките на слънчевите календари. 206

Session 4
Ecology and Risk Management

Boyko Ranguelov, Memet Salih Bayraktutan, Fathimath Shadiya, Edelvays Spassov
Natural Hazards in Bularia and Maldives. 213

Димитър Димитров
Земетресенията "Чирпан – Пловдив" от април 1928 г. – Механизъм, природа, сеизмичен цикъл и опастност. 217

Stanimir Karapetkov,Emad Abdulahad, Kamen Ishtev, Diana Bankova, Elka Radeva, Venelin Kondov, Dimo Dimov, Petia Minkova, Daniela Arnaudova, Simeon Panev, Ivan Demerdzhiev, Philip Philipoff, Venkatanathan Natarajan, Mario Muñoz Organero, Mehmet Salih Bayraktutan, Blagovest Panev, Ilian Dinev, Galina Maslarska
Seismic, Wind and Fire Protection of Buildings and Facilities through Renovation of Existing Elevator Devices within the National Neural Network. 224

Stanimir Karapetkov,Emad Abdulahad, Kamen Ishtev, Diana Bankova, Elka Radeva, Venelin Kondov, Dimo Dimov, Petia Minkova, Daniela Arnaudova, Simeon Panev, Ivan Demerdzhiev, Philip Philipoff, Venkatanathan Natarajan, Mario Muñoz Organero, Mehmet Salih Bayraktutan, Blagovest Panev, Ilian Dinev, Galina Maslarska
Seismic Signal Processing in Some Wave Propagation Problems through Dinamical Condensation Approach. 231

Димитър Теодосиев, Анна Бузекова-Пенкова, Юрий Матвийчук, Гаро Мардиросян
Оценка на електромагнитни излъчвания в диапазона от 100 kHz до 7 GHz в урбанизирана среда (Столична община). 236

Елица Узунова, Иван Стоев, Гаро Мардиросян
Изследване на зелените площи в градската среда с използване на методи на машинно самообучение и географски информационни системи. 242

Ivaylo Ananiev, Vanya Stoycheva, Stoyan Nedkov
Assessing Ecosystems and their Services in Urban Areas: The Case of Urban Ecosystem Condition Indicators in Sofia, Bulgaria. 248

Мария Димитрова
Типове АИС за фини прахови частици в България – сравнителни характеристики, брой и разположение. 253

Мария Димитрова
Анализ на пространственото разпределение на праховото замърсяване над София по данни от АИС. 263

Ралица Берберова, Биляна Костова
Анализ на данни за кризите с хидроложки, геоложки и атмосферен произход на територията на България за периода 2010–2020 г. 268

Dimo Zafirov, Georgi Georgiev
Foresight for Graduate Professionals in Disaster Management. 274

Добрин Анастасов
Изкуственият интелект – мултипликатор на неконвенционалните бойни
действия (Irregular Warfare), водени от постмодерните терористични организации. 279

Надя Маринова
Пазарната конюнктура: ключови въпроси и стратегически решения. 284

Надя Маринова
Пазарна конюнктура и конкурентно поведение – проблеми и модели. 290

Session 5
Space Material Science and Nanotechnology

Димитър Теодосиев, Анна Бузекова-Пенкова, Димитър Тонев,
Елена Гелева, Божидар Славчев
Оценка на специфичната активност на ^{14}C в стъкловъглеродни покрития
след продължителен престой на Международната космическа станция. 299

Adelina Miteva
Aerospace Applications of Shape Memory Alloys. 305

Петя Табакова, Анна Петрова
Свойства и приложения на сплав Ti-6Al-4V. 311

Анна Петрова, Петя Табакова
Подходи при въвеждането на космическите технологии за ученици. 315

Plenary Session

45 ГОДИНИ ОТ ПОЛЕТА НА ПЪРВИЯ БЪЛГАРСКИ КОСМОНАВТ ГЕОРГИ ИВАНОВ

Таня Иванова

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

Ключови думи: *Космонавт, космически изследвания, космическа апаратура*

Резюме: *На 10 април 1979 година полетя първият българин в Космоса и България стана шестата страна в света със свой космонавт. Учените от БАН осъществиха първата Национална научна програма за космически изследвания при пилотирани полети. В доклада са разгледани накратко хронологията на космическите изследвания в България, драматичните събития около полета на първия български космонавт Георги Иванов, научната програма за този полет и апаратните системи създадени за реализацията й.*

45 YEARS OF THE FLIGHT OF THE FIRST BULGARIAN COSMONAUT GEORGI IVANOV

Tanya Ivanova

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: spsbyte@space.bas.bg; lusy_t@yahoo.com

Keywords: *Cosmsnaut, Space Research, Space Instrumwntation*

Abstract: *On April 10, 1979, the first Bulgarian flew into space and Bulgaria became the sixth country in the world with its own cosmonaut. The scientists from the Bulgarian Academy of Sciences implemented the first National Scientific Program for space research in manned flights. The report briefly examines the chronology of space research in Bulgaria, the dramatic events surrounding the flight of the first Bulgarian cosmonaut Georgi Ivanov, the scientific program for this flight and the apparatus systems created for its realization.*

Въведение

Участието на българските учени в космическите изследвания започва десетина години преди полета на първия ни космонавт, когато през 1969 година към Президиума на БАН е създадена научната Група по физика на космоса. А след разработката и успешното изстрелване на първия сондов прибор П1 на борда на спътника „Интеркосмос-8” през 1972 г., България вече беше станала 18-та „космическа” държава в света (съгласно конвенция приета от ООН). Много бързо беше натрупан богат опит и международно признание с осъществяването на серия от стартове на българска апаратура на няколко спътници и геофизични ракети „Вертикал”, донесли ценни научни данни за изследване на йоносферата - изключително важен за живота ни слой на околоземното космическо пространство [1]. Изследванията бяха осъществени с помощта на програмата „Интеркосмос” в Централната лаборатория за космически изследвания (ЦЛКИ) при Българската академия на науките (БАН), прераснала след редица преобразувания и реформи в Институт за космически изследвания и технологии (ИКИТ) през 2012 г.

Международната програма „Интеркосмос” предостави възможност на България (както и на всички страни от бившия социалистически лагер) да участва в космическите изследвания със своя научна апаратура, като използват безвъзмездно руската космическа техника и съоръжения - спътници, ракети, стартови площадки и др. Тази програма позволи и на малки страни като нашата, които нямат възможност за собствени полигони, да разработят свои уреди

за директни измервания от борда космически апарати за изследвания в желаната от тях област [2].

Организатори и ръководители на българското участие в програмата „Интеркосмос" бяха изтъкнатите учени – академиците Любомир Кръстанов (Председател на БАН през периода 1964–1968 г.) и Кирил Серафимов, Председател на новосъздадения Национален комитет за изследване и използване на космическото пространство.

Основните научни направления на изследванията по програмата бяха в областта на космическата физика, космическата метеорология, космическите съобщения, космическата биология и медицина. През 1975 г. бяха включени и Дистанционните методи за изследване на Земята от космоса, които се развиха и у нас под ръководството на акад. Димитър Мишев. Във всяко от споменатите направления бяха създадени Постоянно действащи работни групи (ПДРГ) от учени и специалисти на сътрудничещите си страни. На ежегодни сесии те обсъждаха научни, технически и организационни въпроси, свързани с подготовката на новите експерименти в космоса, а така също докладваха научните резултати от вече проведените експерименти.

През 1976 г. бе взето решение по програмата „Интеркосмос" да бъде изпратен безплатно в околоземна орбита по един космонавт от всяка страна на едноседмични мисии на борда на Орбиталната станция „Салют-6" (9 международни екипажа до 1981 г.). Така през 1979 г. бе осъществен полетът и свързаната с него научна програма на първия българин в космоса и България стана шеста в света със свой космонавт. А учените от БАН реализираха първата мащабна Национална научна програма за космически изследвания със своя собствена апаратура по време на пилотируеми полети, където участието на космонавта е решаващо.

По програмата „Интеркосмос" до края на съществуването ѝ бяха изстреляни общо 25 изкуствени спътника на Земята от серията „Интеркосмос", 11 изследователски геофизични ракети „Вертикал", както и редица други спътници (Прогноз, Метеор и т.н.). В рамките на почти четвърт век на това ползотворно сътрудничество и България участваше активно и учените от БАН имаха значителни постижения – двама космонавти и няколко национални програми с десетки научно-изследователски апаратури на различни носители.

Полетът на първия космонавт на България

Първият български космонавт Георги Иванов полетя на борда на космическия кораб „Съюз-33" в екипаж с руския космонавт Николай Рукавишников, командир на кораба, летял вече два пъти в космоса (Фиг. 1). Изстрелването е осъществено на 10 април 1979 година от космодрума „Байконур" при тежки атмосферни условия - силен вятър и пясъчна буря.

Стартът на кораба е в 20:34 часа, като дубльорите Юрий Романенко и Александър Александров, са подготвяни паралелно до последния момент. Нелеката подготовка и на двата екипажа започва година преди старта в Звездното градче край Москва.

През първото денонощие всичко е нормално, направени са 17 обиколки на Земята съгласно програмата на полета. На 9 km от ОС „Салют-6" е включена радиосистемата за сближаване и стиковка, която е „прихванала" станцията и е повела „Сатурните" (позивната на екипажа) към скачване. На 4 km от станцията за 6 s е включен основният двигател за скачване след получаване на команда от Центъра за управление на полети (ЦУП). Но след 3 s той спира да работи... Приближили са се по инерция до станцията и отново са опитали да включат двигателя, но той отново се е изключил сам, а екипажът на станцията Владимир Ляхов и Валерий Рюмин сигнализират, че пламъкът на агрегатния отсек е отстрани и явно двигателят е повреден. Главнокомндващият Алексей Елисеев дава нареждане от ЦУП да не се правят повече опити за включване на двигателя, космонавтите на „Съюз-33"да свалят скафандрите и да почиват. Но каква почивка при мисълта, че стиковката е невъзможна и при повреден двигател полетът им е авариен и завръщането им на Земята е под въпрос [3] ?! Още повече, че на Н. Рукавишников му се случва за втори път да има проблеми със скачването...

Завръщането е не по-малко драматично, тъй като и резервният двигател се оказва не съвсем в ред... Той трябва да се изключи автоматично след 188 sec, за да кацнат с нормална скорост в определения район. Но двигателят не изключва и се налага светкавично да се вземе решение за ръчното му изключване след 25 s. Това води до режим на изключително натоварващото балистично спускане (което се случва за пръв път с кораб „Саюз"), при което претоварването достига до 8–10 g [4]! Почернялата от пламъците нагоряла обшивка на спускаемия апарат още може да се види в Музея на авиацията в Крумово (Пловдивско), където е изложена капсулата на „Союз-33". Това кацане ще остане паметно в историята на космонавтиката и определено допринесе за развитието ѝ. Следващият полет по програмата „Интеркосмос" е отложен с една година и е създаден нов тип по-усъвършенствани кораби. Корабът „Союз-32", който трябваше да върне основния екипаж Ляхов и Рюмин е свален празен и след подобренията към ОС „Салют-6" за тях е изпратен „Союз-34" [5].



Фиг. 1. а) Първият български космонавт Георги Иванов; б) В екипаж с руския космонавт Николай Рукавишников в кабината на кораба „Союз-33”

Това събитие е с изключително голяма историческа значимост за България, която изгражда и утвърждава авторитета си на нация техническа в най-новата и перспективна област на развитие на човечеството – космическите изследвания. И трябва да се говори и пише за него, за да се помни от поколенията, да повдига националното ни самочуствие и да се гордеем с постиженията на предшествениците си [6]!

Научната програма

Много усилия и средства бяха вложени в изготвянето на Националната научна програма за полета на Георги Иванов, както и за разработката на целия комплекс с научната апаратура [7]. Бяха планирани и подготвени изследвания в четири основни направления на космическите изследвания, в които българските учени имаха традиции и потенциал, като някои от тях се създадоха във връзка с изпълнението на програмата с космонавта:

- Космическа физика - с апаратурата “Дъга” за измерване на собствените атмосферни емисии в екваториалната и полярната област;
- Дистанционни методи за изследване на Земята - с апаратурата “Спектър-15К” за измервания на природни образувания в инфрачервената област;
- Космическа медицина - с апаратурата “Средец” за психофизиологична оценка на състоянието на екипажа;
- Космически технологии - експерименти „Пирин” за изясняване влиянието на безтегловността върху свойствата на материалите - бяха изпратени ампули с наши материали за изучаване на израстването на цинкови кристали по наши технологии. Получените полупроводникови селен-телурови капки с формата на лещи щяха да се използват в бързо развиващата се у нас лазерна техника.

Апаратурата „Дъга”

Известно е, че околоземното космическо пространство е огромен резервоар от енергия, чийто източник е късовълновата слънчева радиация, при поглъщането на която от атмосферните газове се получава голямо количество йони и електрони, които акумулират голяма част от пристигналата в газовете енергия. Значително количество от тази енергия се излъчва под формата на светлина във всички посоки при възстановяването на неутралните атоми и молекули. Тази именно светлина („собствена атмосферна емисия” или „светене на нощното небе”) отдавна представлява съществен интерес за изследване от българските учени.

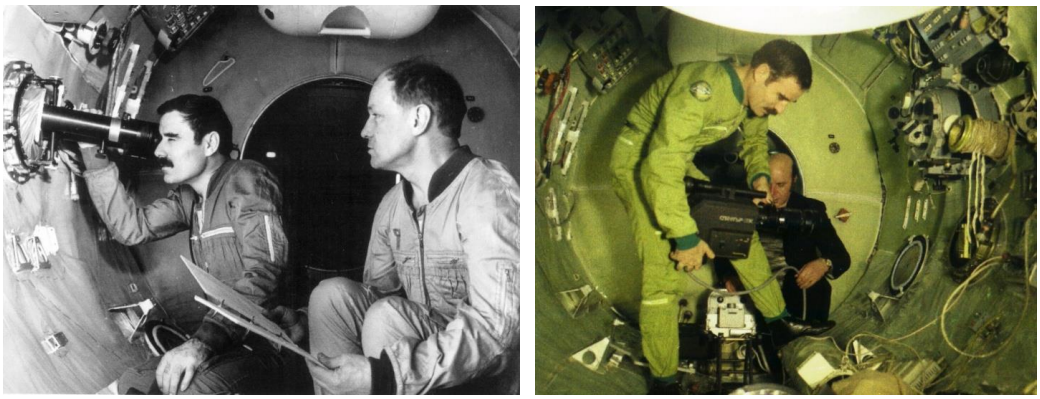
Още космонавтите от първия екипаж на „Салют-6” Юрий Романенко и Георгий Гречко са забелязали при пресичането на магнитния екватор през нощта ярко светене на атмосферата на височина между 250 и 400 km над земната повърхност. Подобно явление не е било наблюдавано дотогава от нито един космически екипаж. Спешно от Земята с един от товарните кораби „Прогрес” са изпратени два оптически филтъра за визуално наблюдение и високочувствителна астрономическа фотолента за фотографиране на явлението.

Тридесетсекундните фотоекспонации са показали съществуването на втори слой осветен в зелено на височина около 100 km.

Идеята за създаването на апаратурата „Дъга” е на проф. Митко Гогошев, ръководител на Базовата обсерватория в Стара Загора към ЦЛКИ, който предложи да се монтира фотометър на един от илюминаторите на ОС „Салют-6” за регистриране на естествените светлинни излъчвания. Идеята за „Дъга” не е дошла случайно: първите български електрофотометри са разработени още през 1968 г. за наблюдение от Земята. По-късно е разработена по-сложна апаратура за работа в космоса, като първия двуканален ракетен фотометър бе изстрелян на геофизичната ракета „Вертикал-6” през 1977 г. Първият спътников електрофотометър ЕМО-1 с водещ инж. Ненчо Петков бе изстрелян на борда на автоматичната орбитална станция АУОС „Йонозонд-Интеркосмос-19” на 27.02.1979 г. (заедно с поредния българския сондов прибор П-4).

По своите възможности и качества апаратурата „Дъга” е нов връх в българското космическо приборостроене. Предназначена е за регистриране на емисиите на кислородния атом при преминаването му от възбудено в неутрално състояние, с дължина на вълната 557,7 nm (зелена линия) и 630 nm (червена). Конструктивно се състои от два блока: "Дъга ОМ" – фотометричен с водещ инж. Стоян Съргойчев и "Дъга РД" - за регистрация на данните –“ инж. Бончо Пеев. Фотометърът ОМ се състои от фотоумножител, постояннотоков усилвател, високоволтово захранване, както и оптика, механична конструкция и оптичен визьор за насочване към явлението от страна на оператора-космонавт. Блок РД за пръв път записва данните на магнитен носител (касета).

Апаратурата е автоматизирана във висока степен, но ролята на космонавта работещ с нея съвсем не е малка, поради което се наложи методиката на експериментите предварително да бъде „проиграванa” на специална тренировъчна апаратура в тренажер на станцията (Фиг. 2а).



Фиг. 2. Наземна тренировка на екипажа на „Союз-33” в тренажера на станцията „Салют-6” в Звездното градче: а) с фотометъра „Дъга” и б) с апаратурата „Спектър-15К”

Научните експерименти, които трябваше да бъдат осъществени на орбиталния комплекс „Салют-6” - „Союз-33” с помощта на фотометъра „Дъга” са:

- Екватор - изследване от борда на светене на високата атмосфера над магнитния екватор и екваториалните дъги във F-областта на йоносферата, свързани с йоносферни екваториални аномалии;
- Полюс - изследване на вертикалната структура на полярните сияния;
- Емисия - измерване на широчинното разпределение на интензивността на основните линии в спектъра на собственото светене на високата атмосфера;
- Светене - изследване на спектъра на светещите средноширотни дъги, с цел да се разбере по-добре физиката на явлението светене на височина около 400 km.

Апаратурата „Спектър-15К”

Апаратурата „Спектър-15К” е предназначена за получаване на многоспектрални данни на различните природни образувания и явления както от борда на космически кораб в орбита, така и от борда на орбитална станция или самолет-лаборатория. По този начин съществено се повишава качеството на информацията, увеличават се възможностите за разпознаване и класификация на различните обекти и явления.

Големи са възможностите на разработената от българските учени, инженери и конструктори, под научното ръководство на акад. Димитър Мишев, първа система „Спектър-15К” за наблюдение на Земата от борда на „Салют-6” (фиг. 3а). С нейна помощ могат да бъдат изследвани и регистрирани множество дължини на вълните в близкия инфрачервен диапазон на електромагнитния спектър. Водещ инженер на системата „Спектър-15К” бе ст.н.с. Стефан Ковачев и тя работи и самостоятелно, и съвместно с други апаратури, като например многоспектралната камера МКФ-6М. Главните предимства на системата спрямо предшестващите я е, че регистрира данните в цифров вид на магнитна лента с възможност за директно въвеждане в ЕИМ за анализ и изводи.

Дистанционното изследване на Земята от космоса, за което е предназначена системата „Спектър-15К”, дава възможност за: наблюдения, измервания, регистрация на енергетичните и поляризационни характеристики на собственото и отразеното излъчване от сушата, океана, атмосферата в различните обхвати на електромагнитния спектър. Със системата може да се определи местоположението, да се опише характерът и временната динамика или изменение на естествените природни параметри и явления, на природните ресурси на Земята, на околната среда и антропогенните обекти и образувания.



Фиг. 3. а) Апаратурите „Спектър-15К” с блока за регистрация на данните в цифров вид на магнитна лента и б) Апаратурата „Средец” за био-медицински изследвания

И днес у нас се отдава голямо значение на развиващите се направления на дистанционните аеро- и космически методи за изследване на Земята и разработването на прецизна експериментална апаратура за спътникови, самолетни и полигонни изследвания, както и разработването на методи за обработване на спектрални отражателни характеристики и извършването на класификации въз основа на тях.

Комплексът апаратура и на „Спектър” бе автоматизиран, но подготовката на космонавтите работещи с нея съвсем не бе лека и се наложи водещия инженер Ст. Ковачев да разработи Инструкция за провеждане на наблюденията и да участва пряко в предварителните изпитания в тренажер на станцията (Фиг. 2б).

Планирано е провеждането на 8 вида експерименти за Дистанционни изследвания на Земята от Космоса с помощта на „Спектър-15К”:

- Ореол - наблюдаване на залеза и изгрева на Слънцето, на нощния и дневния хоризонт на Земята с цел изследване на физическите процеси в атмосферата;
- Контраст - изследване измененията в честотните свойства на функцията на предаване на атмосферата в зависимост от замърсяването на големите промишлени центрове в близост до водни басейни;
- Атмосфера - определяне функцията на предаване на атмосферата от Космоса и изследване на оптичните й характеристики, измервайки ъгловата структура на излъчване и спектралната яркост на Земната повърхност;
- Илюминатор - точно количествено определяне на изменението по време на спектралната характеристика на пропускане на илюминаторите на станцията;
- Хоризонт - наблюдение върху изгрева и залеза на Слънцето и върху дневния хоризонт и последователно фотографиране на 2 симетрични точки на слънчевия меридиан;
- Терминатор - изследване на високата атмосфера;
- Биосфера-Б - събиране на информация за нуждите на геологията, геоморфологията, горското и селското стопанство, данни за замърсяването на атмосферата, сушата и водата;
- Балкан - фотографиране и спектрометриране на различни природни обекти на територията на България.

Покрай подготовката на научната програма на полета Георги Иванов навлезе в изследователската дейност на ЦЛКИ толкова навътре, че защити по-късно докторска дисертация в областта на използването на специализираните самолети-лаборатории при дистанционните методи за изследване на Земята (с научен консултант акад. Димитър Мишев).

За тогавашното време българските прибори бяха наистина уникални. Например до създаването „Спектър-15К", подобна функция изпълняваше немската камера МКФ със 6 канала, а нашият „Спектър" имаше 15 канала. Освен това камерата записваше данните от фотографиите на обикновена фотографска лента, докато нашият прибор записваше вече на магнитна лента в цифров вид, което беше качествено ново стъпало. И ако немската камера имаше обем малко повече от печка Раховец, нашият „Спектър" тежеше само 12 kg.

Трябва с гордост да подчертаем, че много широко приложение в рамките на програмата „Интеркосмос" получи разработената у нас серия апарати за експресно измерване на спектралните отражателни характеристики на природни образувания и явления. Тези апарати работиха безупречно, като нито един от тях не отказа в космоса и доставиха ценни данни не само за нас, но и за учените от целия свят.

Апаратурата „Средец"

Особено високи са изискванията към психофизиологичните функции и интелектуалните процеси на комонавтите. Поради това обективното им и динамично изследване по време и след полета има важно значение за диагностициране и прогнозиране работоспособността и надеждността на космонавтите. Във връзка с това по време на космическия полет с участието на първия български космонавт бе планирано провеждането на био-медицински експерименти с помощта на апаратурата „Средец" (Фиг. 3б). Научни ръководители са проф. Кирил Златарев и д-р Георги Радковски от Военно-медицинска академия, а водещи инженери за разработката на апаратуратао – ст.н.с. Стефан Чапкънов и инж. Евгени Пандов от ЦЛКИ.

Задачите на експериментите са да се оцени динамиката на умствената работоспособност на човека в процеса на приспособяване към условията на микрогравитация, да се получат данни за влиянието на факторите на полета върху комплекс от психофизиологични функции и качества (мислителни процеси и работоспособност, внимание, оперативна памет, психо-емоционална устойчивост и др.), които имат важно значение за операторската дейност. Чрез тези изследвания се цели да се решат както някои фундаментални въпроси на космическата психофизиология, така и практически приложни задачи като разработването на експресни критерии за оценяване на състоянието на космонавтите, подобряване на методиката за техния подбор и др.

Предвидени са общо 6 био-медицински експеримента с помощта на апаратурата „Средец":

- Оператор - за оценка на динамиката на умствената работоспособност;
- Доза - за изследване на разпределението на дозата в различни части на ОС;
- Рецептор - за изследване на вкусовите възприятия на човека в условия на микрогравитация;
- Опрос - продължаване на медикопсихологичните експерименти, започнати още с първия международен екипаж за усъвършенстване на подготовката на космонавтите;
- Почивка - за усъвършенстване организацията на отдиха на космонавтите при дълготрайни полети;
- Време - изследване на динамиката на субективното чувство за време на членовете на екипаж.

Заключение

Голямо беше разочарованието на българските учени, изработили апаратура за толкова сериозна научна програма, когато разбраха, че поради отказ на основния двигател, достигналият на няколко километра от ОС „Салют-6" кораб „Союз-33" не може да се скачи с нея и част от апаратурата няма да бъдат доставени на борда й, а ще изгори... Но за щастие по-късно липсващата апаратурата бе изпратена на ОС с товарния кораб „Прогрес-6" (на 15.05.1979 г.). С българската апаратура работиха космонавтите от основния екипаж, както и от всички международни екипажи, посетили „Салют-6" по програмата „Интеркосмос" до 1981 г. Поради получените добри резултати е решено „Спектър-15К" да бъде щатна апаратура на следващата ОС „Салют-7".

Това участие беше изключително важно за подготовката на българските учени и специалисти – разработчици на научната апаратура и „генерална репетиция" за осъществяването на Националната програма "Шипка" реализирана през 1988 г. на ОС "МИР" по

време на полета на втория български космонавт Александър Александров. Междувременно беше изпълнена успешно и Националната програма „България-1300” (през 1981 г.) за изследвания с разработена от учените на БАН апаратура за два спътника – в областта на Космическата физика и Дистанционните методи [8].

Успешно бе и участието им международните програми за изследване на другите планети от Слънчевата система („Венера-Халей” – 1984 г. и „Фобос-1, 2” – 1988 г.).

И днес българските учени са търсени и желани партньори, чиито приноси са известни и признати. Те участват във високо-технологични проекти за дистанционно изследване на Земята, за създаването на нови материали и нанотехнологии, на биотехнологии за първия полет на човека до Марс, за измерване на дозите радиация по време на този полет, за разработка на аерокосмическа техника по програми на ЕС и НАТО. Сега големите ни проекти и надежди за финансиране са във включването ни като равностойни партньори в новите програми на ЕС и ЕКА.

Литература:

1. Иванова, Т. За началото на космическото приборостроене в България. Наука, том XXII, 6, 2012, с. 23–28.
2. Серафимов, К. Космические исследования в Болгарии. Изд. БАН, София, 1979, 448 с.
3. Иванов, Г. Полети, Записки на космонавта. Военно издателство, София, 1981, 215 с.
4. Иванов, Г., Време за полети. Народна младеж, София, 1987, 366 с.
5. Мировая пилотируемая космонавтика, История, Техника, Люди. Под ред. Ю.М. Батурина, Изд. РТСофт, Москва, 2005, 747 с.
6. Димитрова, Б. Разговор с първия космонавт на България, 35 юбилей. ДЕМАКС-АД, София, 2014, 96 с.
7. Мишев, Д. Космическите изследвания в България, Хора, факти и документи. Акад. Изд. „Марин Дринов София, 2004, 247 с.
8. Иванова, Т. 30 години космическа програма „България - 1300”. Наука, том XXII, 1, 2012, с. 61–67.

INTERNATIONAL SPACE STATION RADIATION FIELD MEASUREMENTS BY LIULIN-SET SPECTROMETER OF ARMAS FLIGHT MODULE 9 IN 2022

Kent Tobiska[1,2], Brad Gersey[1,3], Leonid Didkovsky[1], Kevin Judge[1], Seth Weiman[1], Dave Bouwer[1], Justin Bailey[1], Tsvetan Dachev[4], Borislav Tomov[4], Yury Matviichuk[4], Plamen Dimitrov[4], Malina Jordanova[4], Mityo Mitev[4], Nikolay Bankov[4], Jordanka Semkova[4]

[1]Space Weather Division, Space Environment Technologies, Los Angeles, CA, USA
[2]Now at Space Environment Technologies, Los Angeles, CA, USA
[3]Department of Electrical Engineering, Prairie View A. & M. University, Prairie View, TX, USA
[4]Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria
e-mail: tdachev59@gmail.com

Keywords: *space radiation, Liulin spectrometers, International Space Station, dosimetry, spectrometry*

Abstract: *Liulin-SET spectrometer-dosimeter is part of the Automated Radiation Measurements for Aerospace Safety (ARMAS) flight module number 9 (FM9).*

ARMAS FM9 was launched on February 19, 2022 and operated outside of the Japanese Experimental Module of the International Space Station for 216 days from March until December 2022, measuring the ionizing dose and LET spectrum.

The goal of this paper is to present, in brief, a preliminary analysis of the Liulin-SET data and to compare them with the data from another Liulin instrument, the R3DR2, that flew outside the Russian segment of the International Space Station inside the ESA EXPOSE-R2 module in 2014–2016.

ИЗМЕРВАНИЯ НА РАДИАЦИОННОТО ПОЛЕ НА МЕЖДУНАРОДНАТА КОСМИЧЕСКА СТАНЦИЯ НАБЛЮДАВАНО ОТ СПЕКТРОМЕТЪРА LIULIN-SET ОТ МОДУЛА ARMAS 9 ПРЕЗ 2022 Г.

Кент Тобиска[1,2], Брад Джърси[1,3], Леонид Дидковски[1], Кевин Джъдж[1], Сет Уайман[1], Дейв Бауър[1], Джъстин Бейли[1], Цветан Дачев[4], Борислав Томов[4], Юрий Матвийчук[4], Пламен Димитров[4], Малина Йорданова[4], Митьо Митев[4], Николай Банков[4], Йорданка Семкова[4]

[1]Отдел космическо време, Космически технологии, Лос Анджелис, Калифорния, САЩ
[2]Сега в Технологии за космическа среда, Лос Анджелис, Калифорния, САЩ
[3]Катедра по електротехника, А. & М. Прерия Вю Университет, Прерия Вю, Тексас, САЩ
[4]Институт за космически изследвания и технологии, Българска академия на науките
e-mail: tdachev59@gmail.com

Ключови думи: *космическа радиация, спектрометри Люлин, Международна космическа станция, дозиметрия, спектрометрия*

Резюме: *Спектрометърът дозиметър Люлин-СЕТ е част от полетния модул номер 9 (FM9) на автоматизираните системи за радиационни измервания за аерокосмическа безопасност (ARMAS).*

ARMAS FM9 беше изстрелян на 19 февруари 2022 г. и работи извън японския експериментален модул на Международната космическа станция в продължение на 216 дни от март до декември 2022 г., измервайки дозата и потока на космическата радиация.

Целта на тази статия е да представи накратко част от предварително обработените данни от Люлин-СЕТ и да ги сравни с данните от друг инструмент от серията Люлин, инструмента R3DR2, летял извън руския сегмент на Международната космическа станция вътре в модула на ESA EXPOSE-R2 през 2014–2016 г..

Introduction

The ionizing radiation field around the International Space Station (ISS) is very complex. It is composed of galactic cosmic rays (GCR), trapped radiation of the Earth's radiation belts, solar energetic particles, albedo particles from the Earth's atmosphere and secondary radiation, produced in the shielding materials of the spacecraft or space suits of the astronauts.

Both, the radiation field and the shielding of the surrounding material [1], affect the absorbed dose outside the spacecraft. In the low Earth orbit (LEO), the radiation dose also depends on other factors, such as the spacecraft orbit parameters, solar cycle phase and current helio- and geophysical parameters.

The dominant radiation component in the space environment near the Earth are the galactic cosmic rays (GCR), modulated by the solar activity. High-energy charged particles are trapped by the Earth's magnetic field and form the two distinct belts of toroidal shapes surrounding the Earth: the Inner Radiation Belt (IRB) and the Outer Radiation Belt (ORB). The IRB is situated at an altitude from 0.2 to 2.0 Earth radii at the geomagnetic equator and consists of electrons, with energies of up to 10 MeV, and protons with energies of up to 700 MeV. The ORB is located in the altitudinal range from 3.4 to 10 Earth radii. The ORB energetic population are electrons with energies of a few MeV.

The first observations of the ORB relativistic electron fluxes in the ISS were made in 2001 with Liulin-E094 instrument on the American laboratory module [2, 3]. Later, ORB relativistic electron fluxes were observed with Liulin type instruments flying again on the ISS and on LEO satellites.

The Goal

The goal of this paper is to present, in brief, a preliminary analysis of Liulin-SET data and to compare them with the data from another Liulin instrument, the R3DR2 instrument [4]. The latter flew outside the Russian segment of the ISS inside the ESA EXPOSE-R2 module [5].

Material and Method

Liulin-SET spectrometer

Liulin-SET instrument was developed under request from Space Environment Technologies (SET) Limited Liability Corporation (LLC) Chief Scientist, Dr. K. Tobiska.

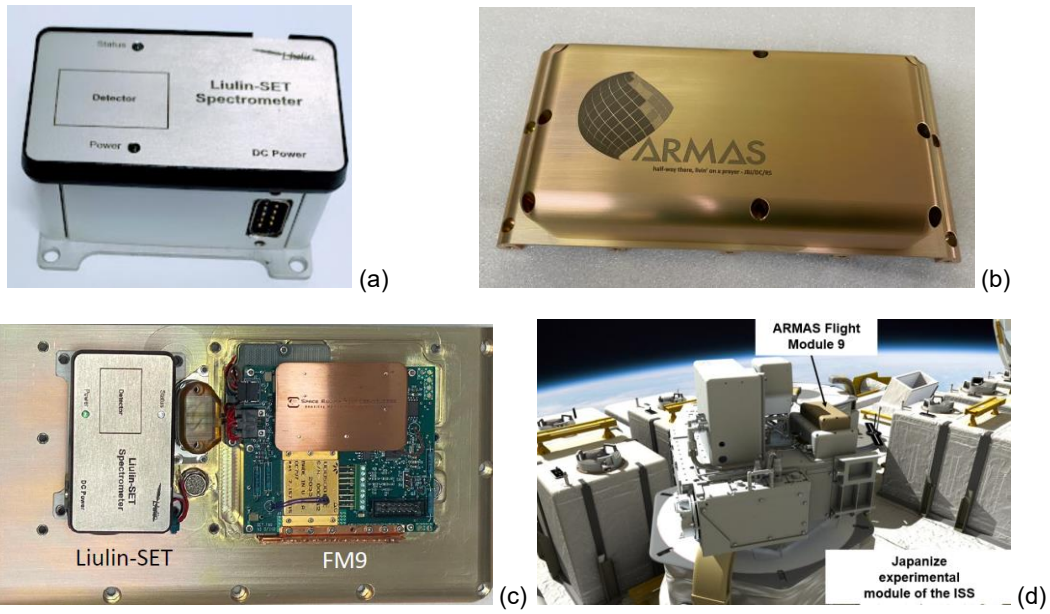


Fig. 1. Liulin SET (a) and ARMAS (b) – outside views, (c) inside the ARMAS – Liulin SET and FM9, (d) schematic presentation of the ARMAS position outside the Japanese experimental module

Liulin-SET is part of the Automated Radiation Measurements for Aerospace Safety (ARMAS) flight module number 9 (FM9). More information is available at https://spacewx.com/wp-content/uploads/2021/05/FM9-overview.pdf. ARMAS FM9 was launched on February 19, 2022. It operates outside of the Japanese Experimental Module (JEM) of the ISS from March until December 2022 for 216 days, measuring the ionizing dose and LET spectrum [6].

The design of the portable spectrometer Liulin-SET is not a new one. Various Liulin spectrometers flew in space since 1989 [7]. Three Liulin battery operated units took part in certification flight of the NASA Deep Space Test Bed (DSTB) balloon [8] on June 8, 2005. The NASA RaD-X mission [9] used a Liulin in September 2016, too. Similar to Liulin-SET instruments flew inside the ESA EXPOSE-E/R/R2 platforms [4].

Liulin-SET spectrometer-dosimeter contains one silicon-PIN diode of Hamamatsu S2744-08 type (2 cm^2 area and 0.3 mm thickness), one ultra-low noise charge-sensitive preamplifier of AMPTEK A225 type, 2 microcontrollers, 64 MB flash memory. After passing a charge-sensitive preamplifier, the signal is digitized by a 12-bit fast analogue to digital (A/D) converter.

The Liulin-SET dimensions are 78x60x37 mm. The total mass is 0.16 kg. The black plastic bezel is made by polycarbonate, which is widely used in space applications. The front panel is lightweight from the backside down to 0.7 mm aluminum. This allowed registration of relativistic electrons from outer radiation belt (ORB) [10].

The Liulin-SET uses 28 VDC and has an insulated DC/DC converter for transforming 18–36 V DC input to 12 V DC internal. A 3.0 V DC battery supplies power to the internal real time clock-calendar and is independent of the external power supply after the first initialization.

The Liulin-SET spectrometer is situated inside of the ARMAS FM9 module (Fig. 1), which is developed by the Space Environment Technologies LLC. The FM9 module provides to Liulin-SET 28 V, 10 mA voltage from the Japanese experimental module.

The spectrum together with information for the real time is saved in the flash memory of the instrument. The capacity of the memory of Liulin-SET is sufficient for the storage of 390 days non-stop compressed spectra with 10 sec exposition time.

Determination of the dose

The doses (deposited energies) are determined by a pulse height analysis technique and then passed to a discriminator.

According to AMPTEK A225 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 incoming particles and quanta are transformed into digital signals that 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. All pulses in the 256^{th} channel are considered equal to the minimum energy level for this channel and were added to the dose calculation. Using a statistics of about 2.5 million 10-s data points from the R3DE instrument that flew on the ISS in 2008–2009, 1 event in the 256^{th} channel occurred, on average, once per 6.2 h of measurements.

The Data

Lillian-SET starts to work with the time from the clock-calendar at each switch ON of the external voltage of ±28 V.

In the period March 17 - December 9, 2022, sixty switch ONs were registered. The available in the flash memory 60 files contain data with different length of the registrations - from several minutes to over 1.5 months.

Results and Discussion

Verification of the Radiation Sources Selection Procedure for Liulin-SET

The following four primary radiation sources were expected to be registered in the data of Liulin-SET:

(i) Globally distributed primary GCR particles and their secondary products,

(ii) Protons in the South Atlantic Anomaly (SAA) region of the IRB;

(iii) Relativistic electrons and/or bremsstrahlung in the high latitudes of the ISS orbit where the ORB is situated, and

(iv) Solar energetic particles (SEP) in the high latitudes of the ISS orbit.

The first three sources were registered. Unfortunately, SEP events were not observed in the Liulin-SET data.

While analyzing Liulin space data, we use three methods for separation of the radiation sources.

The first method is the separation based on the dose to flux (D/F) ratio calculations. It was developed experimentally by J. W. Haffner [11], Dachev et al. 2017 [4] recently described the method

that is why we will not go into details here. According to the formulae, published in [4, 11] the data can be simply split into two parts by using the dose to flux ratio (D/F). When the D/F is less than 1.12 nGy cm^2 particle^{-1}, the expected predominant type of radiation in the time interval are relativistic ORB electrons. When the D/F is greater than 1.12 nGy cm^2 particle^{-1}, the expected type of radiation are IRB or SEP protons. The GCR source spans the two ranges. The GCR source was identified also by the requirements that their dose rates to be less than 15 μGy h^{-1}.

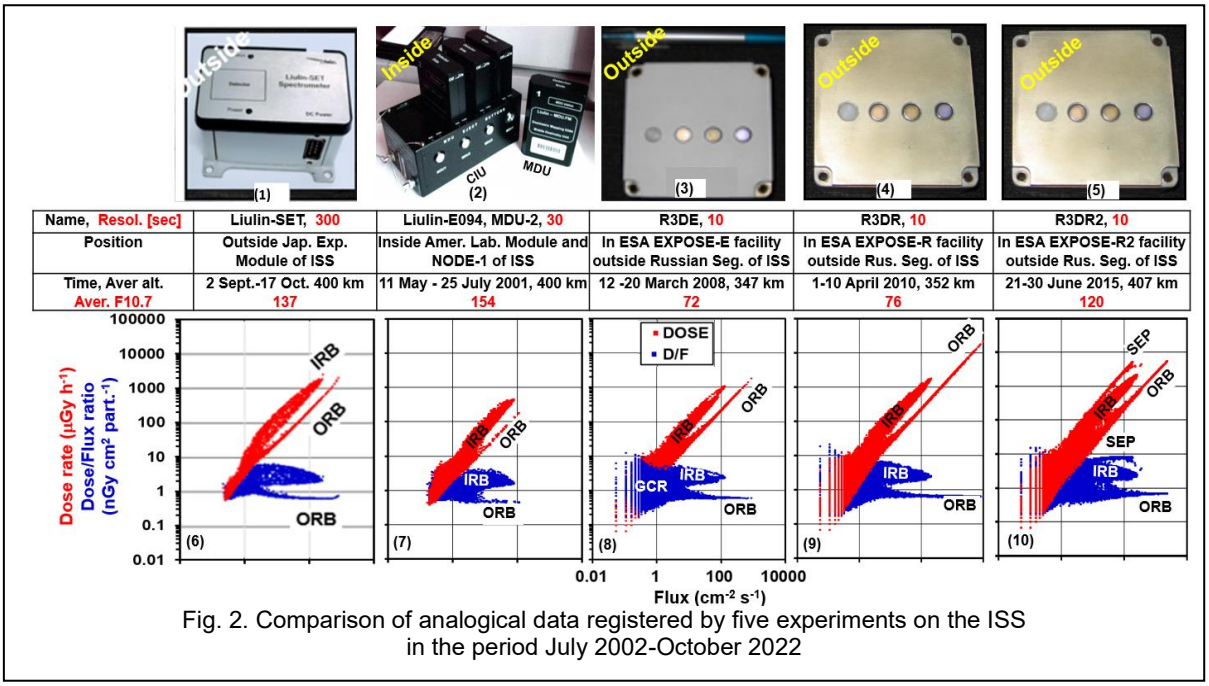
Radiation sources selection by the dose rate from flux and dose to flux (D/F) from flux dependencies

The second method is the separation by the dose rate from flux and dose to flux (D/F) from flux dependencies. To verify this method for Liulin-SET, we have presented the data from Liulin-SET together with data from another four Liulin type instruments, flown between 2001 and 2015 on the ISS.

The Mobile Radiation Exposure Control System Liulin-E094 was part of the experiment Dosimetric Mapping E094. It 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 [2]. The system consists of four Mobile Dosimetry Units (MDU) and one Control and Interface Unit (CIU). MDU number two (MDU-2) data are used in this study.

The European Space Agency (ESA) EXPOSE-E, EXPOSE-R and EXPOSE-R2 facilities [4, 5], accommodated three Bulgarian-German Radiation Risk Radiometer-Dosimeters (R3D). R3DE instrument was used at the EXPOSE-E facility on the Columbus module of ISS in 2008–2009. R3DR spectrometer [7] worked at the EXPOSE-R facility of ISS from 2009 to 2010. R3DR2 is the same instrument. It was part of EXPOSE-R2 facility on the ISS from 2014 until 2016 [4]. The extension “R2”, the same as for the EXPOSE-R2 facilities, is used to distinguish its data from the results of the previous mission with R3DR instrument.

On Fig. 2 Liulin-SET data are compared with data registered at the ISS by the above mentioned instruments. There are three rows of figures and one table in Fig. 2. The first row visualizes the external views of the instruments, i.e. Liulin-SET, Liulin-E094, R3DE, R3DR and R3DR2.



Name, Resol. [sec]	Liulin-SET, 300	Liulin-E094, MDU-2, 30	R3DE, 10	R3DR, 10	R3DR2, 10
Position	Outside Jap. Exp. Module of ISS	Inside Amer. Lab. Module and NODE-1 of ISS	In ESA EXPOSE-E facility outside Russian Seg. of ISS	In ESA EXPOSE-R facility outside Rus. Seg. of ISS	In ESA EXPOSE-R2 facility outside Rus. Seg. of ISS
Time, Aver alt. Aver. F10.7	2 Sept.-17 Oct. 400 km 137	11 May - 25 July 2001, 400 km 154	12 -20 March 2008, 347 km 72	1-10 April 2010, 352 km 76	21-30 June 2015, 407 km 120

Fig. 2. Comparison of analogical data registered by five experiments on the ISS in the period July 2002-October 2022

The second row is a table providing information for the position of the instrument, its resolution in seconds, the time interval in which the measurements were performed and average for this interval F10.7 cm Radio Flux in solar flux units.

The third row of Fig. 2 presents five graphics of the dose rate from flux and dose to flux (D/F) from flux dependencies. 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} (red points) and the dose to flux ratio in nGy cm^2 particle^{-1} (blue points). These graphics are an easy way of visualizing the four different radiation sources components expected at the stations altitudes.

In the first four graphics, the following radiation sources are observed: (1) GCR particles, (2) protons with more than 15.8 MeV energy in the SAA region of the IRB and (3) relativistic electrons with energies above 0.78 MeV. The dose rates (red points) from IRB and the IRB sources are seen as

two maxima in the diagonal of each of the first four pictures. An additional maximum from SEP particles is seen in the last column picture, presenting data from the R3DR2 instrument.

The dose to flux maxima (blue points) are situated horizontally in the pictures. The ORB D/F maxima being narrower and below the IRB maxima lies almost in all flux values below 1.12 nGy cm^2 $particle^{-1}$, which according to Haffner's formulation shows that the predominant amount of particles there are the relativistic electrons. On the opposite, the IRB D/F maxima lies in all flux values above 1.12 nGy cm^2 $particle^{-1}$, which shows that the predominant amount of particles there are energetic protons. The SEP D/F maximum in the fifth column shows D/F values larger than IRB maximum values and reveal that the protons there are with smaller energies than in the IRB maxima.

When we have analyzed the maxima distribution in the first column with Liulin-SET data, we may conclude that they have very similar shape as other three R3D data sets outside the ISS without SEP particles observation. This verifies the correctness of the dose and flux measurements with Liulin-SET.

Radiation sources selection by the shape of the deposited energy spectra

This is the third method for the separation of the radiation sources.

Fig. 3 compares the deposited energy spectra shapes visualized by Liulin-SET software (the two figures on the left) with data from R3DR2 instrument outside the ISS in 2015.

The leftmost graphic presents 40 Liulin-SET spectra obtained between 13:41 and 16:56 UTC on September 7th, 2022. ORB and GCR spectra predominate. The red points are divided in two branches. The first branch contains points distributed in five orders of the count rates (proportional to the dose rate) against the vertical axes and up to twentieth channel. This shape of spectra reveals ORB spectra with high-count rate and small-deposited energy (as from electrons), which is

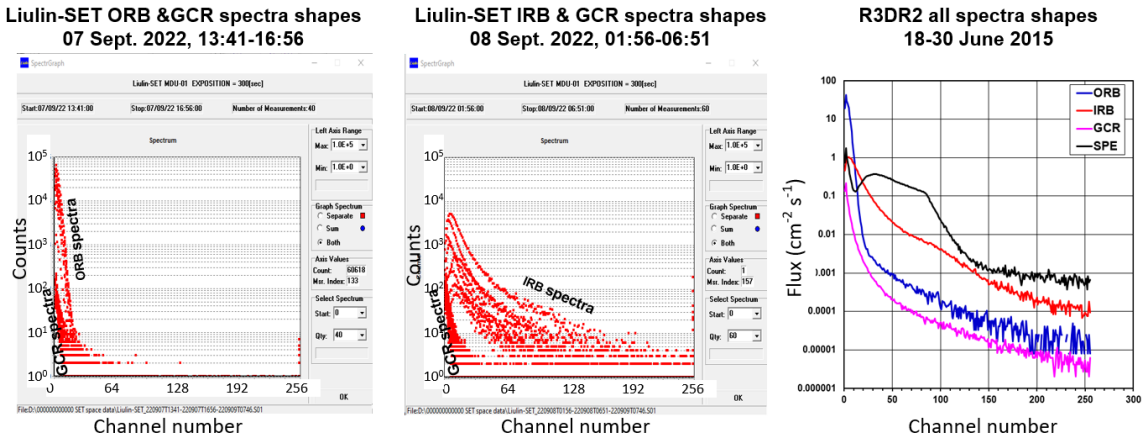


Fig. 3. Comparison of deposited energy spectra shapes of Liulin-SET (the two figures in the left) and data from R3DR2 outside the ISS in 2015

proportional to the channel number. The second branch contains points with small count rates (dose rates) distributed up to 128th channel. This shape of spectra reveals GCR spectra with small-count rate and high deposited energy.

The central graphic presents 60 Liulin-SET spectra obtained between 01:56 and 06:51 UTC on September 8th, 2022. The predomination of IRB and GCR spectra is visible. As in the most left graphic, two branches exists. Well seen is a branch similar to the GCR spectra with small count rates and high channel number. The branch with high-count rates (dose rates) and high channel number (deposited energy) can be associated with the IRB spectra.

The rightest graphic illustrates the energy deposition spectra from four radiation sources registered by R3DR2 instrument outside the ISS between 18 and 30th of June 2015 during an intensive SEP [4]. The magenta spectrum is the GCR spectrum. It has similar characteristics as the GCR spectra in the left side graphic. The same is true for the IRB (red) and ORB (blue) spectra.

Comparison of the global distribution of the IRB and ORB doses and fluxes measured with R3DR2 and Liulin-SET

Figure 4 compares the global distribution of the IRB and ORB doses recorded with R3DR2 instrument, 18–30 June 2015, outside the ISS, ESA EXPOSE-R2 platform and Liulin-SET, 2 September – 27 October 2022, outside the ISS, Japanese module.

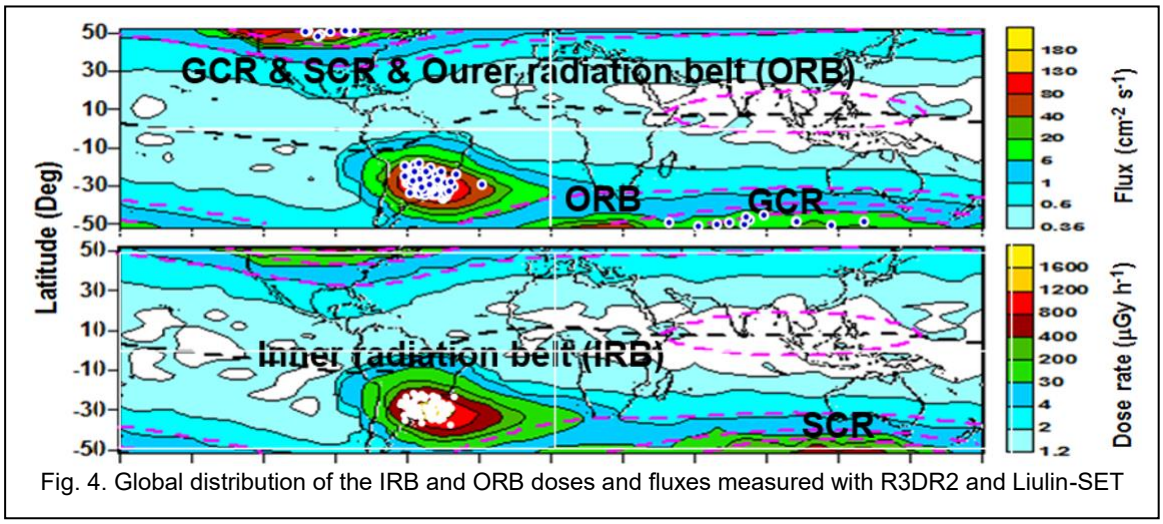


Fig. 4. Global distribution of the IRB and ORB doses and fluxes measured with R3DR2 and Liulin-SET

The basic figure is obtained by R3DR2 data in the ESA EXPOSE-R2 platform and presents in two panels the global 3D distribution of flux (upper panel) and dose rate (lover panel). The R3DR2 data are plotted according to the color bars in the right sides of the panels. The main features in the panels are the complex maxima of GCR, solar cosmic rate (SCR) or SEP and ORB radiation sources in the high latitudes of both hemispheres as well as the IRB maximum in the South Atlantic anomaly region.

Liulin-SET data are plotted by white points for the IRB dose rate >1200 μGy h^{-1} in the lower panel, while the ORB flux >80 cm^{-2} s^{-1} are marked with blue points. The Liulin-SET ORB points position in the Sothern hemisphere is shifted toward higher longitudes because of the smaller magnetic activity in 2022.

Comparison of the L-value distributions of radiation sources doses between R3DR2 and Liulin-SET

Figure 5 compares the McIlwain's L values distributions of the three radiation sources doses (GCR, IRB and ORB) between R3DR2 and Liulin-SET.

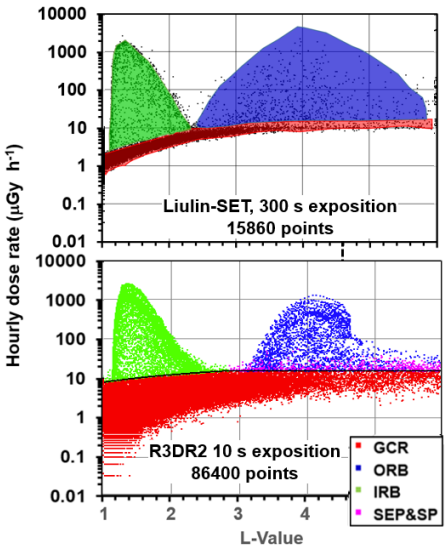


Fig. 5. Comparison of the L-value distributions of radiation sources doses between R3DR2 and Liulin-SET

The upper panel contains data from Liulin-SET in the period 2 September – 27 October 2022, outside the ISS, Japanese module, while the lower panel shows data from R3DR2 instrument in the period 11–20 December 2014, outside the ISS, inside of the ESA EXPOSE-R2 facility. R3DR2 points being almost 5 times more than Liulin-SET do not need additional color fields to separate the different radiation sources, while for Liulin-SET data we use such a fields.

The following radiation sources are seen in Fig. 5: Galactic cosmic rays (with dose rates typically <15-μGy h^{-1}) are plotted with red points in the lower part of each panel. Green points in the upper left corner of the panels are associated with high-energy protons detected when the ISS crosses the SAA region of the IRB. They are characterized by dose rate > 15 μGy h^{-1} and D/F > 1.12 nGy cm^2 $particle^{-1}$. The blue points in the center are associated with high-energy electrons from the ORB. They are characterized by dose rate > 15 μGy h^{-1} and D/F < 1.12 nGy cm^2 $particle^{-1}$ and flux >7 cm^{-2} s^{-1}. The magenta points in the lower panel visualize the distribution of the SEP high-energy protons and secondary protons with doses <20 μGy h^{-1}. In the case of Fig. 5 the magenta points are secondary protons [4].

The good coincidence between dose rates and shapes of the radiation sources in both panels of Fig. 5 allows concluding that Liulin-SET radiation sources distribution data in L-values are well separated and that the calculated values of the ISS orbit parameters are correct.

Conclusions

The preliminary analysis of the Liulin-SET data shows that the instrument is working as expected. The comparison of the Liulin-SET data with data from other instruments flown on ISS confirm that: (1) The radiation sources selection by the dose rate from flux and dose to flux (D/F) from flux dependencies is looking exactly as the selections by other four instruments; (2) Liulin-SET energy depositions spectra have the same shapes as the R3DR2 instrument shapes; (3) The positions of Liulin-SET IRB dose rate and ORB flux coincide with R3DR2 instrument positions; (4) The Liulin-SET L-value sources distributions are well separated and similar to R3DR2 instrument distributions.

Acknowledgements

The authors thank to all Bulgarian and foreign specialists and organizations that participated in the development of the Liulin instruments and in conducting and interpreting the data. The authors greatly appreciate the international partners for funding projects related to the use in space of Liulin type instruments. The authors thank to astronauts and cosmonauts aboard the manned space stations Mir and ISS for conducting experiments with Liulin equipment. The authors highly appreciate the support of Dr. Victor Benghin from the State Scientific Center of Russian Federation, Institute of Biomedical Problems, Russian Academy of Sciences, Russia for providing the information about the osculation elements of the ISS, necessary for calculation of the ISS orbit.

References:

1. Benton, E. R., Benton, E. V., Frank, A. L., & Moyers, M. F. Characterization of the radiation shielding properties of US and Russian EVA suits using passive detectors. Radiation Measurements, 41, 1191–1201, 2006.
2. Reitz, G., Beaujean, R., Benton, E., Burmeister, S., Dachev, T., … Olko, P. Space radiation measurements on-board ISS-the DOSMAP experiment. Radiation Protection Dosimetry, 116, 374–379. 2005.
3. Dachev, Ts. P., B. T. Tomov, Yu.N. Matviichuk, P.G. Dimitrov, N.G. Bankov, Relativistic Electrons High Doses at International Space Station and Foton M2/M3 Satellites. Adv. Space Res., 44, 1433–1440, 2009.
4. Dachev, T. P., Bankov, N. G., Tomov, B. T., Matviichuk, Y. N., Dimitrov, P. G., Häder, D. P. and Horneck, G., Overview of the ISS radiation environment observed during the ESA EXPOSE-R2 mission in 2014–2016. Space weather, 15(11), pp.1475–1489, 2017.
5. Rabbow, E., Rettberg, P., Parpart, A., Panitz, C., Schulte, W., Molter, F., Jaramillo, E., Demets, et al. EXPOSE-R2: the astrobiological ESA mission on board of the International Space Station. Frontiers in Microbiology, 8, p.1533, 2017.
6. Tobiska, W. K., Justin Bailey. Automated Radiation Measurements for Aerospace Safety Aeronautical Regional Geospatial Observer System (ARMAS ARGOS), April 21, 2023; https://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u97/Baily%20Tobiska%20ARMAS%20ARGOS%20talk%20Tobiska%20Bailey.pptx_.pdf
7. Dachev, T. P., Semkova, J. V., Tomov, B. T., Matviichuk, Y. N., Dimitrov, P. G., Koleva, R. T.,…Kubancak, I. N. Overview of the Liulin type instruments for space radiation measurement and their scientific results. Life Sciences and Space Research, 4, 92–114, 2015.
8. Benton, E., Deep Space ICCHIBAN: An International Comparison of Space Radiation Dosimeters aboard the NASA Deep Space Test Bed. 10th Workshop for Radiation Monitoring on ISS, Chiba, Japan, 7-9 September 2005. https://wrmiss.org/workshops/tenth/pdf/08_benton.pdf
9. Mertens, C.J., Overview of the radiation dosimetry experiment (RaD-X) flight mission. Space Weather, *14*(11), pp. 921–934, 2016.
10. 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, 247–256, 2018.
11. Haffner, J. W. Radiation and shielding in space. NY: Academic Press, 1967.

SEISMOLOGICAL INSTRUMENTS FOR SPACE RESEARCH

Edelvays Spassov

Kinemetrics, Inc., Pasadena, CA, USA
e-mail: espassov@yahoo.com

Keywords: *Seismological Instruments, Space, Mars, Moon*

Abstract: *Seismological equipment is sensitive and complex. It is even harder and more complicated if sending such instruments out in Space. Based on the instrumentation success during the NASA' InSight (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport) mission to Mars in 2018–2021, here we present some of the specific features and achievements of the equipment on that mission. Some interesting results of the deployment of the seismic instruments on Mars will be presented as well. Now NASA has planned new missions such as lending on the far side of the Moon and on the Jupiter icy moon Europa (possibly the best chance of finding life in the Solar System). The instruments requirements for such missions are even more stringent and some of the initial steps of improving the seismic instruments for the new space trips will be presented.*

Introduction

Our understanding and knowledge about the Earth and the space have increasing improved through the years. This progress has accelerated significantly in the recent times, supported by similarly significant advances in both science and instrumentation.

Our knowledge about the Earth specifically comes from a wide variety of methods and disciplines, following the above-mentioned progress. One thing however has remained unchanged. The only direct data and information we receive for the deep Earth comes exclusively from the seismic waves, they are the only approach we have to probe directly and quantitively the deepest parts of our planet – Fig. 1. Seismic models, methods, and instrumentation apply to an extremely wide range of values. Seismic instruments offer the highest spatial resolution of investigation, the seismic waves having the shortest wavelength, and suffering the lowest distortion and attenuation during propagation.

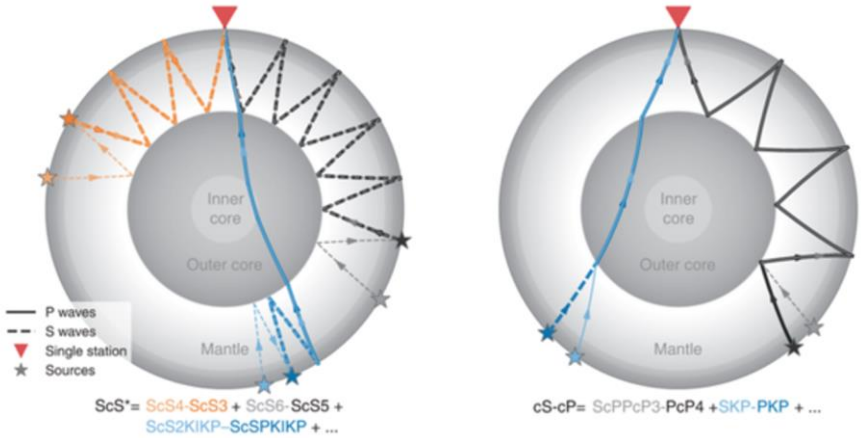


Fig. 1. Seismic waves probing the Earth

Logically, similar methods, models [1] and interpretation can be successfully applied to the planets if we are able to deliver, install, operate and collect data from the seismic instruments in space.

Seismic Instruments

One of the first known seismic type instrument is probably the Chang Heng seismoscope dated 132 BC. In 1857 Irishman Robert Mallet laid the foundation of instrumental seismology. And in ~ 1987 US & European scientists started the contemporary Global digital seismology, installing the first real broad-band digital seismic network to cover the globe with same type of instruments, producing same type of quality data with higher fidelity. At moment, the seismic instruments are generally divided to highly sensitive, with wide dynamic range sensors (seismometers and accelerometers) and highly reliable with high resolution (24–26 dB) digitizers, located in the field next to the sensor. Table 1 below present some seismic station/network evolution milestones.

Table 1. Seismic instruments advancement

Parameter\Decade	1980	1990	2000	2010
Number of resolution bits	12	16	24	24-26
Maximum sampling rate, sps	50	200	1,000	5,000
Dynamic range at 100 sps IEEE definition) –digitizers/sensors, dB	60 dB	90 dB	130 dB	138 -151/172
Timing accuracy	100 ms	1 ms	0.01 ms	0.001 ms
Power consumption for 3 channels	10-12 W	6-8 W	1-2 W	0.3 W
Typical local storage capacity	5 MB	50 MB	500 MB	64,000 MB
Typical data amount for a 1-month deployment	N/A	0.07 TB @ 50 sps/16bit 50 stations	0.7 TB @ 100sps/24bit 200 stations	7 TB @ 200sps/24bit 1,000 stations

This kind of layout (sensor and digitizer on-site in close proximity) improved significantly both the quality of obtained data and the completeness of the recorded data, with large projects such as USArray (400 constantly relocated stations) reaching data return above 97% over 12 years of continuous operation! Other public projects such as the Italian Strong motion Network with 436 strong motion stations have reached 100% station and data availability in continuous operation over 10 years. Two specific main factors contributed to such high standards – significantly improved communications and advancements in seismic instruments development in just last 20230 years. Fig. 2 present the extend and the scale of seismic digitizers improvement in the last 30 years.

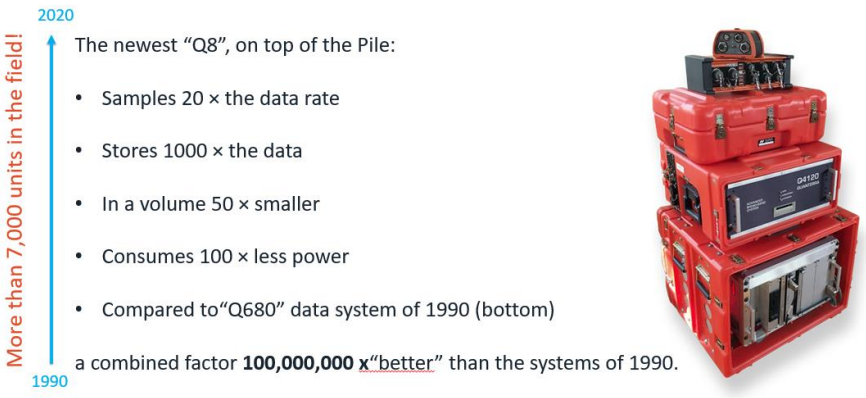


Fig. 2. Sample of a (Kinemetrics) digitizer advancement in the last 30 years

InSight mission to Mars

The first seismic instruments in space were deployed on the Moon during the Apollo missions 11, 12, 14, 15, 16 (1961–1972). Those instruments were far from the quality of todays' instruments market and delivered data for a limited time. Nevertheless, this data provided unvaluable information about the Moon to the science community and offered the first direct and quantitative models for the Moon structure and history. It took some 46 years to send improved instruments to another planet – Mars. There are many reasons for that time gap, but here are some of the technical requirements for such instrument if it to be delivered so far in space [6]:

- Designed to work after radiation exposure of 3,000 rads (that will kill 50% of the humans after a month)
- Works at temperature ~100 degree C to kill Earth bugs before launch
- Working on Mars at temperature < -50 C
- 10 cent transistor will cost ~$700 screen to work in Space
- Sustain 205 days travel in Space
- Launch Weight 333,000 kg, Instruments - 50 kg

On November 26, 2018, NASA InSight mission (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport) has landed two high quality seismometers on Mars, one of which started recording on Sol4 while still in the lander. One of those instruments called Short Period (SEIS-SP) was a collaboration development between Imperial College of London, Oxford university, UK and the American technology company Kinemetrics. The other seismometer, called SEIS-VBB (Broad-band), was developed by a consortium of French universities. SEIS-VBB was made operational on Sol70. The InSight mission had also other instruments delivered on the Mars surface:

- HP3 (Heat Flow & Physical Property Package)
- RISE (Rotation & Interior Structure Experiment)
- SEIS (Seismic Experiment for Internal Structure)
    - SEIS-VBB
    - SEIS-SP

It took 17 years of development and testing, and 180 authors from numerous institutions to develop the Seismic instrumentation, 15 scientists directly involved in the SEIS-SP development and millions of dollars to deliver instruments to be trusted to work as required.

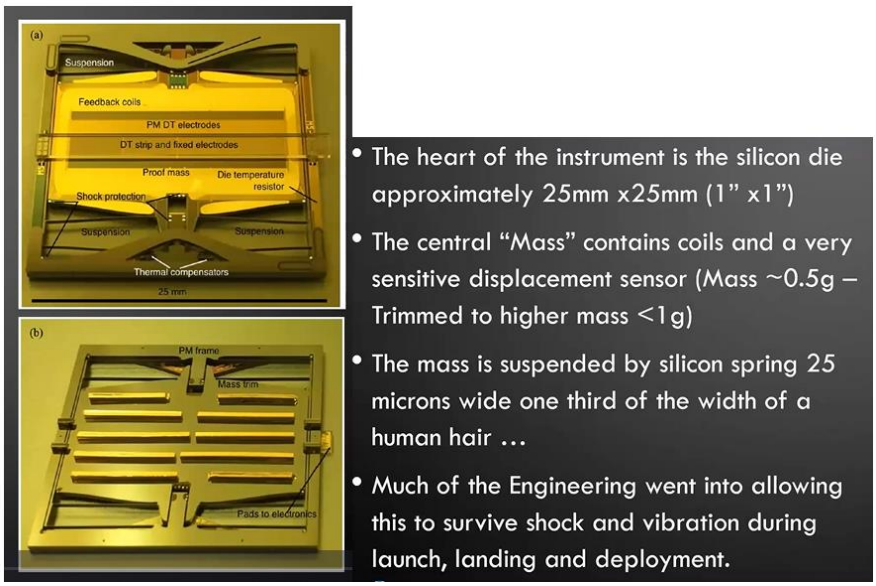


Fig. 3. SEIS-SP Seismometer [6]

- SP was switched on first during the flight and the horizontal sensors recorded "ambient" noise the lowest noise possible (no trust and vacuum space)
- Although called Short-Period, it's a wideband 10 s – 100 Hz seismometer

- Rugged, designed to withstand takeoff & landing accelerations, strong flight vibrations, as well high cosmic radiation
- Designed to operate at -65 degrees Celsius and with 15 degrees tilt

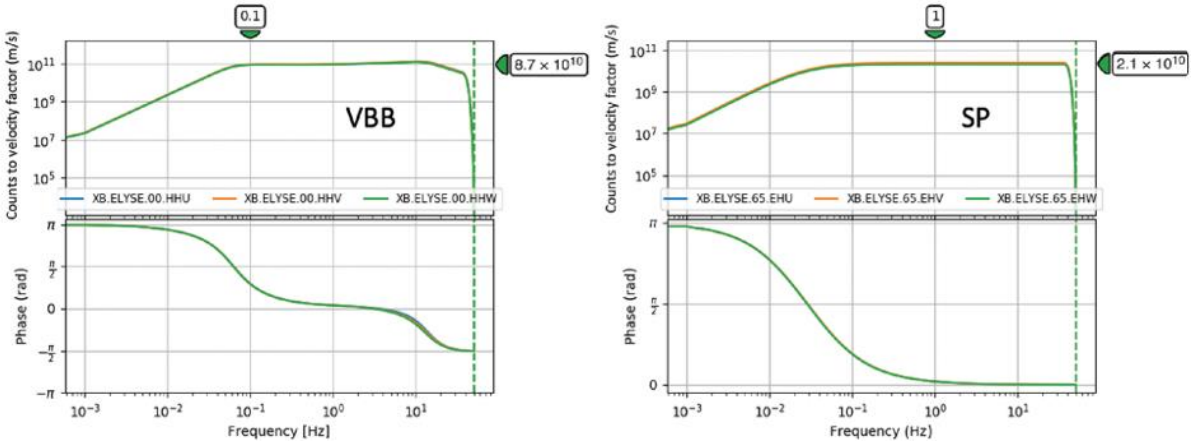


Fig. 4. Velocity response function for the VBB and SP sensors derived from calibration coil sweeps after deployment on Mars [3]

Although designed by the requirements to work only 2 years, the instruments kept working for full 4 years and the data transmission only stopped because of dust covering the solar panels and draining of the batteries.

SEIS-VBB, the international seismometer of NASA's InSight mission, has operated on Mars from February 2019 until mid-December 2022. Its careful installation and shielding allowed the Very-Broad-Band sensors of SEIS to reach ultra-low noise during the much of the night. Noise was much larger during the rest of each day, but still 10 times lower than the quietest sites on Earth in the 0.1–1 Hz bandwidth.

1319 events were detected including a Mw = 4.7 marsquake, which excited surface waves and likely normal modes, 90 teleseismic events were registered down to Mw = 2.5 and for the 40 largest of them distances were determined. 8 meteorite impacts were also confirmed by orbital crater imaging, two with very large craters. During the windy period, SEIS also detected several thousand pressure drops associated with atmospheric vortices, and during sunset thousands of very shallow local thermal cracks. InSight mission also delivered some milestones in Space seismology:

- First time ever noise data measured in zero-gravity.
- Operational and deployment-ready immediately after landing
- Recorded Martian wind frequency and direction

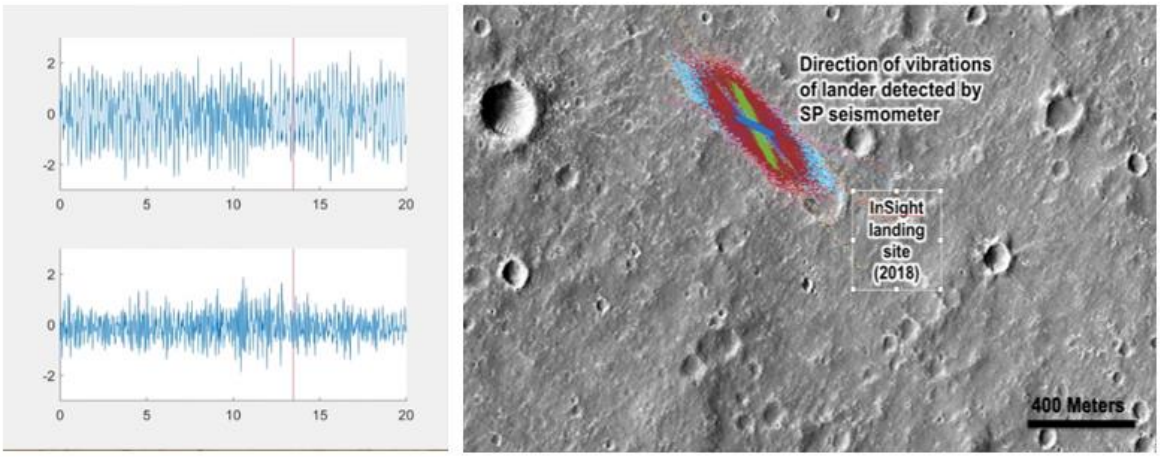


Fig. 5. Time-domain wind recordings and Calculated direction(s) of the wind noise [4]

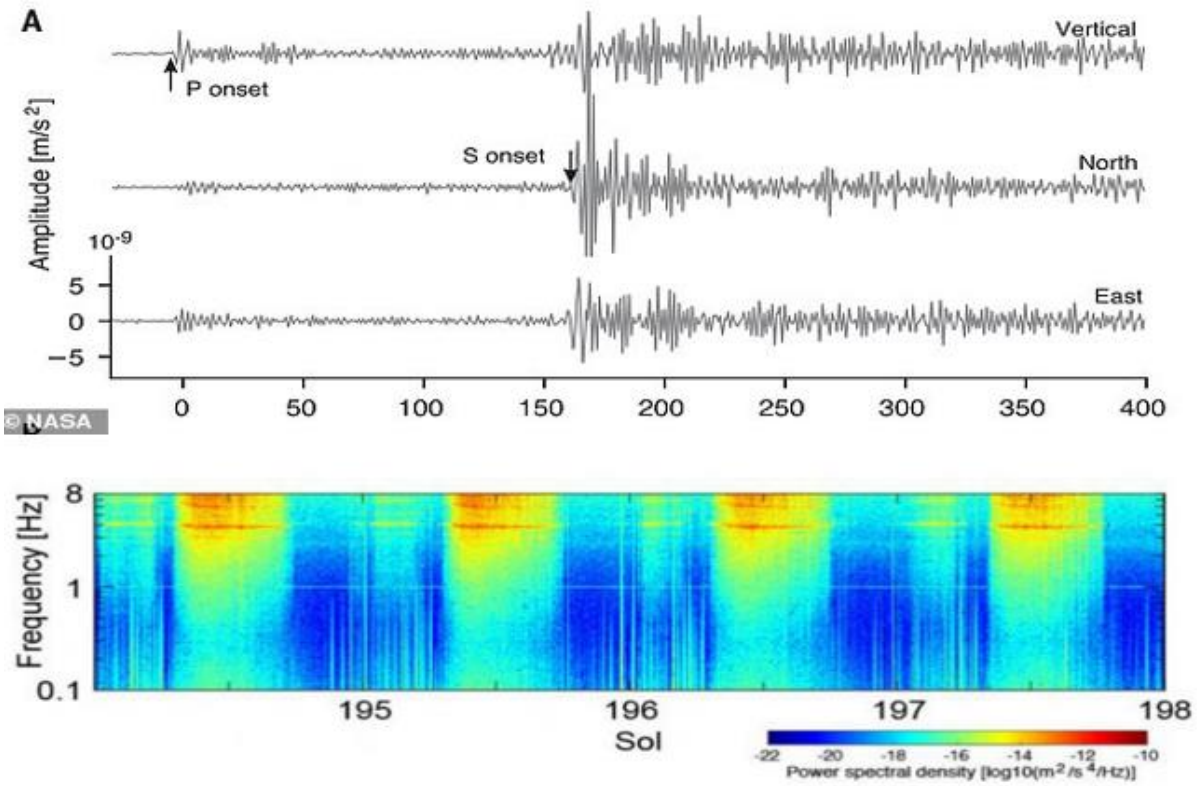


Fig. 6. MARS quake seismogram and temporal variations in low-frequency P-waves were related to distant changes in wind & solar irradiation, and the low-frequency Rayleigh waves related to the wind direction in the region near the lander [2, 3]

Ultimately, InSight contributed to the return of planetary seismology and initiated 4 missions in development to have also seismometers. In an ever changing political, financial and technological environment, there is one claim we can do – whichever is the next mission with seismic instruments, they will be better and more robust and will improve our understating of the planets around us.

Next Missions

After the initial success of InSigh mission, the plan for a next mission was concentrated on Europa Moon of Jupiter. Here are some points why Europa was selected as the next target and some of the additional challenges:

- The Icy Moon Europa has an ocean beneath the ice, protecting it from radiation
- Perhaps this moon is the best chance of finding Life
- It will take 7 years to get there and land
- 300,000 Rads of radiation, -120 ^{o}C on the surface

Gradually, in the constantly changing space research environment, this plan was put on hold (for now) and the next priority mission was to put instruments on the far side of our Moon. In this space race, several countries have already achieved success in lending spacecrafts there and even collecting data – China, Japan, India. Placing a modern seismic instrument there will be a definite large step ahead. So, taking the progress made towards the planned seismometer for Europa, the development team is now concentrating on designing and testing a new Luner Seismic Package (LSP).

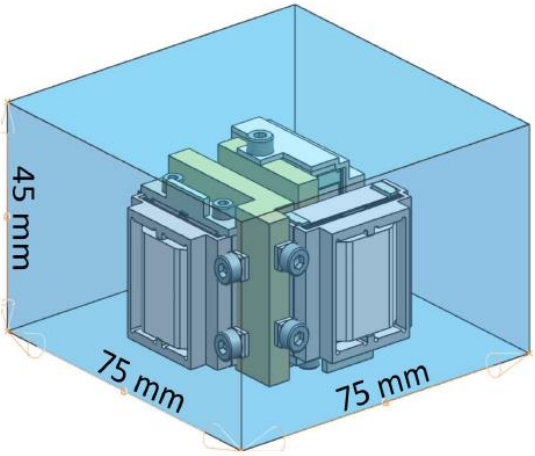


Fig. 7. Initial design of LSP – triaxial MEMS sensors and Proximity Electronics [6]

The Lunar Seismic Package (LSP) evolved from the InSight Short Period (SP) seismic sensor and Back End Electronics (BEE) [6]. The LSP has simple objectives (questions):

- Is seismicity different on the far side of the Moon?
- How do impact processes shape the lunar crust inside & outside Schrodinger crater?
- What is the current rate of micrometeoritic impacts?

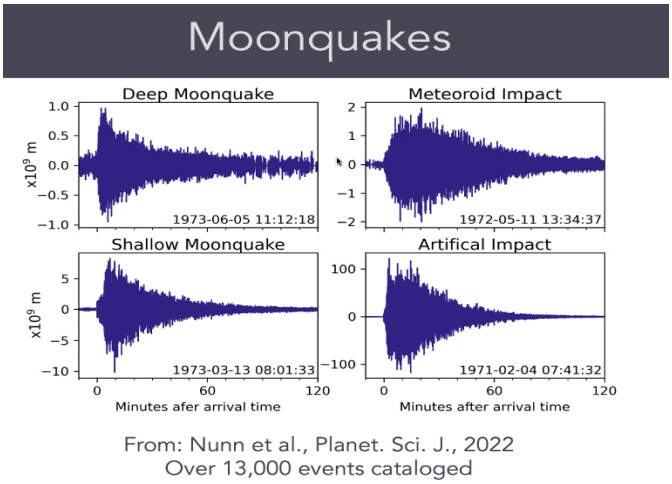


Fig. 8. Difference between Moonquakes and Meteoroid Impacts

LSP Sensor Package Optimization for the Lunar Missions is:

- Triaxial, Identical Sensors
- Lower noise than InSight SP
- Enhanced Calibration
- Sensor head, proximity electronics and magnets can be packed in ~50 mm cube
- 360 mW for sensor+feedback (triaxial)
- Does not require leveling in lunar gravity

Conclusions

Based on the instrumentation success during the NASA' InSight (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport) mission to Mars in 2018–2021, we present here some of the specific features and achievements of the equipment on that mission. Based on the InSight success, now NASA is planning new missions such as lending on the far side of the Moon and on the Jupiter icy moon Europa (possibly the best chance of finding life in the Solar System). The instruments requirements for such missions are even more stringent and some of the initial steps of improving the seismic instruments for the new space trips are discussed.

References:

1. Maren Böse, Simon C. Stähler, Nicholas Deichmann, Domenico Giardini, John Clinton,Philppe Lognonné, Savas Ceylan, Martin van Driel, Constantinos Charalambous, Nikolaj Dahmen, Anna Horleston, Taichi Kawamura, Amir Khan, Martin Knapmeyer, Guénolé Orhand-Mainsant, John Robert Scholz, Fabian Euchner, and W. Bruce Banerdt. Magnitude Scales for Marsquakes Calibrated from InSight Data. BSSA, 2021.
2. Savas Ceylan, John F. Clinton, Domenico Giardini, Maren Böse, Constantinos Charalambous, Martin van Driel, Anna Horleston, Taichi Kawamura, Amir Khan, Guenolé Orhand-Mainsant, John-Robert Scholz, Simon C. Stähler, Fabian Euchner, William B. Banerdt, Philippe Lognonné, Don Banfield, Eric Beucler, Raphaël F. Garcia, Sharon Kedar, Mark P. Panning, Clément Perrin. Companion guide to the marsquake catalog from InSight, Sols 0–478: Data content and non-seismic events. Physics of the Earth and Planetary Interiors Volume 310, January 2021.
3. Amir Khan, Savas Ceylan, Martin van Driel, Domenico Giardini, Philippe Lognonné, Henri Samuel, Nicholas C Schmerr, Simon C Stähler, Andrea C Duran, Quancheng Huang, Doyeon Kim, Adrien Broquet, Constantinos Charalambous, John F Clinton, Paul M Davis, Mélanie Drilleau, Foivos Karakostas, Vedran Lekic, Scott M McLennan, Ross R Maguire, Chloé Michaut, Mark P Panning, William T Pike, Baptiste Pinot, Matthieu Plasman, John-Robert Scholz, Rudolf Widmer-Schnidrig, Tilman Spohn, Suzanne E Smrekar, William B Banerdt. Upper mantle structure of Mars from InSight seismic data. Science, 2021.
4. Martin van Driel, Savas Ceylan, John F. Clinton, Domenico Giardini, Anna Horleston, Ludovic Margerin, Simon C. Stähler, Maren Böse, Constantinos Charalambous, Taichi Kawamura, Amir Khan, Guenolé Orhand-Mainsant, John-R. Scholz, Fabian Euchner, Martin Knapmeyer, Nicholas Schmerr, William T. Pike, Philippe Lognonné, William B. Banerdt. High-Frequency Seismic Events on Mars Observed by InSight. Journal of Geophysical Research: Planets. 2021.
5. Savas Ceylan, John F. Clinton, Domenico Giardini, Maren Böse, Martin van Driel, Fabian Euchner, Anna Horleston, Taichi Kawamura, Amir Khan, Guénolé Orhand-Mainsant, John-Robert Scholz, Simon Stähler, Constantinos Charalambous, W. Bruce Banerdt, Raphaël F. Garcia, Sharon Kedar, Philippe Lognonné, Mark Panning, Tom Pike, and Suzanne E. Smrekar. Overview of observed seismic signals on Mars. EGU, 2020.
6. I. Standley, M. P. Panning, S. Calcutt, W. T. Pike, S. Kedar, C., Nunn, M., Brent Blaes, William Walsh, Menooa Badalian, J. Liu. The Lunar Seismic Package. AGU 2020, Poster, 2020.
7. Kedar, S. Panning, M. P. Standley, I. M. Blaes, B. R. Walsh, W. Calcutt, S. B. Pike, W. T. Pierce, D. R. Schmidt, B. E. Hobbs, T. E. Badalian, M. Liu, J. Franklin, G. W. The Europa Seismic Package. AGU 2020.

Session 1

Space Physics

Chairmen: Corr. Member Peter Velinov
Prof. Jordanka Semkova
Secretary: Assoc. Prof. Daniela Boneva

LIULIN-AA SPECTROMETER MEASUREMENTS OF THE RADIATION DOSE DURING THE TRAVEL FROM BULGARIAN ANTARCTIC BASE ON LIVINGSTON ISLAND TO LONGYEARBYEN TOWN, SVALBARD ARCHIPELAGO, NORWAY AND BACK TO SOFIA

Tsvetan Dachev[1], Petar Sapundjiev[2], Borislav Tomov[1], Yuriy Matviichuk[1], Mityo Mitev[1], Malina Yordanova[1]

[1]Space Research and Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences
[2]National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: tdachev59@gmail.com

Keywords: *Spectrometers-dosimeters "Liulin", Radiation dose on the surface of the earth and during travel by ship and plane, galactic cosmic rays*

Abstract: *The battery-operated spectrometer-dosimeter "Liulin-AA" performed radiation dose and flux measurements in wide range of geographic latitudes from 62°S latitude in the Bulgarian Antarctic Base on Livingston Island to 81.2°N latitude at Longyearbyen town, Norwegian Svalbard archipelago. This happened during two trips of our colleague Peter Sapundjiev. The first one was from 24 of February until March 9, while the second from June 27 until July 26, 2024. Different radiation and environment conditions were observed. The first trip starts with few days' measurements in the Bulgarian Antarctic Base and includes four trips by car, one by ship, four aircraft flights, one of which crossing the magnetic equator, one bus travel and two stays in hotels in Punta Arenas town, Chile and Buenos Aires, Argentina. The second trip starts with three aircraft flights from Sofia to Munich, Oslo and Tromso in Norway. It continues with a long travel by ship in Arctic sea. The maximal northern latitude reached was 81.2° N. This trip finished by other three aircraft flights from Longyearbyen to Oslo, Munich and Sofia.*

The lowest dose rates were observed during the car and ship trips. The dose rates during the ship travel were smaller than the dose rates on the ground. The dose rates registered in a bricks building in Sofia were higher than the ground based dose rates. As expected, the highest dose rates were registered during the aircraft flights. This paper describes and analyzes different dose rates and spectra.

ИЗМЕРВАНИЯ НА РАДИАЦИОННАТА ДОЗА СЪС СПЕКТРОМЕТЪР ЛЮЛИН-АА ПО ВРЕМЕ НА ПЪТУВАНЕ ОТ БЪЛГАРСКАТА АНТАРКТИЧЕСКА БАЗА НА ОСТРОВ ЛИВИНГСТЪН ДО ГРАД ЛОНГИЪРБИЕН, АРХИПЕЛАГ СВАЛБАРД, НОРВЕГИЯ И ОБРАТНО ДО СОФИЯ

Цветан Дачев[1], Петър Сапунджиев[2], Борислав Томов[1], Юрий Матвийчук[1], Митьо Митев[1], Малина Йорданова[1]

[1]Институт за космически изследвания и технологии - Българска академия на науките
[2]Национален институт по геофизика, геодезия и география - Българска академия на науките
e-mail: tdachev59@gmail.com

Ключови думи: *Спектрометри-дозиметри „Люлин", доза радиация на повърхността на земята и при пътуване с кораб и самолет, галактически космически лъчи*

Резюме: *Батерийният спектрометър-дозиметър Люлин-АА проведе измервания на радиационната доза и поток в широк диапазон от географски ширини от 62° южна ширина в Българската антарктическа база на остров Ливингстън до 81,2° северна ширина в град Лонгиърбиен, архипелаг Свалбард, Норвегия. Това се случи по време на две пътувания на нашия колега Петър Сапунджиев, първото между 24 февруари и 9 март и второто между 27 юни и 26 юли 2024 г. Първото пътуване започна с няколкодневни измервания в Българската антарктическа база и включва: четири пътувания с кола, едно пътуване с кораб, четири полета със самолет, един от които пресича магнитния екватор, едно пътуване с автобус и два престоя в хотели в градовете Пунта Аренас, Чили и Буенос Айрес, Аржентина. Второто пътуване започва с три самолетни полета от София до Мюнхен, Осло и град Трьомсо в Норвегия. Продължава с дълго пътуване с кораб в Арктическо море.*

Достигната е максималната северна ширина 81,2°. Това пътуване завърши с други три самолетни полета от град Лонгиърбиен на норвежкия архипелаг Свалбард до Осло, Мюнхен и София.

Най-малките мощности на дозите са наблюдавани по време на пътуванията с кораб и кола. Мощностите на дозите по време на пътуването на кораби са по-малки от мощностите на дозите на повърхността на земята. Регистрираните мощности на дозите в тухлена сграда в София са по-високи от мощностите на дозите на повърхността на земята. Както се очакваше, най-високите дози са наблюдавани по време на полетите на самолети.

Различните мощности на дозата и спектрите са описани и анализирани в тази статия.

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}.

The air radiation field arises because of the interaction of primary GCR particles with the Earth's atmosphere. An additional flux of albedo secondary GCR is observed at altitudes below 3 km, which contributes to the forming of the flux minimum around 1.6 km altitude [1]. The intensity of the atmospheric radiations composed of GCR primary and secondary particles and their energy distribution vary with altitude, location in the geomagnetic field, and the time in the sun's magnetic activity (solar) cycle [2]. The atmosphere provides shielding, which depends on the overhead atmospheric depth. The geomagnetic field provides a different kind of shielding, by deflecting low-momentum charged particles back to space. Because of the orientation of the geomagnetic field, which is predominately dipolar in nature, the Polar Regions are susceptible to penetrating GCR particles. At each geographic location, the minimum momentum per unit charge (magnetic rigidity) a vertically incident particle can have and still reach a given 3 location above the earth is called the geomagnetic vertical cutoff rigidity [3]. The local flux of incident GCR at a given time varies widely with geomagnetic location and the solar modulation level. When the solar activity is high, the GCR flux is low, and vice versa. The dynamic balance between the outward convective flux of solar wind and the inward diffusive flux of GCR is responsible for the anti-correlation between the incident GCR and the level of solar activity [2].

Instrument description

The design of the portable dosimeter-spectrometer Liulin-AA is not a new one. Since 1989, Space Research and Technology Institute (SRTI-BAS), in an international cooperation with scientists from Russia, Germany, Japan, Czech Republic, Italy, Norway, Switzerland, Belgium, USA and India, etc., worked at mountain peaks, flew in space and on stratospheric balloons, rockets and aircraft with more than 35 similar devices [4, 5], (http://www.space.bas.bg/SollarTerrestialPhysics/files/Poster-IKIT-BAN-2019%20SZF.pdf)).

The latest application of Liulin device is the flight of the first commercial mission into suborbital space with the SpaceShipTwo spacecraft of Virgin Galactic Company (Virgin Galactic launches first commercial spaceflight (spacedaily.com). The flight took place on June 29th, 2023 at 08:00 a.m. MT or 03:00 p.m. GMT from Spaceport America in New Mexico, USA.

Liulin-AA spectrometer contains one silicon-PIN diode of Hamamatsu S2744-08 type (2 cm^2 area and 0.3 mm thickness, Fig. 1), one ultra-low noise charge-sensitive preamplifier of AMPTEK A225F type, and 2 microcontrollers.

The doses (deposited energies in the detector) are determined by a pulse height analysis technique then passed to a discriminator. According to AMPTEK A225 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. This is the key feature of the AMPTEK A225 preamplifier, which directly transfers the pulse amplitude, measured in volts by the spectrometer to dose and dose rate.

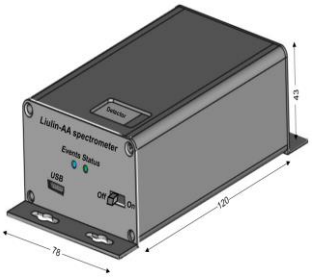


Fig. 1. Draft of Liulin-AA spectrometer

The amplitudes of all signals from the income particles and quanta are transformed into digital signals by ADC converter and are sorted into 256 channels by a multichannel analyzer. For every exposure interval, a single 256 energy deposited spectrum is collected.

Two microcontrollers, through specially developed firmware, manage the unit. Liulin-AA communicates with a personal computer by a universal serial bus (USB) signal.

The following method for calculations of the dose is used [6]. The dose D [Gy] by definition is one Joule of energy deposited in 1 kg of a mater or:

(1) $D = K.Sum(EL_I*i)_{ET}/MD,$

where MD is the mass of the detector in [kg] and EL_i is the energy loss in Joules in channel i. Energy loss in channel i is proportional to the number of events A_i in it multiplied by i. K is a coefficient.

During the construction of the Liulin-AA, actions have been taken to reduce the microphone effect at the detector. As a result, when Liulin-AA is transported by water, land and air under general conditions, shock and jolt disturbances are not registered anywhere. A new power supply circuit for the detector [7] has been constructed and used. As a result the EMI, noises were also reduced. The device has been calibrated by applying a new methodology [8], which leads to an increase in the accuracy and convergence of the registered data.

Scientific results

The paths of the two trips are presented in Fig. 2. The first trip is presented with yellow arrows, while the second one from Sofia, Bulgaria to Longyearbyen town and back is presented with magenta arrows for the aircraft flights and with sky blue arrows for the ship travels. All pats are presented over a fragment of a 3D map of the estimated ambient dose equivalent rate at 11.887 km, according to the right side color bar as calculated by Makrantoni et al. [13].

The white labels next to the flight from Buenos Aires to Rome are the measured in this points equivalent dose rates by Liulin-AA spectrometer. Good coincidence is observed.

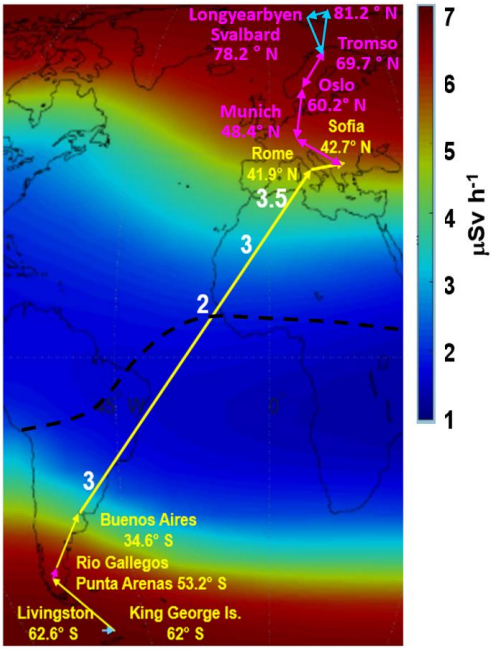


Fig. 2. The path from Livingstone Island to Sofia, Bulgaria during the first trip is presented with yellow arrows, while the trip from Sofia, Bulgaria to Longyearbyen town and back is presented with magenta arrows for the aircraft flights and with sky blue arrows for the ship travels. All pats are presented over a fragment of a 3D map of the estimated ambient dose equivalent rate at 11.887 km, according to the right side color bar as calculated by Makrantoni et al. [13].

Environmental radiation and commercial aviation flights dosimetry during the travel from Bulgarian Antarctic Base on Livingston Island to Sofia

Fig. 3 contains two panels. In the upper panel on the left y-axes are plotted: a) with red line and markers the dose rate and the 10 per moving average of dose rate with black line; b) with blue line the 10 per moving average of flux; c) the dose to flux ratio with green line and markers.

On the right y-axes of the upper panel are plotted two Neutron Monitor (NM) data: the Oulu NM https://cosmicrays.oulu.fi/ counts (per min. divided by 100000) with a black line and the South Pole NM (SOPO) https://neutronm.bartol.udel.edu/realtime/southpole.html counts divided by 4470 with a magenta line. No significant dependence of the dose rate from the neutron monitors values is observed.

The lower panel of Fig. 3 presents a 3D color-coded graphic, showing the first 32 channels' counts in the spectra population. The right side color bar provides information for the counts.

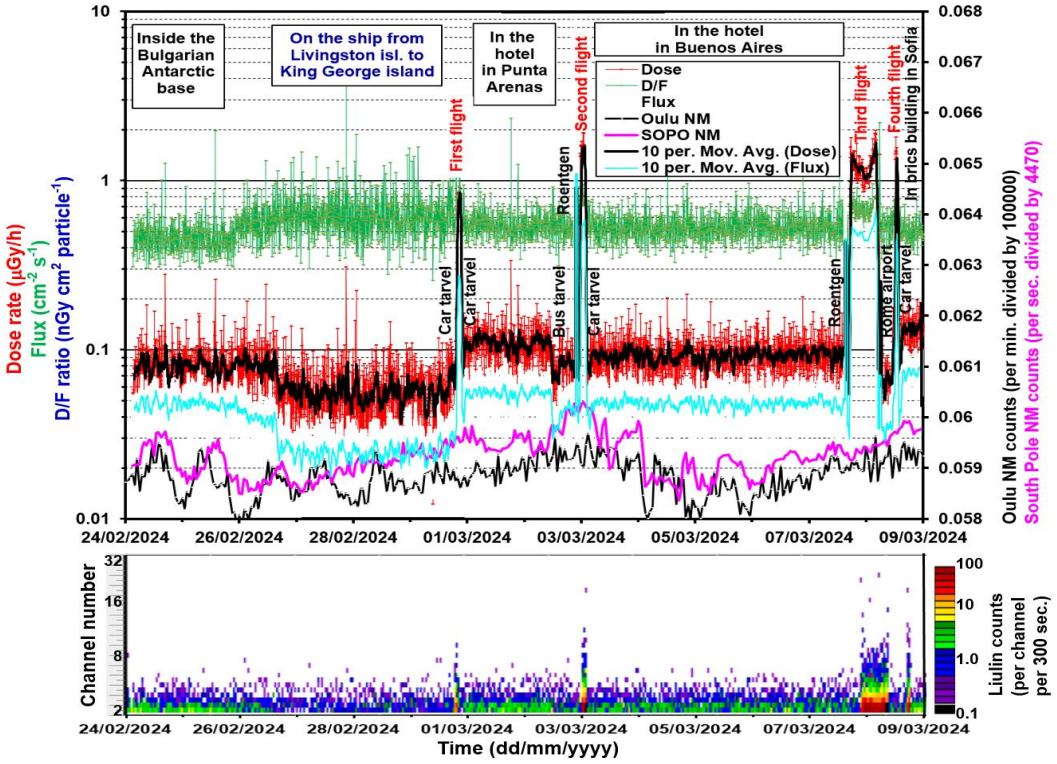


Fig. 3. Environmental radiation and commercial aviation flights dosimetry during a travel from Bulgarian Antarctic Base on Livingston Island to Sofia, Bulgaria

Table 1 contains the averaged values of the absorbed dose rate, equivalent dose rate, flux, dose to flux ratio for some points of interest of the trip back to Bulgaria.

The ambient equivalent dose rates in Table 1, were calculated using the method developed by Spurny and Dachev, 2002 [9].

As seen in the first row of the Table 1, the measurements began "Inside Bulgarian Antarctic Base" on 24 of February 2024 and ended on 25 of February at 21:29 (Sofia time (UT+ 3 hours)) "Inside bricks building in Sofia (last row).

The measured dose rate inside the Bulgarian Antarctic Base of 0.087 μGy h^{-1} are very similar to the published in [10] doses, obtained at the Argentine Antarctica base in Marambio (Antarctica, 64.24° S, 56.63° W, 196 m a.s.l., vertical cutoff rigidity Rc=2.35 GV). In Table 1, (therein) the measured dose rate is 75.7 ± 3.3 μGy h^{-1} in January-May 2013 and 74.6 ± 2.8 in March-October 2015.

The lowest dose rates of 0.056 μGy h^{-1} and 0.0963 μSv h^{-1} were observed during the travel on the ship between Livingston Island and King George Island (Fig. 1). The value in μSv h^{-1} is very close to the average dose rate of 0.091 ± 0.010 μSv h^{-1} recorded by the use of a Geiger-Müller Gamma-Scout during the non-stop sailing on the yacht Katharsis II from Cape Town, South Africa to Hobart, Australia around the Antarctic continent between 23rd December 2017 and 5th April 2018 [11].

The car travel and the bus travel doses are at low levels between 0.0423 μGy h^{-1} during the car trip between Sofia airport and Sofia town and 0.078 μGy h^{-1} during the bus trip between the hotel in Punta Arenas to the airport in Rio Gallegos town.

The doses in different buildings during the trip vary between 0.133 μGy h^{-1} inside the brick building in Sofia and 0.092 μGy h^{-1} inside the hotel in Punta Arenas. The high doses in the buildings are understandable. According to Shahbazi-Gahrouei et al. [12], Table 1 therein the radioactivity concentration in (Bq/kg) in brick is the highest with 37±1.5 from ^{226}Ra, 12.2±0.7 from ^{232}Th and 851.4±15 from ^{40}K. The cement, which is the major contributor in the concrete, is on the second place.

Table 1. List of the parameters, measured at different locations during first trip from Bulgarian Antarctic Base on Livingston Island to Sofia, Bulgaria

Location and Time	Average measured abs./ amb. eq. dose rate (μGy/h)/(μSv/h)	Average measured Flux (cm^{-2} s^{-1})	Calculated Dose to flux ratio (nGy cm^2 $part.^{-1}$)	Elevation above the see level (m)
Inside the Bulgarian Antarctic base at Livingston Island, 62.5999° S 60.4999° W, Rc=2.79 GV. **From** 24/02/2024 03:09:00 **Until** 25/02/2024 21:09:00	0.087/1.391	0,047	0.472	12-15
On the ship from Livingston island to King George Island, 61.9882° S, 58.0196° W, Rc=2.84 GV. **From** 26/02/2024 16:49:00 **Until** 29/02/2024 15:49:00	0.056/0.0963	0.025	0.622	0.00
First Car travel to King George airport **From** 29/02/2024 18:04:00 **Until** 29/02/2024 18:34:00	0.0532/0.0915	0.26	0.568	
First aircraft flight from King George Island to Punta Arenas, Chile, 53.1634° S, 70.9078° W, Rc= 4.54 GV. **From** 29/02/2024 19:19:00 **Until** 29/02/2024 21:14:00	0.808/1.779	0.268	0.862	~9,000
Second Car travel to Punta Arenas hotel **From** 29/02/2024 21:34:00 **Until** 29/02/2024 22:04:00	0.0757/0.130	0.041	0.519	0.516
Inside the Hotel in Punta Arenas, 53.1634° S, 70.9078° W **From** 29/02/2024 22:34:00 **Until** 01/03/2024 20:44:00	0.110/0.189	0.055	0.556	
Bus travel from the hotel in Punta Arenas to the airport in Rio Gallegos **From** 02/03/2024 11:09:00 **Until** 02/03/2024 18:14:00	0.078/0.134	0.0393	0.554	
First Roentgen security check at airport in Rio Gallegos **From** 02/03/2024 21:39:00 **Until** 02/03/2024 21:39:00	8.319	10.551	0.219	
Second aircraft flight from Rio Gallegos to Buenos Aires, Argentina 34.6037° S, 58.3816° W, Rc= 8.44 GV. From 29/02/2024 19:19:00 Until 29/02/2024 21:14:00	1.543/3.696	0.561	0.766	~12,000
Third Car travel from Buenos Aires airport to the hotel **From** 03/03/2024 05:34:00, **Until** 03/03/2024 06:14:00	0.060/0.1032	0.034	0.599	
Inside the hotel in Buenos Aires 34.6037° S, 58.3816° W **From** 03/03/2024 03:04:00 **Until** 07/03/2024 13:54:00	0.092/1.582	0.0478	0.535	25
Second Roentgen security check at Buenos Aires airport **From** 07/03/2024 15:09:00 **Until** 07/03/2024 15:09:00	3.542	4.102	0.239	
Third aircraft flight Buenos Aires to Rome, Italy 41.8967° N, 12.4822° E, Rc= 6.2 GV. **From** 07/03/2024 17:24:00 **Until** 08/03/2024 04:09:00	1.16/3.076	0.432	0.670	~12,000
Fourth aircraft flight from Rome to Sofia, Bulgaria 42.6977° N, 23.3219° E, Rc= 5.9 GV. **From** 08/03/2024 12:19:00 **Until** 08/03/2024 12:54:00	1.496/3.935	0.533	0.780	~12,000
Fourth Car travel from the airport in Sofia **From** 08/03/2024 13:14:00, **Until** 08/03/2024 13:34:00	0.0423/0.0727	0.0213	0.563	
Inside the bricks building in Sofia **From** 08/03/2024 14:24:00 **Until** 09/03/2024 11:09:00	0.133/0.228	0.729	0.509	

The highest dose rates were observed during the four commercial aircraft flights, depicted on Fig. 4. The maps with the ground projection of the aircraft paths (red lines) are visible in the background of the four figures. In addition, the variations of the ambient equivalent dose rate in μSv h^{-1} (blue lines), the absorbed dose rate in μGy h^{-1} (black lines) and the dose to flux ratio in nGy cm^2 $particle^{-1}$ (magenta lines) are shown.

The variations of the mentioned above two dose rate parameters during first flight from King George Island (61.9882° S, 58.0196° W, Vertical cut-off rigidity (Rc) 2.84 GV) to Punta Arenas in Chile, (1,241 km distance) are seen in Fig. 4. The measured absorbed and equivalent dose rate during this flight are the smallest in comparison with the other three flights. The reason is that this flight was performed with aircraft type BAE146, which cruise altitude is at about 9 km. The highest average dose to flux value of 0.862 nGy cm^2 $particle^{-1}$ in comparison with other three flights gives information that in the spectra exist particles depositing energy in higher energy channels. This is expected due to the relative high latitudes of the flight.

The high dose rates seen in the second and fourth flights are very similar because of the similar latitudinal and altitudinal conditions. This is also expected because the cruise altitude of flights 2 and 4 is around 12 km.

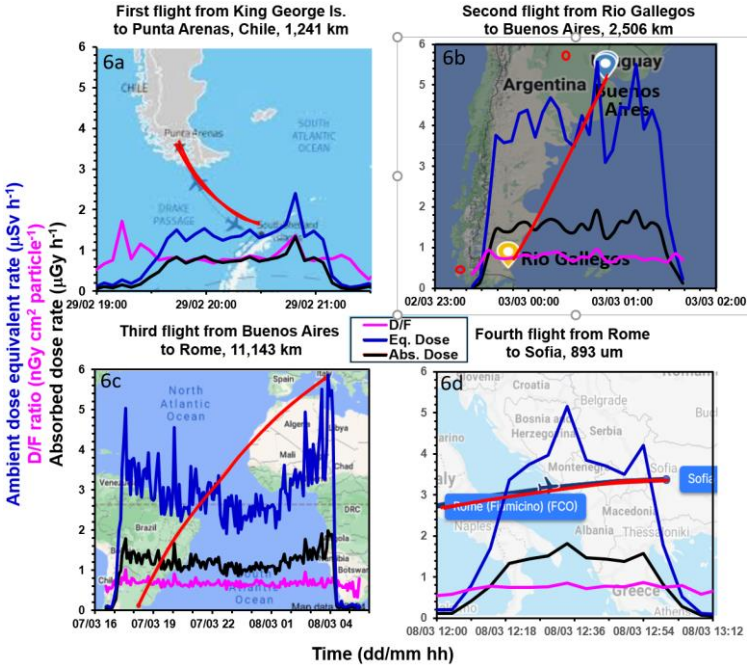


Fig. 4. Environmental radiation and commercial aviation flights dosimetry during a travel from Bulgarian Antarctic Base on Livingston Island to Sofia, Bulgaria

The most interesting, is the third flight being the longest and crossings the geomagnetic equator (please look at the dashed black line, Fig. 1) somewhere on the west coast of Africa. Both sides of the path in both hemispheres are from -35° to 42° geographic latitudes and Rc=6.2 GV and Rc=5.9 GV. Close after the take-off from the Buenos Aires airport and before the landing in Rome, the predicted ambient dose equivalent [13] is about 4-6 μSv h^{-1}. The latter is in a good coincidence with the values in the blue line (Fig. 4). With the decrease of the latitude toward the magnetic equator (black dashed line, Fig. 1), the doses also decrease down to values of 2–2.5 μSv h^{-1}.

Environmental radiation and commercial aviation flights dosimetry during a travel from Sofia, Bulgaria to Longyearbyen town, Svalbard, Norway and back

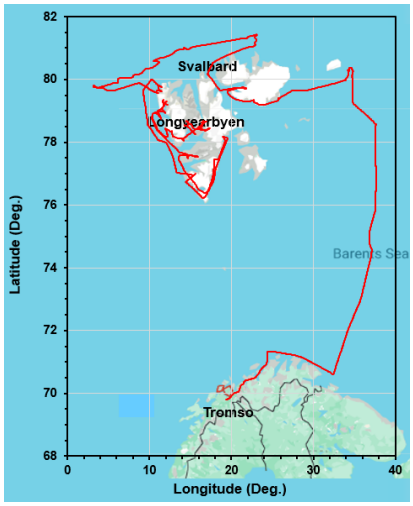


Fig. 5. The ship trip from Tromso to Longyearbyen town, Svalbard, Norway is presented with red line

The travel from Sofia to Longyearbyen town, Svalbard, Norway begins on 27th of June 2024 with a flight from Sofia to Munich, Germany. There are no data from this flight. Liulin-AA was switched ON at the airport of Munich and worked during the next two flights from Munich to Oslo, Norway and from Oslo to Tromso, Norway. There is 5–10 min. travel by car from the Tromso airport to the Tromso seaport.

Between 27th and 30th of June 2024, Liulin-AA spectrometer was inside of the ship. On 30th of June Liulin-AA together with a GPS logger, inside of plastic suitcase, was moved to the forward deck of the ship (Please see Fig. 6). The travel on the ship begins on June 30 and ended at the seaport of

Longyearbyen on 24th of July 2024. Liulin-AA was transported from Longyearbyen town to Sofia in three aircraft flights to Oslo, Munich and Sofia.



Fig. 6. The position of the plastic suitcase at the forward deck of the ship

Fig. 7 contains all dose rate data (red markers and lines), obtained during the second trip. Data are plotted against the red vertical scale. The sky blue line, against the sky blue scale, on the left shows the variations of the calculated per 24 hours average values of the hourly measurements. The averages are calculated using 288 single 5 minutes measurements (12 per hour multiplied by 24 hours equal to 288). The green line presents the variations of the geographic latitude as measured with the GPS logger during the trip with the ship. As expected, there is a relatively good correlation between the green and sky blue lines. The increase of the geographic latitude and accordingly the geomagnetic latitude decreases the vertical geomagnetic cutoff rigidities [3] of the GCR particles and they penetrate easier in the atmosphere, increasing the dose rate.

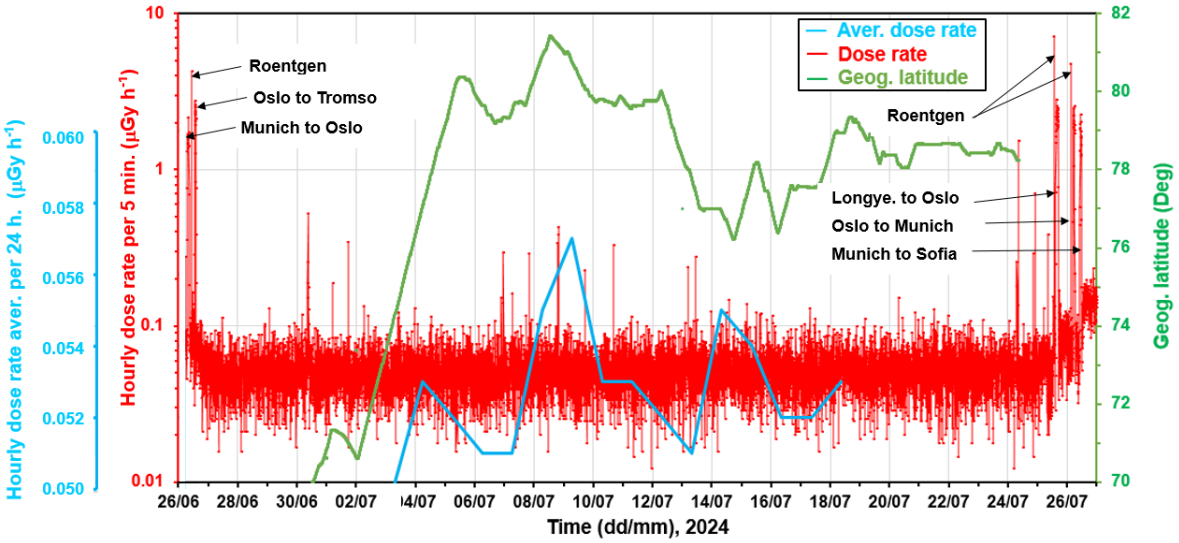


Fig. 7. Environmental radiation and commercial aviation flights dosimetry during a travel from Sofia, Bulgaria to Longyearbyen town, Svalbard, Norway and back

Fig. 8 illustrates the first three days of the trip with a better time resolution. The measurements began with an average dose rate data on Munich, Oslo and Tromso airports that are similar to the data, observed in Punta Arenas town during the first trip.

The measurements continue with higher aircraft dose rate data during the flight from Munich to Oslo. The average dose rate during the flight is 1.63 μGy h^{-1}, which is similar to the second aircraft flight from Rio Gallegos to Buenos Aires, Argentina during the first trip because of the similar geomagnetic conditions. The Roentgen security check average dose rate at the Oslo airport is much higher than the two analogical security checks during the first trip. It reaches 4.27 μGy h^{-1}. The average absorbed dose rate during the flight from Oslo to Tromso is the highest observed dose rate and reach 2.24 μGy h^{-1}. This is realistic because the geographic latitudes of this flight between 60.2°N

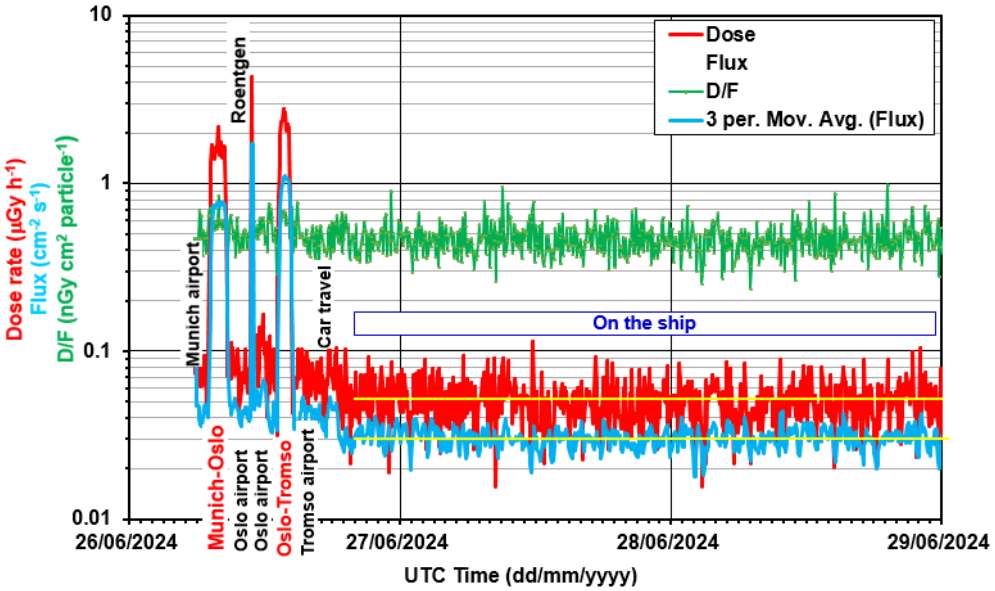


Fig. 8. Environmental radiation and commercial aviation flights dosimetry on the route from Munich airport (26 June 2024) to the ship (29 June 2024)

and 69.7°N is the highest observed until now. The same considerations for the vertical geomagnetic cutoff rigidities as in the previous paragraph are valid in this case.

The average absorbed dose rate on the ship between 27 and 29 June 2024 is 0.52 μGy h^{-1}. It is very similar to the observed dose rates in the ocean in the Southern hemisphere during the first trip that is 0.56 μGy h^{-1}.

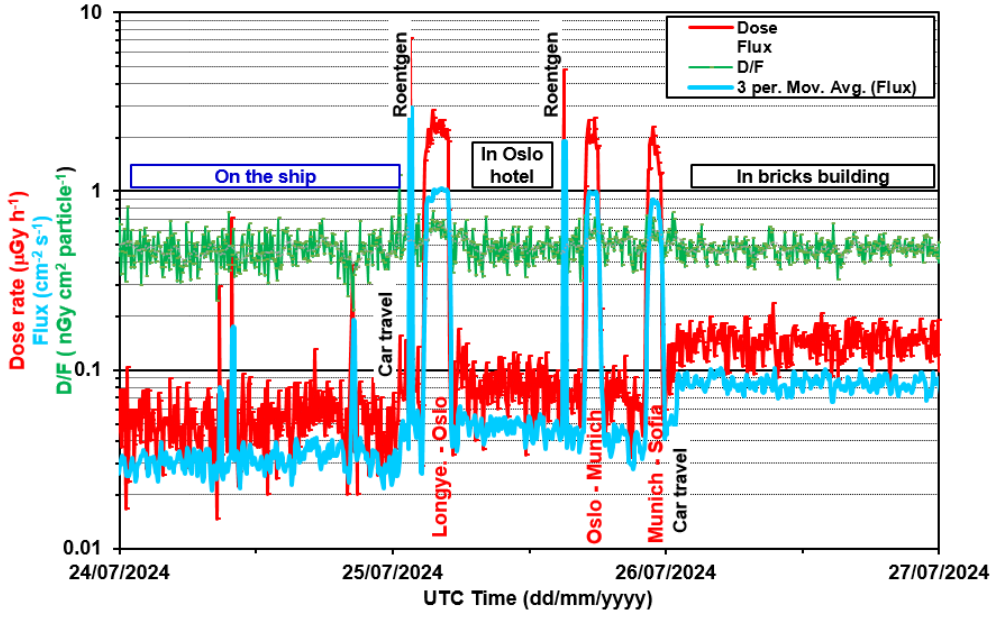


Fig. 9. Environmental radiation and commercial aviation flights dosimetry during a travel from Longyearbyen town, Svalbard, Norway to Sofia, Bulgaria

Fig. 9 shows the dose rate variations in the last 3 days of the second trip, 24–27 July 2024, with a better time resolution. The three high dose rate bursts on 24th of July are generated most probably by microphone effect of the detector. The two Roentgen security checks and the two car travels seen in Fig. 9 are very similar to those that are already observed. The three consecutive flights from Longyearbyen town, Svalbard, Norway to Sofia, Bulgaria in a good way show the decreasing GCR induced dose rates due to the increase of the vertical cut off rigidity [3]. The relative high dose rates in the bricks building on 26th of July are also nothing new.

Conclusions

The most important achievement of the paper is the discovery and the proof of the existence of stable measurements of Liulin-AA instrument in different ground and aircraft conditions and different natural radiation surroundings.

Acknowledgements

The authors thank to all Bulgarian and foreign specialists and organizations that participated in the development of the Liulin instruments. BAS, NSFI, PECS and our international partners for the financing of projects related to the creation of Liulin equipment.

Peter Sapundjiev is very thankful to Project/Contract No 70-25-94 from 28.04.2023, Supported by National Program for Polar Studies "From Pole to Pole" 2022–2025.

This research was performed with the devoted support of all members of the 32nd Bulgarian Antarctic Expedition and the 4th Turkish Arctic Expedition (TASE4). The Bulgarian participation in TASE4 was possible thanks to the long history of collaboration between the Bulgarian Antarctic Institute and the Turkish Polar Research Program and their directors - prof. Christo Pimpirev and prof. Burcu Ozsoy.

References:

1. Bazilevskaya, G. A., Stozhkov, Y. I., Svirzhevskaya, A. K. and Svirzhevsky, N. S., Cosmic rays and radioactivity in the near-ground level of the atmosphere. Journal of Physics: Conference Series 409 (2013) 012213 doi:10.1088/1742-6596/409/1/012213. Available online at: http://iopscience.iop.org/1742-6596/409/1/012213
2. Mertens, C. J., Wilson, J. W., Blattnig, S. R., Solomon, S. C., Wiltberger, M. J., Kunches, J., Kress, B. T., and Murray, J. J. Space Weather Nowcasting of Atmospheric Ionizing Radiation for Aviation Safety, 2007. NASA Langley Research Center. Available online at: http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20070005803_2007005368.pdf.
3. Shea M. A., Smart D. F., Vertical Cutoff Rigidities for Cosmic Ray Stations Since 1955. 27th International Cosmic Ray Conference. Contributed Papers, 10, 4063-4066, 2001.
4. Dachev, T. P., Semkova, J. V., Tomov, B. T., Matviichuk, Y. N., Dimitrov, P. G., Koleva, R. T., Kubancak, I. N., Overview of the Liulin type instruments for space radiation measurement and their scientific results. Life Sci. Space Res. 4, 92–114, 2015. https://doi.org/10.1016/j.lssr.2015.01.005.
5. Dachev, T. P., Bankov, N. G., Tomov, B. T., Matviichuk, Y. N., Dimitrov, P. G., Häder, D.-P, Horneck, G., Overview of the ISS radiation environment observed during the ESA EXPOSE-R2 mission in 2014–2016. Space Weather, Vol. 15, 1475–1489, 2017. https://doi.org/10.1002/2016SW001580.
6. Dachev, T., Tomov, B., Matviichuk, Y., Dimitrov, P., Lemaire, J., Gregoire, G., Spurny, F., 2002. Calibration results obtained with Liulin-4 type dosimeters. Adv. Space Res. 30, 917–925. https://doi.org/10.1016/S0273-1177(02)00411-8.
7. Tomchev, N., Mitev, M., Tsankov, L. Novel Linear Step-up Power Supply Module for Detector Systems. Proceedings 32nd International Scientific Conference Electronics, ET 2023, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, ISBN:979-835030200-4, https://doi.org/10.1109/ET59121.2023.10279817,1-4.
8. Mitev, M., L. Tsankov, T. Dachev, B. Tomov, Y. Matviichuk and N. Tomchev, "Radiationless energy calibration of radiation survey meters," 2023 XXXII International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, Bulgaria, 2023, pp. 1-4. https://doi.org/10.1109/ET59121.2023.10279419.
9. Spurný, F. and Dachev, T., 2002. On board aircrew dosimetry with a semiconductor spectrometer. Radiation protection dosimetry, 100 (1–4), pp 525–528. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a005928
10. Zanini, A., Vernetto, S., Ciancio, V., Di Giovan, G., Morfino, P., Liberatore, A., Giannini, G. and Hubert, G., 2019. Environmental radiation dosimetry at high southern latitudes with Liulin type instruments. Journal of environmental radioactivity, *208*, p.105993, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.105993.
11. Długosz-Lisiecka, M., Krystek, M., Koper, M., Grala, T., Leniec-Koper, H., Barasiński, M., Talar, M., Kamiński, I., Kibart, R., Małecki, W. and Kukliński, P., ACTA UNIVERSITA TISLODZIENSIS Folia Geographica Physica 20, 2021: 7–12, 2021. Natural gamma radiation at the sea level around the Antarctic continent recorded south of the 62° parallel. https://doi.org/10.18778/1427-9711.20.01.
12. Shahbazi-Gahrouei, D., Gholami, M. and Setayandeh, S. A review on natural background radiation. Advanced biomedical research, 2(1), p. 65, 2013. https://doi.org/10.4103/2277-9175.115821.
13. Makrantoni, P., Tezari, A., Stassinakis, A.N., Paschalis, P., Gerontidou, M., Karaiskos, P., Georgakilas, A.G., Mavromichalaki, H., Usoskin, I.G., Crosby, N. and Dierckxsens, M., Estimation of Cosmic-Ray-Induced Atmospheric Ionization and Radiation at Commercial Aviation Flight Altitudes. Applied Sciences, 12(11), p. 5297, 2022.

ATMOSPHERIC CO_2 CONCENTRATION FORECAST WITH THE BERN-MODEL AND THE DEVELOPMENT OF THE SURFACE TEMPERATURE

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

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia
e-mail: rolwer52@yahoo.co.uk

Keywords: *Climate change, climate warming, CO_2 emission scenarios, global temperature responses*

Abstract: *In Bern's model the Earth's atmosphere and oceans are considered as a system with input parameters such as CO_2 emissions on the one hand and output parameters such as atmospheric CO_2 concentration on the other hand. This make it possible to determine the impulse response function of CO2 emission and from there to calculate the corresponding CO_2 concentration in the atmosphere by convolution of the CO_2 emission with the impulse response function. The model allows numerical experiments to be carried out to investigate which future CO_2 emission scenario leads to which atmospheric CO_2 concentrations. On this base, future surface temperatures can be estimated without computationally intensive climate models. Some CO_2 emission scenarios are presented with the resulting surface temperatures*.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ CO2 В АТМОСФЕРЕ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ БЕРНА И ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ

Рольф Вернер[1], Венета Гинева[1], Андрей Кириллов[2]

[1]Институт космических исследований и технологий – Болгарская академия наук
[2]Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия
e-mail: rolwer52@yahoo.co.uk

Ключевые слова: *Изменение климата, потепление климата, сценарии выбросов CO_2, реакция на глобальные температуры*

Резюме: *В модели Берна атмосфера и океаны Земли рассматриваются как система с входными параметрами, такими как выбросы CO_2, с одной стороны, и выходными параметрами, такими как концентрация CO_2 в атмосфере, с другой. Это позволяет определить функцию импульсного отклика эмиссии CO_2 и, исходя из нее, рассчитать соответствующую концентрацию CO_2 в атмосфере путем свертки эмиссии CO_2 с функцией импульсного отклика. Модель позволяет проводить численные эксперименты для изучения того, какой сценарий выбросов CO_2 в будущем приведет к тем или иным концентрациям в атмосфере. На этой основе можно оценить будущую температуру поверхности без использования климатических моделей, требующих больших вычислительных затрат. Были разработаны некоторые сценарии выбросов CO_2 с целью достижения климатической цели 1.5°C или 2.0°C.*

Introduction

At the 2015 climate conference held in Paris targets were defined: to hold the global average temperature well below 2 °C and to pursue efforts to limit the temperature increase to1.5°C above pre-industrial levels. Together with world economic organizations, the IPCC has developed in the past scenarios for the further development of greenhouse gas emissions and the corresponding atmospheric concentrations. This type of prediction is extremely difficult, as socio-economic developments are difficult to predict over long periods of time and the limitation of emissions is heavily dependent on political decisions. These have been constantly updated and further developed in subsequent IPCC reports (e.g. in AR5 - Representative Concentration Pathways - RCPs and in AR6 -

Shared Socio-economic Pathways - SSPs). But in a new study of a survey of 211 IPCC authors about the likelihood climate outcomes most of the authors are skeptical that warming will be limited to the Paris targets of well below 2 °C [1]. Our own study of the hemispheric and global temperature anomalies based on a regression model [2] shows an exceed of the 1.5°C and of the 2°C in the Northern Hemisphere about 2030 and 2050, respectively; in the Southern Hemisphere the exceed is expected to be later, about 2048 and 2070, and for the global temperature anomalies the exceed of the limits is to be expected about 2045 and 2060, correspondingly (see Fig. 1).

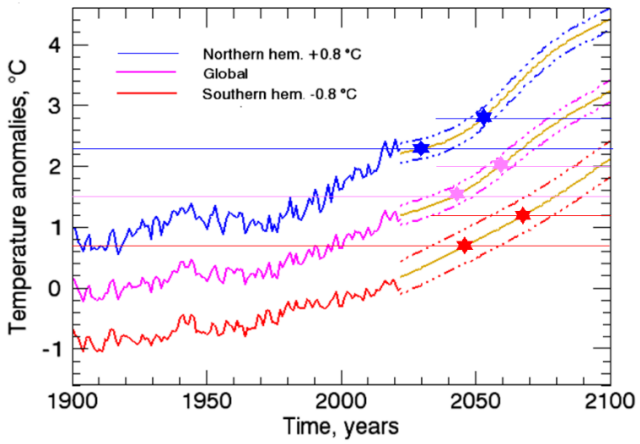


Fig. 1. Prognoses for the temperature anomalies development in the Northern and Southern hemisphere and for the global temperature anomalies. The temperature anomalies from 1900 to 2022 are in blue for the NH, in red for the SH and in magenta for the global temperatures. The prognoses are shown as yellow lines with the 95% confidence bands as double dotted dashed line. The thin lines show the limits and the stars mark the possible position of exceeding the 1.5 and 2 degree limits.

The temperature developments were forecasted under the assumption of business progress as usual. This means that the atmospheric CO_2 concentration increase exponentially in the same way as in the last decades. At present the global temperature achieved a value of 1.54±0.06 °C (https://berkeleyearth.org/global-temperature-report-for-2023) and it is for the first time over the 1.5°C limit. The global fossil carbon dioxide (CO_2) emissions responsible for climate change continue to increase in average. The global emissions of CO_2 up to about 1910 were dominated by changes in Land use [3]. However the increase of the annual global CO_2 emissions is determined basically by the global emitted CO_2 from fuel combustion, as it is shown in Fig. 2.

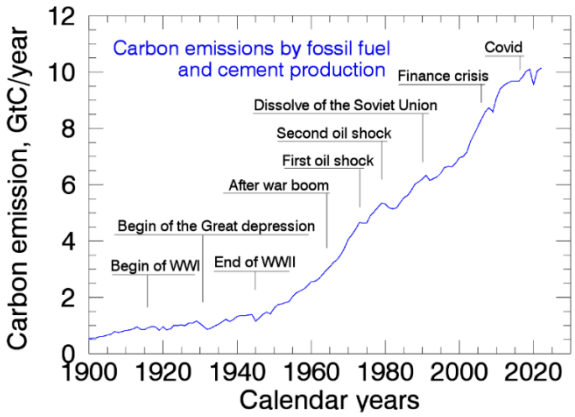


Fig. 2. Global CO_2 emissions including burning of fossil fuel and cement production meassured in GtC.. The figure is drawn based on Data of the Carbon Project (Data supplement to the Global Carbon Budget 2022 | ICOS (icos-cp.eu) and updated from [6].

The increase of the CO_2 emissions during the industrial revolution was interrupted by a period characterised by a slowdown of the emissions throughout the World Wars I and II (WWI and WWII) and the Great Depression [4, 5]. After the WWII the national economies rapidly restored and a boom of the worldwide economic development was registered. Sometimes this period is called Great Acceleration. The rapid economic growth was interrupted by the first and later by the second oil

shocks. The dissolution of the Soviet Union after 1990 and during the economic crisis in 2007/2008 have caused a emission slowdown. The last minimum beginning in 2019 is related to the economic crisis caused by Covid. Since then, CO_2 emission rate has been growing again. In newer time, before covid, in 2019, the emission reached a level of 37.04 Gt CO_2/year. In 2020 it has fallen to its local minimum of 35.01 Gt CO_2/year and in 2023 it is expect to grow at 37.55 GtCO_2/year (Global CO2 emissions by year 1940-2023 | Statista.) The year to year changes of the emission rates are small like the one resulting by Covid. Of the globally emitted CO_2, around 50% end up in the atmosphere and are accumulated for a long time in different sinks. About half of the remaining 50% are stored in the world ocean, the other half in the land ecosystem. The main sinks of CO_2 are the ocean solution of CO_2, the photosynthesis by terrestrial plants and oceanic phytoplankton.

Carbon Dioxide emissions and the determination of atmospheric Carbon Dioxide concentration with the Bern model

The CO_2 concentration was estimated with the help of the Bern-model. In this model the Earth's atmosphere and oceans are considered as a system with input parameters such as CO_2 emissions on the one hand and output parameters such as atmospheric CO_2 concentration on the other hand. This makes it possible to determine the impulse response function of CO_2 emission and from there to calculate the corresponding CO_2 concentration in the atmosphere by convolution of the CO_2 emission with the impulse response function:

(1) $$CO_{2,atm}(t) = \int_{t_0}^{t} CO_{2,em}(t') * IRF(t-t')dt' + CO_{2,atm}(t_0),$$

where $CO_{2,atm}$ is the mass of CO_2 in the atmosphere (in $GtCO_2$ or related to carbon in GtC)
$CO_{2,em}$ is the mass of emitted CO_2 (in $GtCO_2$ or related to carbon in GtC)
$CO_{2,atm}$ (t_0) is the mass CO_2 in the atmosphere at the time t_0 (in $GtCO_2$ or related to carbon GtC)
IRF is the response function to a CO_2 impulse.

As $CO_{2,em}$ here the total CO_2 emitted by fossil burning and cement production corrected by emission from land use, is used (see Fig. 3).

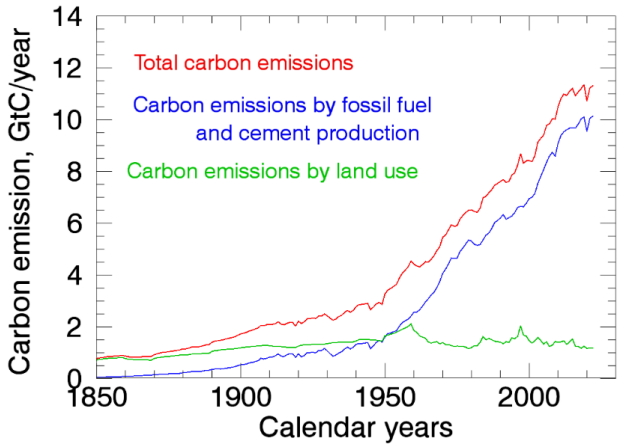


Fig. 3. Global total CO_2 emissions (red line) including burning of fossil fuel and cement production (blue line) and the emission by klans use (green line) meassured in GtC.. The figure is drawn based on Data of the Carbon Prject (Data supplement to the Global Carbon Budget 2022 | ICOS (icos-cp.eu)

Often the mass of CO_2 is given in GtCO_2 which is greater than the mass given in GtC by a factor of 3.664. On the other side the mass in GtC in the atmosphere can be easily converted in concentration of CO_2 by 1 GtC = 0.47 ppm CO_2. The impulse response function is a series of exponential functions:

(2) $$IRF(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{k} a_n e^{-\frac{t}{\tau_n}},$$

where the coefficients a_0 and a_n are fractions of the CO_2 emissions, which the life time τ_n

characterizing the decay of the impulse. The sum of the coefficients is one. We have used the standard SAR model with the following parameters: k=5, a_0=0.1369, a_1=0.1298, a_2=0.1938, a_3=0.2502, a_4=0.2086, a_5=0.0807 and τ_1=371.6, τ_2=55.7, τ_3=17.01, τ_4=4.16, τ_5=1.33 [7,8]. To examine the quality of the results, obtained with the model, we have calculated the $CO_{2,atm}$ from the given $CO_{2,em}$ from 1970 up to 2022. Fig. 4.

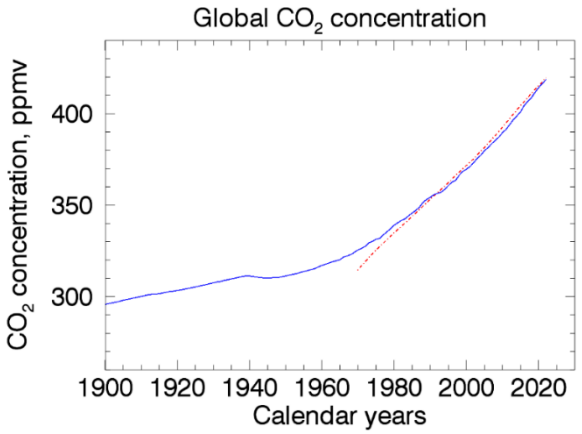


Fig. 4. Comparison of the observed CO_2 concentration (blue line) with the calculated one (red dashed dotted line) by means of the Bern-model with the total Carbon emissions as input

shows the obtained global annual $CO_{2,atm}$ (CO_2 concentration in the atmosphere) determined by measurements at Mauna Loa observatory, Hawaii in comparison with the calculated ones by the Bern-model based on the total carbon emissions (see Fig. 2, red line). The temperature anomalies are calculated using the result from our regression T=3.3*ln(CO_2/280ppm) +0.37 for the global temperature [2]. In the interval from 1975 up to 2022 the calculated by the model $CO_{2,amt}$ concentration agrees very well with the observations. The errors are almost smaller than 1 ppm corresponding to and relative error of 0.3%. The errors are somewhat greater only in the region where the well-known plateau between 1940 and about 1955 effected the atmospheric CO_2 concentration. The plateau is not observed in the emissions, therefor an additional sink has to be assumed as it was done in a previous work by the authors [6]. With an additional sink, a very good agreement was achieved in the model calculation of the atmospheric CO_2 concentration over the entire time interval (not shown here).

Carbon Dioxide emission scenarios

We can determine the CO_2 concentration in the atmosphere using eq.(1) and (2) for a future model of CO_2 emissions. At first, the effect a constant in time emission and an abrupt zero-emission after 2022 will be shown, where up to 2022 the observed atmospheric CO_2 is assumed. Both scenarios are graphically displayed in fig 5a. As it is seen in Fig. 5b, the concentration of CO_2 in the atmosphere in the case of constant emission increases and consequently the temperature increases by a value of about 0.8 °C from 2022 up to 2100. The corresponding temperature anomalies are shown in Fig. 5c. The zero-emission results in a slow decrease of the CO_2 concentration and of a temperature anomaly of about 0.6°C at the end of the century. For comparison, figure 5b shows the concentration for an assumed exponential development of CO_2 growth with a constant exponent, the same as for the time interval from 1970 to 2022 (business as usual), and the resulting temperature in fig. 5c (yellow lines). Apart from the fact that we are in 2024 and that CO_2 emissions continue to grow, an abrupt 0 emissions growth is economically and politically unfeasible. Even a continuous linear decrease in annual emissions from the CO_2 level in 2022 to 0 GtC/year in 2100 is not realistic and, moreover, leads to a CO_2 concentration of about 484 ppmv and a temperature increase to 1.64 °C, and not to a temperature decrease. Therefore, models are being investigated here in which the growth of CO_2 emissions in the next decades continues as before (see Fig. 6a). In this available time, the technologies should be developed or further that are free of CO_2 emissions and that land use is also emission-free through reforestation and modern technologies, e.g. plant and animal production. We therefore consider emission scenarios here that are not based on any further restrictions on emissions until 2030. Emission rates continue to rise as until 2022 (business as usual). Only the annual increase in the emission rate is limited to 3 GtC/year for the next 8 years (until 2030). After that, the growth rate for models for model 1 and 2 is set at 3 GtC/year until 2040. Thereafter, the emission rate is assumed to remain constant at 17.3 GtC/year - for model 1 until 2070, and for model 2 until 2050. In order to

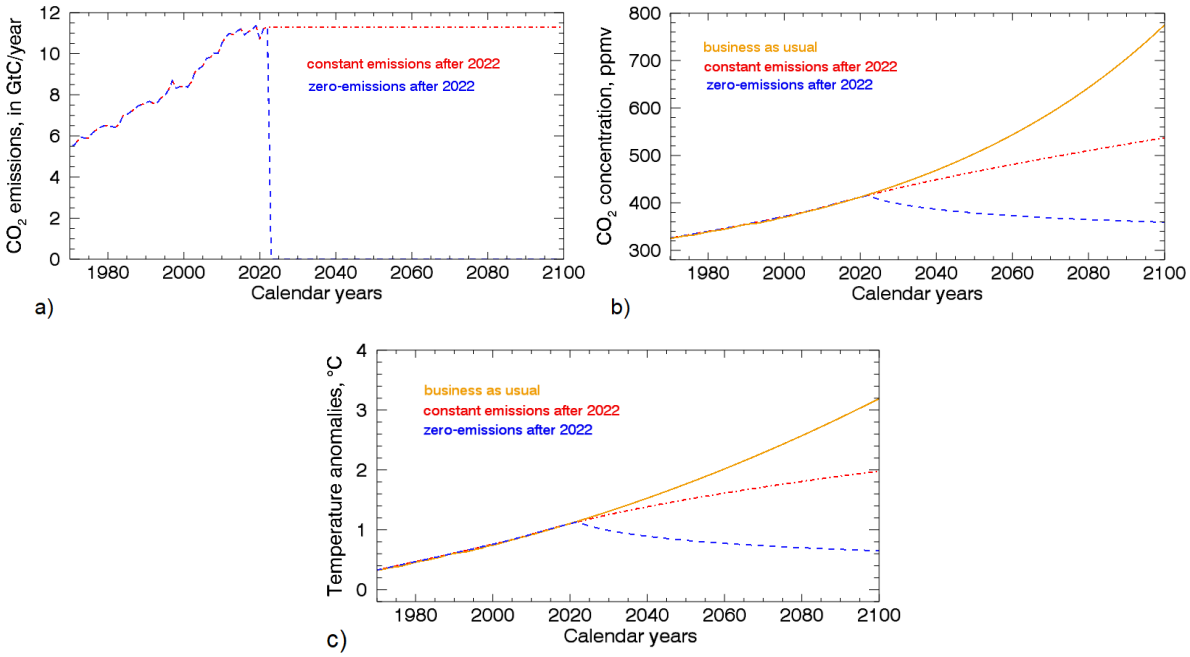


Fig. 5. a) Model of observed atmosphere CO_2 concentration up to 2022 and a constant emissions after 2022 (red line) and model of observed atmosphere CO_2 concentration up to 2022 and a zero-emissions after 2022 (blue line) and b) their atmosphere CO_2 concentration and c) surface temperature responses. For comparison the exponential grow of the atmosphere CO_2 concentration (yellow line in b) and c) resulting the temperature response.

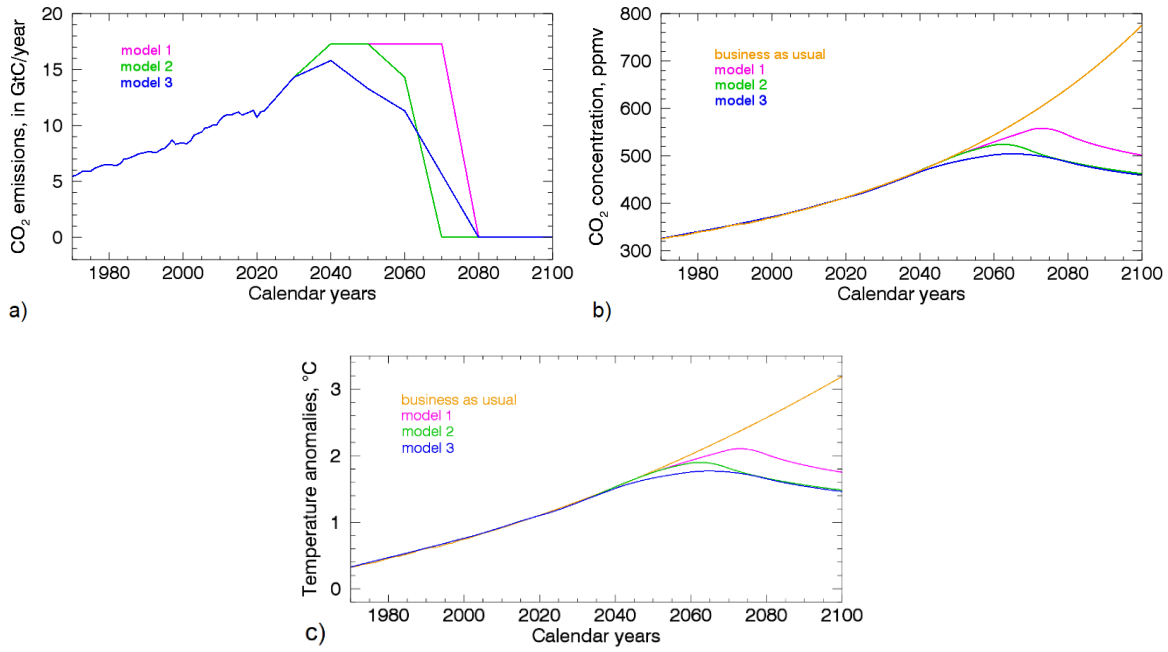


Fig. 6. Responses of atmospheric CO_2 concentration (b) and surface temperature (c) to assumed CO_2 emissions (a)

ensure compliance with the 2°C limit for model 1 an abrupt drop to the level of zero emission is necessary after the period of constant emission (see Fig. 6 model 1, magenta lines). An overshoot (a short time interval with temperatures greater than the limits) over 2°C for the model 1 results for 2060-2090 with a maximal temperature of 2.1°C. In 2100 a temperature of about 1.75°C would be achieved. A shortening of the time interval with constant emission up to 2050 allows a delay and slowing down of the emission drop (see Fig. 6 model 2, green lines). For this scenario the 2°C limit would be not achieved. However an overshoot of the 1.5°C limit would be observed from 2040 to 2090 with a maximum of about 1.9°C. For the emission model 3 an emission increase up to 2030 is

assumed, as for model 1 and model 2. After this the grow rate up to 2040 is limited to 1.5 GtC/year and reaches 15.8 GtC/year in 2030. Up to 2040 the CO2 emission decrease to a value of 13.3 GtC/year. By 2060, the emission value of 2022 will be reached and after that it will fall uniformly until zero in 2080. The interval of the overshoot for the 1.5°C limit is very close to the one of model 2. Only the maximum is slightly smaller and would be 1.8°C. After 2070 the temperature anomalies obtained by model 2 and 3 would be approximately the same. For both models a temperature of about 1.5°C is reached in 2100. We have to point out that the aim of the paper is not to construct real emission scenarios. The aim was to illustrate different CO_2 emission scenarios estimating the CO_2 concentration and temperature anomalies response using the Bern-model.

Summary

The Bern-model with its CO_2 emissions and CO_2 concentration in the atmosphere is presented. The concentration and response to idealized case of constant emission and zero-emission after 2022 are determined. Three different emission scenarios were constructed with the aim of meeting the Paris climate targets. Low temperature overshoots were accepted. The scenarios are not real, but they serve more to demonstrate the possibilities of working with the Bern model. Some authors criticize temperature overshoots because the occurrence of tipping points is still vaguely known.

References:

1. Wynes, S. , S. J. Davis, M. Dickau, S. Ly, E. Maibach, J. Rogelj, K. Zickfeld H. D. Matthews, Perceptions of carbon dioxide emission reductions and future warming among climate experts, *Communications Earth & Environment* volume 5, Article number: 498, 2024.
2. Werner, R., V. Guineva, D. Valev, A. Kirillov, Global and hemispheric temperature rise – prognoses for the near future, Aerospace Research in Bulgaria, submitted
3. Siegenthaler, U, H. Oeschger. Biospheric CO2 emissions during the past 200 years reconstructed by deconvolution of ice core data, Tellus, 1987, 39B, 140–54. DOI:10.3402/TELLUSB.V39I1-2.15331
4. Houghton, R. A., Balancing the global carbon budget, Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 313–47, 2007. DOI:10.1146/annurev.earth.35.031306.140057
5. Friedrich, J., T. Damassa. The History of Carbon Dioxide Emissions, 2014. http://www.wri.org/blog/2014/05/history-carbon-dioxide-emissions
6. Werner, R., V. Guineva, The global temperature anomalies related to the slowdown of atmospheric CO_2 concentration observed from 1939 up to 1950, Aerospace Research in Bulgaria, 31, 40-60, 2019. DOI:https://doi.org/10.3897/arb.v3.e04
7. Joos, F., R. Roth, J. S. Fuglestvedt et al. Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics: a multi-model analysis, Atmos. Chem. Phys., 13, 2793–2825, 2013. https://doi.org/10.5194/acp-13-2793-2013
8. Joos, F. Parameters for tuning a simple carbon cycle modelhttps://unfccc.int/resource/brazil/carbon.html Special report „Global warming of 1.5 “, 2018, https://www.ipcc.ch/sr15/

STUDY OF THE MIDLATITUDE POSITIVE BAYS AT THE MAGNETIC STATION PANAGYURISHTE DURING THE DESCENDING PHASE OF SOLAR CYCLE 24

Veneta Guineva[1], Rolf Werner[1], Rumiana Bojilova[2], Lyubomira Raykova[1], Atanas Atanassov[1], Dimitar Valev[1]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: v_guineva@yahoo.com

Keywords: *magnetospheric substorms, midlatitude positive bays (MPB), intrplanetary and geomagnetic conditions, Panagyurishte magnetic station*

Abstract: *The effect of substorms at midlatitudes is manifested as specific oscillations in the magnetic field at the Earth surface: peaks in the North component X, known as midlatitude positive bays (MPB), and a systematic variation in the East component Y, consisting of a single cycle of sine wave. It was found out that the rate of substorm occurrence depends on the phase of the solar cycle and that most substotrms occur during the decending phase of the solar cycle. The aim of this work is to study the midlatitude positive bays, related to magnetospheric substorms, that were identified at the midlatitude Bulgarian magnetic station Panagyurishte during the descending phase of solar cycle 24. Therefor 255 MPB's observed in 2017, have been examined. The interplanetary and geomagnetic conditions during these substorms have been investigated. The MPB beginnings have been compared to the onsets of the same substorms, determined by SML index data. A comparison of the number of registered MPB's during different solar cycle phases has been made. It was ascertained that during the 24 SC actually most substorms occurred during the descending phase, another, smaller maximum of the number of substorms was observed during the ascending phase, and minima during the maximum and the minimum of the SC were observed.*

ИЗСЛЕДВАНЕ НА СРЕДНОШИРОТНИТЕ МАКСИМУМИ ПРИ МАГНИТНА СТАНЦИЯ ПАНАГЮРИЩЕ ПРЕЗ НИЗХОДЯЩАТА ФАЗА НА СЛЪНЧЕВ ЦИКЪЛ 24

Венета Гинева[1], Ролф Вернер[1], Румяна Божилова[4], Любомира Райкова[1], Атанас Атанасов[1], Димитър Вълев[1]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]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), междупланетни и геомагнитни условия, магнитна станция Панагюрище*

Резюме: *Влиянието на суббурите на средни ширини се проявява като специфични колебания в магнитното поле на земната повърхност: максимуми в северната компонента X, известни като магнитни максимуми на средни ширини или средноширотни максимуми (MPB), и систематично изменение на източната компонента Y, състоящо се от единичен синусов цикъл. Установено е, че честотата на поява на суббури зависи от фазата на слънчевия цикъл и най-много суббури възникват през низходящата фаза на слънчевия цикъл. Целта на тази работа е да се изследват средноширотните максимуми, свързани с магнитосферни суббури, идентифицирани при средноширотната българска магнитна станция Панагюрище през низходящата фаза на слънчев цикъл 24. Затова са разгледани 255 MPB, наблюдавани през 2017. Изследвани са междупланетните и геомагнитни условия по време на тези суббури. Началата на MPB са сравнени с началата на съответните суббури, определени по данни за SML индекса. Направено е сравнение на броя регистрирани MPB през различни фази на слънчевия цикъл. Установено е, че действително през SC 24*

най-много суббури са възникнали през низходящата фаза, още един, по-малък максимум, е наблюдаван през низходящата фаза, а през максимума и минимума на слънчевия цикъл са наблюдавани минимуми на броя суббури.

Introduction

Magnetospheric substorms are one of the main structural parameters of space weather. The basic disturbances of the Earth's magnetosphere are in consequence of the substorms development. After the current theory, during magnetospheric substorms, a current system forms, namely the so-called Substorm current wedge (SCW) [e.g. 1, 2], by the deviation of the tail current along the magnetic field lines through the ionosphere and the formation of auroral electrojets. The auroral electrojets have been investigated since 1970s [e.g. 3, 4]. The substorm current wedge provokes disturbances in the Earth magnetic field: negative bays of the X-component at auroral latitudes and positive bays of X at midlatitudes (midlatitude positive bays – MPB), which accompany the expansion of the magnetospheric substorms [e.g. 1, 5]. The magnetic disturbances at the Earth surface have been used in lots of investigations to study the magnetospheric substorms. The midlatitude magnetic variations are a powerfull tool for the magnetospheric substorms investigation. The MPB's are a good indicator of the substorm onset [6], and the sign of Y component was used to estimate the direction of the field aligned currents at a given longitude [7].

The magnetospheric substorms may be accompanied or not by magnetic disturbances at midlatitudes. The presence and strength of the midlatitude magnetic disturbances caused by magnetospheric substorms, depend on the substorm strength, the measuring point location (distance from the substorm meridian and geomagnetic latitude), and also on the interplanetary and geomagnetic conditions. As different structures of the solar wind prevail during the different phases of the solar cycle [8], different distribution of the MPB's by number and intensity may be expected during different SC phases.

The purpose of this work is first, to verify the interplanetary and geomagnetic conditions during substorms, which caused strong MPB at the Bulgarian magnetic station Panagjurishte during the descending phase of SC 24. For this, the found out MPB's in 2017, which is in the center of the descending phase of SC 24 have been used from the Catalog of the magnetic variations at the Panagjurishte station [9, 10, 11]. This work aims also to verify the variations of the number of substorms during the different phases of SC 24 and the relative share by different MPB maximal value ranges during the ascending and descending phases of SC 24.

Data used

For the study, data from the Catalog of the magnetic variations at the Panagjurishte station (PAG) (~37° GMLat, ~97° GMLon), developed at the Space Research and Technology Institute of the Bulgarian Academy of Sciences, have been used. The catalog is available at: http://space.bas.bg/Catalog_MPB/. Data from 2017, 2012 and 2022 were examined.

The interplanetary and geomagnetic conditions have been specified by data of OMNI database of the CDA Web (https://cdaweb.gsfc.nasa.gov/) and the Catalog of large scale solar wind phenomena (http://www.iki.rssi.ru/pub/omni/catalog/).

To compare the results for the substorms by the MPB's, registered at PAG, with other results of substorms at the same time, the substorm list by Newell and Gjerloev (2011), has been used (https://supermag.jhuapl.edu/substorms/?tab=description), SML index from SuperMAG (https://supermag.jhuapl.edu/indices/) and IL index data from IMAGE database (https://space.fmi.fi/image/www/il_index_panel.php).

Interplanetary and geomagnetic conditions in the time of MPB

In 2017, 255 MPB's have been detected (Catalog of the magnetic variations at PAG [10, 11]). We examined the strongest of them, with maximum of the MPB greater than 20 nT. They are 29. Some characteristics of the MPB's and the peculiarities of the interplanetary and geomagnetic conditions at the same time are summarized in Table 1. The consecutive columns of the table are as follows: case number, date, the beginning time of MPB at PAG, MPB maximal value, MPB amplitude, observed structure in the solar wind, SYM/H index minimal value, the time of SYM/H minimum, SYM/H value at the MPB beginning time, the phase of the geomagnetic storm at the MPB beginning time (if a geomagnetic storm was developed at the same time).

In most of the cases (24), as it might be expected [8], CIR or HSS were observed in the solar wind. In only one case Slow solar wind (v<450 km/s) was detected. In all cases, geomagnetic storms developed. Taking into account, that HSS usually provoke weaker storms, than CIR, MC and Sheath,

it is not surprising that 17 geomagnetic storms were weak (30 nT < SYM/H_{min} < 50 nT); 10 storms were moderate and 2 – strong.

Table 1. Interplanetary and geomagnetic conditions in the time of strong MPB's in 2017

№	date	MPB beginning time	MPB_{max} nT	Amplitude nT	Solar wind structure	SYM/H_{min} nT	Time of SYM/H_{min}	SYM/H nT	Storm phase
1	05.01.2017	23:07	24.04	36.72	ISa, HSS	-47	23:23	-40	main
2	01.02.2017	20:58	25.80	46.37	HSS	-40	22:50	-21	main
3	03.02.2017	19:39	20.15	27.04	HSS	-40	08:46	-21	Late recovery
4	17.02.2017	23:18	24.90	45.41	HSS	-41	23:57	-19	main
5	01.03.2017	18:55	20.29	29.20	CIR	-74	22:17	-33	main
6	02.03.2017	19:05	22.85	38.80	HSS	-74	22:17	-30	Late recovery
7	05.03.2017	20:05	22.48	39.47	HSS	-37	02:57/06.03	-22	main
8	08.03.2017	21:47	21.90	38.96	HSS	-32	01:00/09.03	-21	main
9	21.03.2017	18:24	20.34	41.91	CIR	-46	23:36/22.03	-28	main
10	22.03.2017	20:43	21.45	39.10	HSS	-46	23:36	-19	main
11	30.03.2017	19:56	24.09	36.23	HSS	-60	01:43/31.03	-33	main
12	31.03.2017	20:46	21.26	35.24	HSS	-48	15:33	-34	recovery
13	21.04.2017	19:05	24.00	47.60	HSS	-53	23:58/22.04	-6	main
14	27.05.2017	22:39	26.33	32.67	MC	-142	07:13/28.05	17	main
15	16.06.2017	21:58	20.66	40.48	HSS	-38	00:00/17.06	-24	main
16	16.07.2017	17:34	23.76	40.70	SHE	-67	15:51	-46	Near recovery
17	17.08.2017	22:33	28.84	28.70	HSS	-36	10:01	-25	Late recovery
18	23.08.2017	17:55	22.80	36.65	EJE/HSS	-52	12:35	-31	recovery
19	07.09.2017	22:59	22.22	43.71	IS	-146	01:10/08.09	-30	main
20	15.09.2017	21:00	22.18	46.48	HSS	-44	04:30/16.09	-26	main
21	24.10.2017	21:52	20.10	41.85	CIR	-36	22:48	-27	main
22	24.11.2017	20:17	22.70	38.56	SLOW	-33	22:39	-22	main
23	12.12.2017	19:28	22.53	34.55	HSS	-38	18:40	-33	Near recovery
24	01.03.2017	22:16	38.96	69.57	HSS	-74	22:17	-73	Max development
25	15.09.2017	19:10	34.75	58.76	HSS	-44	04:30/16.09	-12	main
26	13.10.2017	18:38	37.89	54.69	HSS	-66	00:22/14.10	-50	main
27	07.11.2017	18:09	30.60	57.68	CIR	-89	04:04/08.11	-34	main
28	17.12.2017	18:45	35.56	58.31	HSS	-34	20:30	-29	main
29	27.03.2017	19:27	50.92	82.20	CIR	-86	14:45	-49	recovery

Comparison of the obtained results with results for the same substorms by SML index

To compare the substorm results by PAG magnetic data, we used the substorm list by Newell and Gjerloev [12] from the SuperMAG database, where the SML index is used to identify substorm events. It should be taken into account, that all existing substorm onset identification techniques have limitations. By reason of the applied technique and its assumptions, there may be some differences in the identified substorms and in the determined onsets.

For our comparison, we constructed Table 2, including our data and corresponding data from the Newell and Gjerloev substorm list [12]. The columns in Table 2, are as follows: case number after Table 1, event date, substorm onset time by the substorm list, magnetic and geographic coordinates of the onset (MLT, MLAT, MLON, GLAT, GLON), station, the beginning time of the midlatitude positive bay (MPB) at PAG, the difference between the substorm onset time and the MPB beginning time (Δt), and the value of Y at PAG at the moment of the MPB maximum (YPAG).

From Table 2 it is seen, that all substorm events, identified by local (European) data, have been identified by techniques, using SML index. The time difference Δt in most cases is small, but there are also cases when Δt is much greater than expected. The MPB beginning at PAG doesn't coincide with the substorm onset, unless the substorm meridian coincide with the PAG location. In all other cases it should be nearly after the substorm onset. That means, that Δt in Table 2 is expected to be small and negative. In our previous studies [9] we have supposed, that the slightly earlier MPB beginning at PAG than the substorm onset time determined based on SML index may be due to the difficulty to estimate whether the smaller disturbances before the sharp decrease of X are the result of localized or global events in the magnetosphere, especially under disturbed conditions or when the

substorms are not isolated. Later we came to the conclusion, that obtained greater differences between the determined substorm onsets and the MPB beginning at PAG in some cases are maybe result of the assumptions made and the conditions set in the processing tools of the different techniques [13]. In some cases, when the disturbance is great and spreads over a large longitudinal area the longer disturbance delay at PAG and generally over Europe may be due to the remoteness of the substorm onset.

Table 2. Comparison of the obtained beginnings of the examined MPB's with the results of identified substorms at the same time by Newell and Gjerloev (2011)

№	date	UT	MLT	MLAT	MLON	GLAT	GLON	station	MPB beginning time (this work)	Δt, min.	Y_{PAG}
1	05.01.2017	22:43	23.83	63.75	95.33	66.11	12.5	DON	23:07	-24	-6.35
2	01.02.2017	21:01	22.63	67.07	102.95	69.66	18.94	TRØ	20.58	3	-5.60
3	03.02.2017	19:29	23.88	67.35	143.28	71.16	66.83	KHS	19:39	-10	3.69
4	17.02.2017	23:21	0.74	63.82	99.02	66.4	16.98	JCK	23:18	3	-3.68
5	01.03.2017	18:37	21.22	64.77	114.46	67.97	35.02	LOZ	18:55	-18	18.97
6	02.03.2017	19:05	23.25	65.95	137.66	69.6	61.21	AMD	19:05	0	10.88
7	05.03.2017	20:08	22.17	67.8	106.21	70.54	22.22	SØR	20:05	3	-6.78
8	08.03.2017	22:01	0.13	64.41	107.29	67.37	26.63	SOD	21:47	14	-14.57
9	21.03.2017	18:43	23.42	70.64	143.28	71.16	66.83	KHS	18:24	19	11.55
10	22.03.2017	20:47	23.05	64.41	107.29	67.37	26.63	SOD	20:43	4	-7.08
11	30.03.2017	19:56	21.81	66.86	100.42	69.3	16.03	AND	19:56	0	-0.55
12	31.03.2017	20:06	0.88	67.35	143.28	71.16	66.83	KHS	20:46	-40	8.63
13	21.04.2017	19:10	21.83	68.19	109.43	71.09	25.79	NOR	19:05	5	-2.09
14	27.05.2017	22:40	1.29	64.41	107.29	67.37	26.63	SOD	22:39	1	17.65
15	16.06.2017	21:58	23.77	63.75	95.33	66.11	12.5	DON	21:58	0	-7.56
16	16.07.2017	18:18	20.59	66.65	106.46	69.46	23.7	MAS	17:34	44	-0.26
17	17.08.2017	22:16	23.88	63.75	95.33	66.11	12.5	DON	22:33	-17	6.90
18	23.08.2017	17:30	6.36	65.45	263.97	64.87	212.14	CMO	17:55	-25	14.36
19	07.09.2017	23:00	0.89	61.87	99.33	64.61	18.75	LYC	22:59	1	31.83
20	15.09.2017	20:50	5.39	66.71	197.28	71.59	128.92	TIK	21:00	10	-4.77
21	24.10.2017	21:54	0.22	65.19	105.26	68.02	23.53	MUO	21:52	2	3.86
22	24.11.2017	20:25	22.25	66.86	100.42	69.3	16.03	AND	20:17	8	-6.66
23	12.12.2017	19:35	23.82	65.95	137.66	69.6	61.21	AMD	19:28	7	3.88
24	01.03.2017	21:41	1.8	65.95	137.66	69.6	61.21	AMD	22:16	-35	-11.83
25	15.09.2017	19:12	23.75	65.95	137.66	69.6	61.21	AMD	19:10	2	9.11
26	13.10.2017	18:24	3.03	66.71	197.28	71.59	128.92	TIK	18:38	-14	-4.83
27	07.11.2017	18:26	21.05	68.19	109.43	71.09	25.79	NOR	18:09	17	17.78
28	17.12.2017	18:44	7.14	70.86	258.21	70.36	211.2	JCO	18:45	-1	-7.19
29	27.03.2017	19:23	7.46	70.64	251.13	71.32	203.38	BRW	19:27	-4	-1.32

A case with great MPB registered at PAG

The substorm development on 27.03.2017 at 19:23 UT by [12] (case 29) and its appearance at PAG are examined in detail. During this substorm, a strong MPB was registered at PAG. The maximal MPB value was 50.9 nT, and its amplitude – 82 nT. Such strong disturbances are rarely observed in Panagyurishte (42.5° N, ~37°GMLat). The interplanetary and geomagnetic conditions during the substorm are presented in Fig. 1. In the left panel, some solar wind components and geomagnetic indices are presented. The substorm time is indicated by a red vertical line. At this time, a CIR was observed in the solar wind, followed by a HSS. The CIR provoked a moderate geomagnetic storm with SYM/H_{min} = -86 nT. In the right panel of Fig. 1, the magnetic disturbances and ionospheric currents by AMPERE and SuperMAG data are shown for the times of the beginning of the examined disturbance and its development over Europe. In Fig. 2, the substorm by the SML index, by the magnetic field at BRW (left panels), by IL index and by the MPB at PAG (right panels) is presented. The substorm onset was detected in the morning sector, at the Borrow station (BRW), which is at 203°

GLon, about 180° to the East form PAG (see the upper row and the left picture of the bottom row of the right panel of Fig. 1). The beginning of the magnetic disturbance is seen at 18:32 UT at BRW (bottom left panel of Fig. 2, red vertical line). This disturbance can be detected also by SML (left upper panel in Fig. 2, red vertical line).

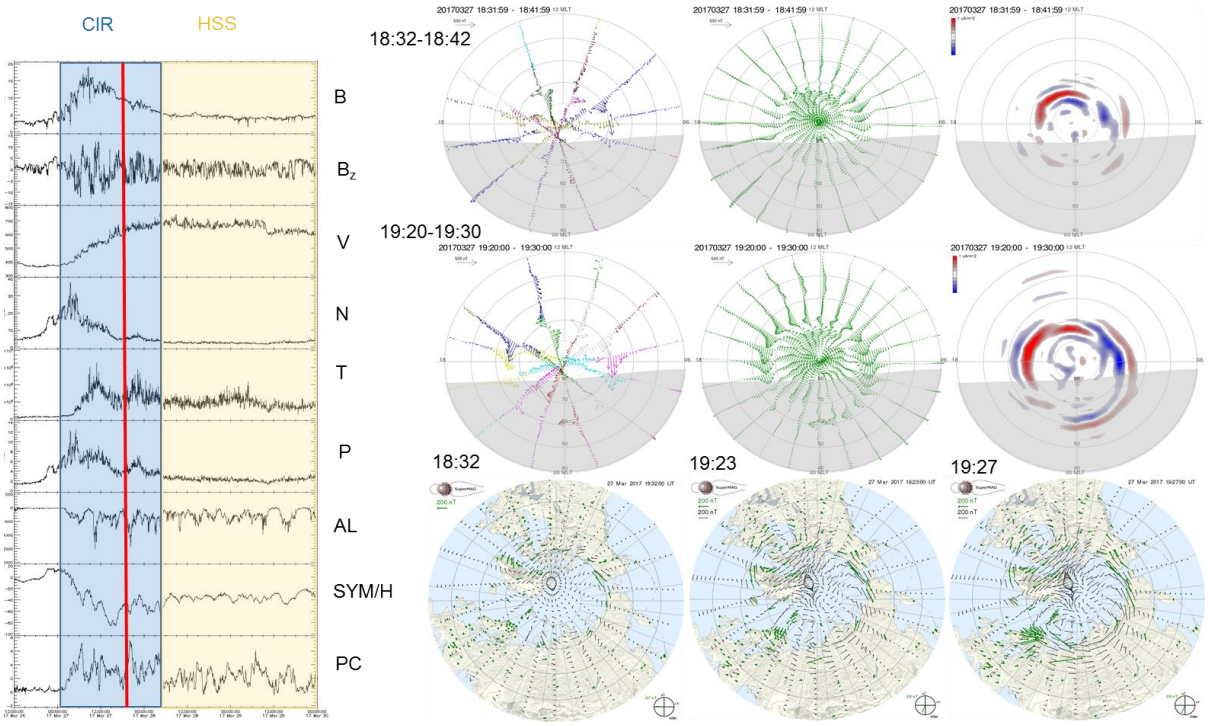


Fig. 1. Interplanetary and geomagnetic conditions during the substorm on 27.03.2017

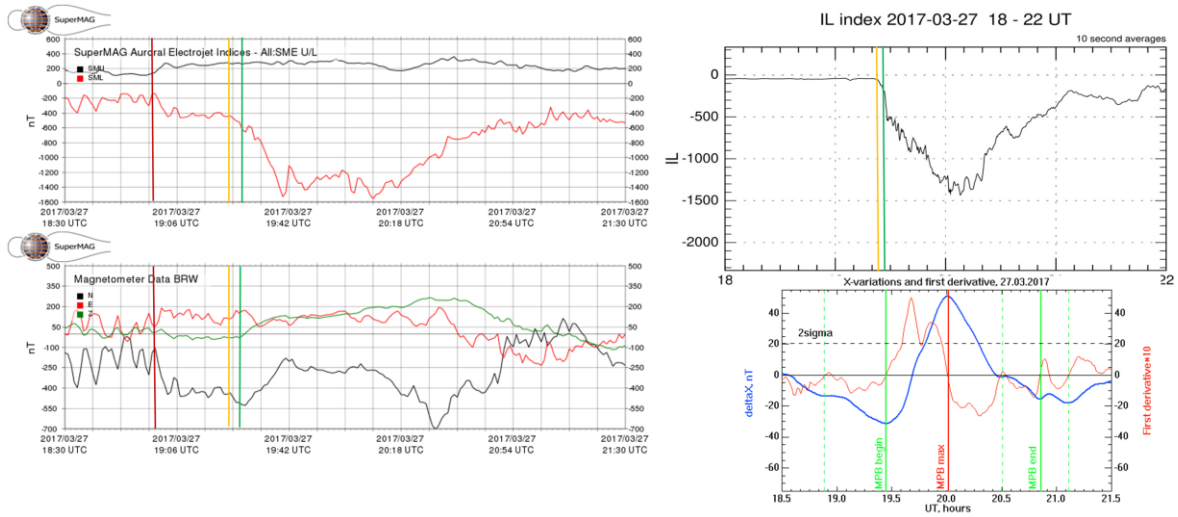


Fig. 2. Appearance of the substorm on 27.03.2017 by SML index (upper left panel), magnetic field at Barrow (BRW) station (bottom left panel), IL index (upper right panel) and MPB at Panagyurishte (PAG) (bottom right panel). The green vertical lines indicate the MPB beginning at PAG, the orange lines – the substorm onset by Newell and Gjerloev (2011), and the dark red lines – the substorm onset at BRW by eye inspection.

Later, at about 19:23 UT, a sharp westward expansion of the disturbance was observed, covering about 170 degrees of longitude, which was also observed over Europe (the middle right panel and the middle picture of the bottom right panel of Fig. 1). This development was expressed by a sharp decrease in the SML and IL indices, indicated by yellow vertical lines in the upper panels of Fig. 2. The beginning of the disturbance at PAG was observed at 19:27 UT. This time is shown by green vertical line in all panels of Fig. 2. The deviations of the magnetic field in the Northern hemisphere by SuperMAG at 19:27 UT (right picture of the right bottom panel of Fig. 1) also confirm this development.

Observed MPB at PAG during different SC phases

The variations in the number of substorms, accompanied by MPB at PAG, in the course of the SC have been studied. We dispose of PAG magnetic data since 2007, so the whole SC 24 is included in them. In Fig. 3, the number of noticeable MPB's registered at PAG from 2007 to 2022 is shown. It is seen that the maximum MPB's were observed in 2017, which is about the middle of the descending SC phase. Another, lower maximum arises during the ascending phase (2011–2012). Near the SC minima and maximum (vertical lines in Fig. 3), minima in the course of the MPB number are observed.

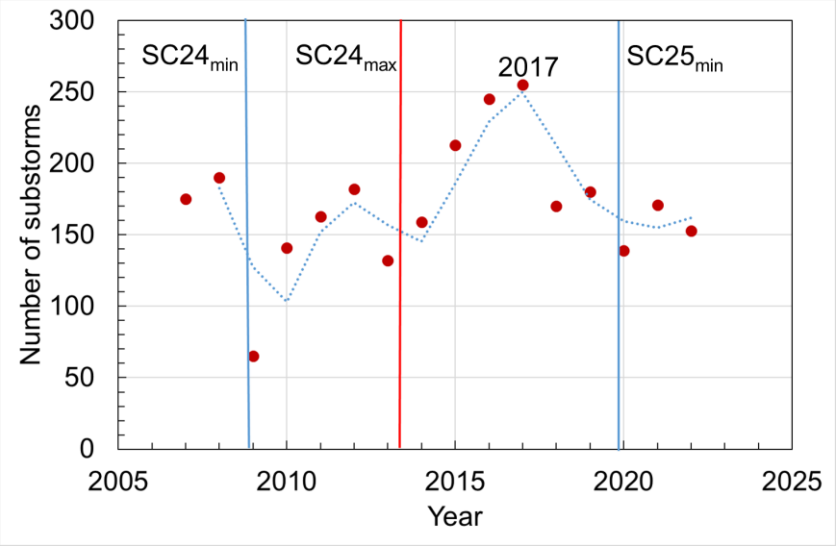


Fig. 3. Number of MPB's registered at PAG from 2007 to 2022. The solar cycle minima are marked by blue vertical lines, and the SC maximum – by red vertical line.

To study the distribution of MPB's by maximal value during years from different SC phases, the MPB's during 3 years: 2012, 2017 and 2022, have been examined. The results are presented in Table 3. It is seen, that relative share of MPB's with maxima in the range 5–10 nT is comparatively the same in the ascending and descending SC phases. The number of MPB's with maxima in the range 10–20 nT is slowly lower in the descending phase at the expense of a larger number in the intervals above 20 nT.

Table 3. Relative share of the number of MPB's for years in different phases of the SC

year	MPBmax>5nT	MPBmax>10nT	MPBmax>20nT	MPBmax>30nT	SC phase
2012	55.49%	34.61%	8.8%	1.1%	ascending
2017	55.7%	33%	9%	2%	descending
2022	56.21%	34.64%	7.84%	1.3%	ascending

Summary

The strong midlatitude positive bays (MPB) (Xmax>20 nT) registered at Panagujrishte (PAG) during the descending phase of SC 24 (in 2017) were related to substorms, developed during disturbed interplanetary and geomagnetic conditions. The obtained MPB beginning times are close to the substorm onsets determined from the SML index except a few cases.

The obtained small differences may be due to some distance of PAG station from the substorm meridian, as well as to the complicated conditions, when some smaller magnetic perturbations just before the sharp decrease of X are related to the beginning of the global magnetospheric disturbances. We presume, that the substorm onsets could be more easily and accurately determined by the midlatitude positive bays data from a global or regional set of midlatitude magnetic stations [9, 13].

The obtained greater differences between the determined substorm onsets and the MPB beginning at PAG in some cases can be obtained during very strong, prolonged, extended substorms, developed over a large area in longitude, when the substorm onset location is far from PAG, and the disturbance reaches PAG in some longer time interval.

The obtained greater differences between the onsets and the PAG MPB's maybe also the result of the applied processing techniques and their assumptions. It should be taken into account,

that all existing substorm onset identification techniques have limitations. The contributions of stations far from the substorm meridian, in such cases may lead to significant discrepancies between the substorm onset, determined by global (SML) and regional (IL, European MPB index) indices. Hence, all results have to be verified for every concrete case.

The highest number of MPB's is recorded during the descending phase of the solar cycle, another, lower maximum is observed during the ascending phase of the solar cycle, and minima in the number of MPBs occur around the SC minimum and maximum. The relative number of MPB in the interval 5–10 nT is preserved in the years of the ascending and descending phase, while in the interval 10–20 nT the number of MPB is slightly lower during the descending phase. On the other hand, the number of MPBs with a maximum above 20 nT is higher during the descending phase.

Acknowledgements: We acknowledge the substorm timing list identified by the Newell and Gjerloev technique, the SMU and SML indices (Newell and Gjerloev, 2011); and the SuperMAG collaboration (Gjerloev et al. 2012). The authors are grateful to the creators of the databases AMPERE (https://ampere.jhuapl.edu/), IMAGE (http://space.fmi.fi/image/), OMNI (https://cdaweb.gsfc.nasa.gov/) and the solar wind large-scale phenomena catalog (http://www.iki.rssi.ru/omni/) for the opportunity to use them in this work.

References:

1. McPherron, R. L., (1972). Substor related changes in the geomagnetic tail: The growth phase, Planet. Space Sci., Vol. 20, No. 9, pp. 1521–1539, DOI: 10.1016/0032-0633(72)90054-2.
2. McPherron, R. L., C. T. Russell, M. Aubry, (1973). Satellite studies of magnetospheric substorms on August 15, 1968, 9: phenomenological model for substorms, J. Geophys. Res., Vol. 78, No. 16, pp. 3131–3149, DOI: 10.1029/JA078i016p03131.
3. McPherron, R. L., C. T. Russell, M.G. Kivelson, P.J. Coleman, Jr., (1973b). 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Meng, C.-I., Akasofu, S.-I., (1969). A study of polar magnetic substorms. 2. 3-dimensional current system, J. Geophys. Res., Vol. 74, pp. 4035–4053, DOI: 10.1029/JA074i016p04035.
8. Koala, S., Bere, W. P., Sawadogo, Y., Ki, I. and Zerbo, J. L., (2023). Distributions and Structure of the Solar Wind during Solar Cycles 23 and 24, International Journal of Geosciences, Vol.14, pp. 813–826, DOI: 10.4236/ijg.2023.149043
9. Guineva, V. H., R. Werner, A. M. Atanassov, R. Ts. Bojilova, L. N. Raykova, D. T. Valev, (2023a). 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. 56–63, DOI: 10.31401/ws.2023.proc, https://www.spaceclimate.bas.bg/ws-sozopol/pdf/Proceedings2023.pdf
10. Guineva, V., R. Werner, I. Despirak, N. Klejmenova, A. Lubchich, P. Setsko, A. Atanassov, R. Bojilova, L. Raykova, D. Valev, (2023b). 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, Proceedings of the Nineteenth International Scientific conference SES2023, 24-26.10.2023, Sofia, Bulgaria, pp. 47–56, http://space.bas.bg/SES/archive/SES%202023_DOKLADI/1_Space%20Physics/2_Guineva.pdf
11. Guineva, V., R. Werner, I. Despirak, N. Klejmenova, A. Lubchich, P. Setsko, A. Atanassov, R. Bojilova, L. Raykova, D. Valev, (2023c). Basic results from 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", Proc. 46th Annual seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13-17 march 2023, Apatity, Russia, pp. 23–29, http://pgia.ru/seminar/archive/
12. Newell, P. T., Gjerloev, J. W., (2011). Substorm and magnetosphere characteristic scales inferred from the SuperMAG auroral electrojet indices, J. Geophys. Res., Vol. 116, A12232, DOI:10.1029/2011JA016936.
13. Guineva, V. H., R. Werner, A. M. Atanassov, R. Ts. Bojilova, L. N. Raykova, D. T. Valev, (2024). Analysis of substorms related to strong MPB at Panagjurishte station in 2022, Proceedings of the Sixteenth Workshop "Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere", Primorsko, Bulgaria, 03 - 07 June 2024, pp. 56–63, DOI: 10.31401/ws.2024.proc

AN APPLICATION OF SITUATIONAL ANALYSIS SOLVER IN SOLVING PROBLEMS RELATED TO SELF-SHADING OF SOLAR PANELS ON PLATFORMS WITH COMPLEX STRUCTURES

Atanas Atanassov

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

Keywords: *solar array, satellite array self-shadowing, situational analysis*

Abstract: *Estimating the self-shading of solar panels by other satellite structural elements provides a more realistic view of the performance of satellite energy systems. Modelling tools are being developed for applying a Parallel Situation Solver in problems related to self-shading of satellite solar arrays.*

ИЗПОЛЗВАНЕ НА СИТУАЦИОНЕН АНАЛИЗ ПРИ РЕШАВАНЕ НА ЗАДАЧИ СВЪРЗАНИ СЪС САМОЗАСЕНЧВАНЕ НА СЛЪНЧЕВИ ПАНЕЛИ НА КОСМИЧЕСКИ ПЛАТФОРМИ СЪС СЛОЖНИ СТРУКТУРИ

Атанас Атанасов

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

Ключови думи: *слънчеви панели, само-засенчване на спътникови слънчеви панели, ситуационен анализ.*

Резюме: *Оценката на само-засенчването на слънчеви панели от други конструктивни спътникови елементи дава по реалистична представа за функционирането на енергийните системи на спътниците. Извършва се разработка на средства за моделиране, за прилагане на Паралелен Ситуационен Процесор при решаване на задачи свързани със само-засенчване на спътникови слънчеви панели.*

Introduction

When designing space missions, it is important to carry out a preliminary analysis of the feasibility of the planned tasks. This includes, first of all, an analysis of the possibilities for carrying out observations and measurements, related to the search for time intervals when suitable geometric and physical conditions are present. At the next stage, it is necessary to check the energy balance required for the operation of various subsystems and instruments [1, 2, 3, 4]. Solar panels are the basis of the energy systems of various classes of satellites. These panels convert solar energy into electricity depending on the size, technology used and orientation to the Sun. In addition, attention is paid to the self-shading of solar panels from satellite structural elements [1, 5]. In the movement of a satellite around the Earth, its orientation changes according to observed objects. This may cause some of its components to occlude the solar array. The underestimation of the self-shading of the panels from structural elements can lead to over-optimistic estimates for expected solar power generation.

Work is underway to develop a program environment for simulating space missions at the Space Research and Technology Institute of the Bulgarian Academy of Sciences. The Parallel Situational Analysis Solver [6] is among the computational tools developed for modelling and simulation. This solver is currently developed to solve problems of geometric character, related to the position of the Sun, the Moon, observed objects, and the satellite. Other elements of this environment are related to modelling tools and methods for simulating satellite energy systems based on solar panels [7]. Here we consider

the possibility of implementing the situational solver, to solve problems related to the self-shading of solar panels by satellite structural components.

Modeling of satellite constructive elements

From a constructive point of view, satellites can be represented (with sufficient approximation) as being composed of geometric shapes such as spheres (or parts of spheres), cylinders, cones (or truncated cones), or regular polyhedra (with rectangular lateral walls). Solar panels can be installed on lateral satellite walls or as separate rectangular sections, either fixed or by dynamic suspension. Some of the geometric shapes (sphere, cylinder or cone) represent second degree surfaces (quadrics). Quadrics are defined by equation of second degree [8 Выготский]

(1) $Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Eyz + Fxz + Gx + Hy + Kz + L = 0$

Solar panels can be represented as rectangles located in planes with a specified orientation relative to the satellite. This plane can be defined by its normal vector $\vec{n}$ and a fixed point $\vec{r}^*$ in the satellite coordinate system.

(2) $\vec{n}.(\vec{r} - \vec{r}^*) = 0$

Each structural satellite elements is described by a geometric shape with specific attributes, the

```
! Derived type for module shape description
    type  mod_shape                                                    (a)
      integer  shape_type
      real*8   x0,y0,z0
     union
      map      ! Sphere
        real*8   radius1
!         other parameters
      end map  ! Sphere
      map      ! Cylinder
        real*8   radius2,hight2
!         other parameters
      end map ! Cilinder
  end union
 end type  mod_shape

    type     sat_platform
     union
      map                                ! Only for processing control
        integer    num_modules          ! a number of structural elements of satellite
        real*4     distance             ! Distance to the satellite model
        real*4     light_source_pos(3)  ! The position of the light source
        real*4     light_source_power
      end map
      map
        type (mod_shape) sat_module
      end map
     end union
 end type sat_platform

USE module_name
  type (sat_platform)   satellite(0:max_num_modules,num_sat)           (b)
```

Fig. 1. Derived type for shapes description (a); using the derived type

values of which are presented by a derived type. A satellite structure descriptor is represented by a one-dimensional array, each element of which refers to a separate satellite structural element (Fig. 1a). The null element of the array contains information about the entire satellite. A two-dimensional array is used for the satellites of a multi-satellite mission (Figure 1b).

A dialogue tool (satellite constructor) is under development to model the shape of a satellite composed of elements with the above-mentioned shapes. A descriptor is created for each satellite to control the panel's self-shading calculations. Within the framework of modelling the shape of the satellite, an actual situational solver is created to solve the self-shadowing task.

Organization of PV cells in a solar array

The PV cells are the basic units of a PV arrays. Multiple cells are connected in series to form PV modules. The modules can be connected in series or in parallel in array according to the desired output parameters (the necessary current and voltage values) [9]. The modules in a PV array are first

connected in series to obtain the desired voltage; after that, the individual strings are connected in parallel to produce more current.

Self-shading by structural satellite elements is one of the possible reasons for energy loss in PV arrays. Even the shading of one cell of m - cell module can reduce the power output significantly. This is due to the high internal resistance of the p-n junction in the cell crystal in the absence of light.

Self-shadowing as a situational problem

To solve the task of self-shading of the PV-cells by the solar panels, the coordinates of the Sun are necessary. They are calculated using a special subroutine [10] in the Geo-Equatorial coordinate system (GEcs). After that, the coordinates from GEx must be transformed into the satellite's topocentric coordinate system [11]. Finally, the coordinates are transformed into the satellite's coordinate system, depending on its stabilization and orientation in space. The orientation of the "agile" satellites can be changed to observe targets located on the Earth's surface or the celestial sphere.

After transforming the Sun's radius vector into the satellite's coordinate system, checks are performed regarding direct "visibility" from each separate element of the solar panel. It is checked whether the straight line connecting each separate PV cell of the panel to the Sun (assumed to a first approximation for a point object) crosses any of the structural elements of the satellite. This approach is known as "ray tracing" [12–15]. The development of subroutines for checking situational conditions related to various geometric shapes is in progress.

Radiation reduction on separate cells is possible if we consider the sun as a disc with angular dimensions and calculate the shading caused by satellite components. The energy produced by the PV panel can be corrected in this way.

Conclusion and future work

An application of situational analysis when analyzing the self-shading of satellite solar arrays is proposed in the report. The application of the developed parallel situational solver is appropriate given the high dimensionality of the tasks being solved. It is expected that analyses of the influence of self-shading in complex satellite constructions, solar panels of significant sizes and multi-satellite missions can be performed due to the efficiency of the solver. The efficiency of the solver is based on both the application of parallel calculations and optimization methods of situational analysis.

References:

1. Fincannon, H. J., 1995. Analysis of shadowing effects on spacecraft power systems. In *European Space Power Conference* (No. NAS 1.15: 106994).
2. Куренков, В.И., Салмин, В.В. and Абрамов, Б.А., 2007. Моделирование целевого функционирования космических аппаратов наблюдения с учетом энергобаланса. *Самара:[Изд-во СГАУ]*.
3. Patel, M.R., 2004. *Spacecraft power systems*. CRC press.
4. Chen, Q., Liu, Z., Zhang, X. and Zhu, L., 2020. *Spacecraft Power System Technologies*. Springer Singapore.
5. Куренков, В. И. and Пупков, Е. А. , 2023. Модели для определения ориентации солнечной батареи космического аппарата наблюдения относительно Солнца при объектовой съёмке и перенацеливании. *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*, *22*(3), pp. 47–58.
6. 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.
7. Atanassov, A. and L. Atanasova, 2021. DEVELOPMENT OF TOOLS FOR COMPUTER MODELING AND SIMULATION OF SATELLITE ENERGY SUBSYSTEM FUNCTIONING. In Proceedings of Conference “Space, Ecology, Safety”, pp. 81–87; Available on: http://space.bas.bg/SES/archive/SES%202021_DOKLADI/1_Space%20Physics/12_Atanassov.pdf
8. Выготский, М. Я., 1975. Справочник по высшей математике, М, сс. 872.
9. Bhatia, A, Design and Sizing of Solar Photovoltaic Systems; Available on: https://www.cedengineering.com/userfiles/R08-002%20-%20Design%20and%20Sizing%20of%20Solar%20Photovoltaic%20Systems%20-%20US.pdfhttps://www.cedengineering.com/userfiles/R08-002%20-%20Design%20and%20Sizing%20of%20Solar%20Photovoltaic%20Systems%20-%20US.pdf
10. Vallado, D. A., 1991. Methods of Astrodynamics, a Computer Approach.
11. Эскобал, П., 1970. Методы определения орбит: Пер. с англ. М., „Мир“.
12. Glassner, A. S. ed., 1989. *An introduction to ray tracing*. Morgan Kaufmann. Avalaible on: https://www.cs.cmu.edu/Groups/fox/people/fp/ /cmu- courses/graphics only/ray1.pdf
13. Ji, X., Zhang, Y., Li, X., Fan, G. and Li, M., 2019. Solar ray collection rate fluctuation analysis with Monte Carlo Ray Tracing method for space solar power satellite. *Solar Energy*, *185*, pp. 235–244.
14. Kenneally, P.W. and Schaub, H., 2020. Fast spacecraft solar radiation pressure modeling by ray tracing on graphics processing unit. *Advances in Space Research*, *65*(8), pp. 1951–1964.
15. Meng, X., Du, K., Bai, X., Mankins, J.C. and Liu, C., 2020. Numerical investigation on improvement of energy transfer in solar power satellite. *Renewable Energy*, *148*, pp. 103–112.

КОРОНАТА НА СЛЪНЦЕТО, НАБЛЮДАВАНА ПО ВРЕМЕ НА ВЕЛИКОТО СЕВЕРНОАМЕРИКАНСКО ПЪЛНО СЛЪНЧЕВО ЗАТЪМНЕНИЕ И МАКСИМУМА НА 25-ИЯ СЛЪНЧЕВ ЦИКЪЛ ОТ ТЕКСАС, САЩ

Пенка Стоева[1], Алексей Стоев[1,2], Мирослав Костов[1,2], Десислава Тенева[1,2]

[1]Институт за космически изследвания и технологии, Българска академия на науките
[2]Астрономическа обсерватория и Планетариум "Юрий Гагарин", Стара Загора
e-mail: penm@abv.bg, stoev52@abv.bg

Ключови думи: *слънчево затъмнение, слънчев цикъл, корона в бяла светлина, реакция на атмосферата, коефициент на Лудендорф*

Резюме: *Докладваме предварителните резултати от научната експедиция до Тексас, САЩ, за наблюдение на Великото пълно слънчево затъмнение в Северна Америка на 8 април 2024 г. Експериментите бяха проведени в района на Кервил, на 70 км от гр. Сан Антонио.*

Слънчевата корона в бяла светлина е наблюдавана с 400 mm обектив Canon EOS R8. Снимките са направени с различна експозиция – къса за вътрешната корона и дълга за външната корона. По този начин извличаме съставно изображение и можем да изследваме структурата на короната. Виждат се множество ясно изразени шлемовидни стримери на всички географски ширини, което е характерно за слънчев максимум.

Наблюдавахме и ефекта на затъмнението върху земната атмосфера. Измерената температура на разстояние 0.5 м над земята спада с 3.3°C, 11 мин и 14 сек след края на пълната фаза. Спадът е малък в сравнение с други затъмнения поради облачното време през целия ден.

При фаза 0.69 на слънчев цикъл 25 индексът на елиптичност на Ludendorff достига 0.14, което повтаря цикличните изменения, получени от предишни наблюдения.

Наблюденията на пълното слънчево затъмнение от 8 април 2024 г. ни дават възможност да изследваме структурата на слънчевата корона по време на този уникален максимум от цикъла на слънчевата активност 25 – първият след най-ниския 24-ти слънчев цикъл – и да го сравним с предишни наблюдения по време на различни фази от слънчев цикъл.

SOLAR CORONA OBSERVED DURING THE GREAT NORTH-AMERICAN TOTAL SOLAR ECLIPSE AND MAXIMUM OF THE 25TH COLAR CYCLE FROM TEXAS, USA

Penka Stoeva[1], Alexey Stoev[1,2], Miroslav Kostov[1,2], Desislava Teneva[1,2]

[1]Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Stara Zagora Department,
[2]Astronomical Observatory and Planetarium "Yuri Gagarin", Stara Zagora
e-mail: penm@abv.bg, stoev52@abv.bg

Keywords: *Solar eclipse, Solar cycle, white light corona, atmospheric response, Ludendorf coefficient*

Abstract: *We report the preliminary results of the scientific expedition to Texas, USA for observation of the Great Total Solar Eclipse in North America on April 8, 2024. The experiments were conducted in the Kerrville area, 70 km from the city of San Antonio.*

The corona in white light was observed with a 400mm Canon EOS R8 lens. The photos were taken with different exposure – short for the inner corona and long for the outer corona. In this way, we extract a composite image and can study the structure of the corona. Multiple distinct helmet-shaped streamers are visible at all latitudes, which is characteristic of a solar maximum.

We also observed the effect of the eclipse on the Earth's atmosphere. The measured temperature at a distance of 0.5m above the ground drops by 3.3°C, 11 min and 14 sec after the end of the full phase. The fall is small compared to other eclipses due to cloudy weather throughout the day.

At phase 0.69 of solar cycle 25, the Ludendorff ellipticity index reaches 0.14, which repeats the cyclic changes obtained from previous observations.

Въведение

Короната е най-външната част от атмосферата на слънцето и се състои от плазма с много висока температура – около 2 милиона °C и екстремно ниска плътност. Тя постоянно променя формата и размерите си под действие на магнитното поле на слънцето. Под короната е разположена хромосферата – нееднороден по структура слой, който е непосредствено над фотосферата – видимата повърхност на слънцето, където наблюдаваме слънчевите петна, ярките факели и протуберансите. Температурата на фотосферата е 6000 °C, а в хромосферата тя нараства до 20000 °C, при което се формира интензивно излъчване в линиите на атомния водород и най-вече в H-алфа.

Короната на слънцето може да се наблюдава само по време на пълно слънчево затъмнение, тъй като нейната яркост е много по-слаба от яркостта на небето поради ниската плътност на веществото. Изследванията на структурата и динамиката на короната са важни защото във вътрешната ѝ част става изхвърлянето на маса и там се заражда слънчевият вятър – поток от плазма (предимно протони и електрони), пренасян в пространството от магнитното поле на слънцето. В различните региони на слънцето скоростта на плазмените потоци е различна и поради въртенето в пространството се получава спираловиден модел. Внезапните промени в скоростта на слънчевия вятър променят формата на земната магнитосфера и могат да създадат геомагнитни бури, които са причина за полярните сияния и смущенията в комуникациите на земята.

Короната в бяла светлина е резултат от разсейването на фотосферната светлина от електрони в короната и прах в междупланетното пространство. Орбиталните хелиосферни обсерватории SoHO и STEREO и спътниците Yohkoh, TRACE и CORONAS дават възможност за непрекъснато изследване на слънчевата корона и протичащите процеси, но те са по-близо до Земята отколкото е Луната и закриват от погледа точно вътрешна корона. Ето защо наземните наблюдения на пълните слънчеви затъмнения са толкова важни! При това естествено явление може да се научи много както за короната, така и за взаимното разположение на Земята, Луната и Слънцето.

Короналната светлина се състои от K-, F-, E-, T- корона. Тези компоненти се образуват по много различни механизми и имат много различни свойства. K- (Continuierlich) короната се получава от разсейване на фотосферната светлина от бързо движещи се свободни електрони (Томсъново разсейване); F- (Fraunhofer) корона – чрез разсейване на фотосферна светлина от прах в междупланетното пространство между орбитите на Меркурий и Земята; E-(Emission) corona – чрез действително излъчване на радиация от силно йонизирани атоми и молекули в короната; T- (термична) корона – чрез топлинни (предимно инфрачервени) емисии на междупланетен прах, обикновено същият прах, който причинява F-короната. Основен източник на информация за далечните области на средната и външната корона все още остават оптичните наблюдения на така наречената корона в бяла светлина, образувана от K- и F-короната.

Слънчевите затъмнения са между две и пет всяка година. Много от тях се случват над океаните или отдалечени места и е много трудно да се наблюдават. Някои не са пълни, а са само частични или пръстеновидни. По този начин добра възможност за наблюдение на пълно слънчево затъмнение се появява само на всеки две или три години. Средната продължителност на пълната фаза е само две - три минути (до 7 мин.). Ето защо изучаването на промените в короната от едно наблюдение на затъмнение до друго ще начертае картината на нейната еволюция.

Основните характеристики на короната се контролират от промените в конфигурацията на глобалното магнитно поле на Слънцето. Ето защо изследванията на формата на слънчевата корона ни дават информация за дългосрочни вариации и структурата на неговите голямомащабни магнитни полета.

Екваториалната равнина на диполната компонента на слънчевото магнитно поле се разглежда като основна равнина на слънчевата корона с всички нейни характеристики. Позицията на тази равнина определя ориентацията на хелиосферния токов слой и външната слънчева корона в 3D пространството. Нейният наклон спрямо слънчевата екваториална равнина варира от почти нула при слънчевия минимум до почти 90° при слънчевия максимум, което е причината за коренно различния вид на короната.

Короната при минимум в слънчевата активност е много по-слаба от короната при максимум поради липсата на големи активни области. Короната е източникът на бързия и бавен слънчев вятър и на преходни събития като изригвания, струи, нишки и изхвърляне на коронална маса (CME). Преходните събития могат значително да променят структурата на короната, тъй като особено короналните изхвърляния на маса често водят до глобална магнитна реорганизация.

Короналните структури са ярки (аркади, примки, шлемовидни ленти) или тъмни (коронални дупки). Плътността и температурата на плазмата силно зависят от топологията на магнитното поле: ярките образувания имат затворени магнитни структури (биполярни и активни области), докато тъмните коронални дупки имат „отворена“ магнитна структура към междупланетното магнитно поле. „Шлемовете“ са свързани със слънчеви активни региони и са центрирани върху слънчеви петна или протуберанси. Над шлема дълга права лента продължава навън и остава неусукана дори до разстояние над 12 слънчеви радиуса.

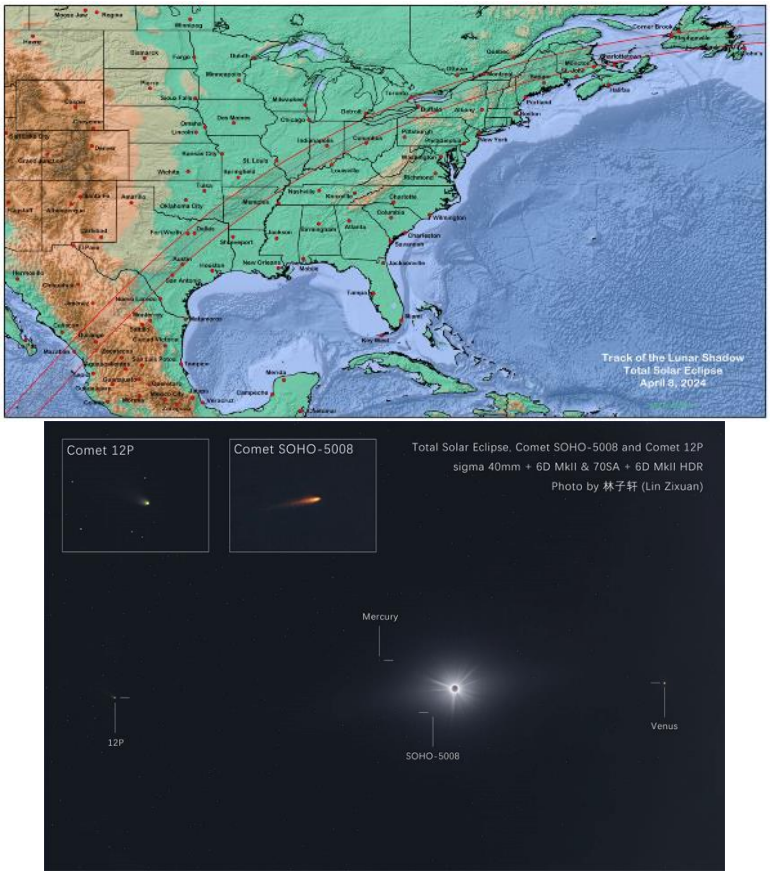
Слънчево затъмнение настъпва, когато новата луна е разположена точно между Земята и слънцето и хвърля сянката си върху Земята. Освен това, луната трябва да е със същия размер като слънцето или малко по-голяма, така че дисковете напълно да се покриват и да се види външната атмосфера на слънцето, короната. Това зависи

от разстоянието на Луната от Земята. Орбитата на Луната около Земята има елипсовидна форма, така че всеки месец тя преминава през най-далечната точка от Земята - апогея и най-близката - перигея, което я прави да изглежда малко по-малка или малко по-голяма от средното.

Нашите наблюдения следват предишните ни програми за изследване на структурата и динамиката на бялата и монохроматична корона [1–6], за отговора на земната атмосфера [7, 8], за обучението чрез научни експерименти и разпространение на занания [9].

Наблюдения и методи

На 8 април 2024 г. Луната се покрива 100% от слънчевия диск. Големината на слънчевото затъмнение е частта от диаметъра на слънцето, покрит от луната, която бе 1,0566 [10]. Тогава, на територията на Тихия океан, Мексико, САЩ, Канада и Атлантическия океан преминава сянката на Великото Северо-Американско пълно слънчево затъмнение. Тя пресича четири мексикански щата Синалоа, Наярит, Дуранго и Коауила, преди да премине над 15 щата на САЩ: Тексас, Оклахома, Арканзас, Мисури, Илинойс, Кентъки, Тенеси, Мичиган, Индиана, Охайо, Пенсилвания, Ню Йорк, Върмонт, Ню Хемпшир и Мейн. След това преминава през Канада, като пълното затъмнение е наблюдавано в шест канадски провинции: Онтарио, Квебек, Ню Брънзуик, остров Принц Едуард, Нова Скотия и Нюфаундленд [11].



Фиг. 1. Пътят на пълното слънчево затъмнение на 8 април 2024 г., който пресича САЩ и небето по време на пълното слънчево затъмнение на 8 април 2024 г. [12]

Великото Северо-Американско пълно слънчево затъмнение е интересно с това, че минава през цяла Северна Америка и е почти два пъти по-дълго от Великото Американско затъмнение през 2017 г. (2 мин. и 38 сек.). Освен това, слънцето е близо до максимума в своята активност през 25-тия, 11-годишен Слънчев цикъл когато короната е сферично симетрична. Друг интересен факт е, че по време на пълната фаза могат да се видят планетите Юпитер, Венера, Сатурн и Марс. Очакваше се да се види и кометата 12P/Понс-Брукс, но тя се оказва доста слаба и вместо нея бе наблюдавана току-що откритата (сутринта на 8 април 2024г.) от астроном – любител комета SOHO-5008 по изследване на изображения от обсерваторията SOHO. Няколко часа след снимката кометата се разпада в лъчите на слънцето. Наблюденията на такива „слънчеви“ комети от земята са изключително редки и фотографията на 5008-ата комета, открита от SOHO- става възможна само благодарение на пълното слънчево затъмнение.

За наблюдение на пълното слънчево затъмнение специално бе организирана експедиция до град Кервил, щат Тексас, САЩ, разположена в линията на тоталитета (Фиг. 1). Координатите на мястото на наблюдение и характеристиките на затъмнението са следните:

Географска ширина: N 30° 03‘16.6‘‘, Географска дължина: W 099° 01’35.3‘‘

Надморска височина: 581 m, Начало на затъмнението: 20:14:43 UT,

Край на затъмнението: 22:55:29 UT, Максимална фаза: от 21:32:07 UT до 21:36:31 UT

Височина на слънцето в максималната фаза: 67.5°

Пълна фаза: 4 min 24 sec, Ширина на Лунната сянка: 193.4 km

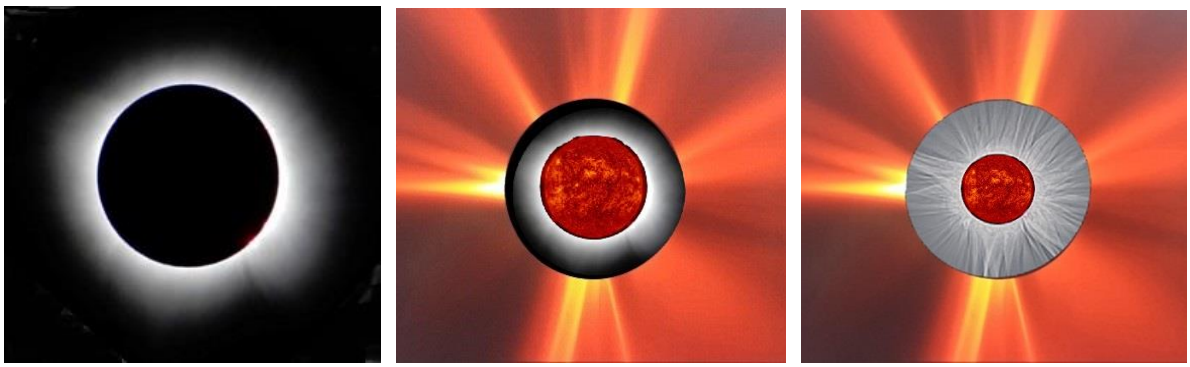
Слънчевата корона в бяла светлина е наблюдавана с 400 mm обектив Canon EOS R8. Снимките са направени с различна експозиция – къса за вътрешната корона и дълга за външната корона (Фиг. 2). По този начин можем да получим съставно изображение и да изследваме структурата на короната в бяла светлина. За емисионната корона беше използвана камера Canon EOS 80D с тясноивичен интерференчен филтър на дължината на вълната на зелената коронална линия на 14-кратно йонизираното желязо Fe XIV 530,3 nm. Камерата за цялото небе (All sky camera) Digtal SLR Camera for Canon EOS 750 D Meike 8 mm, F/3.5 беше използвана за заснемане на изображение на 360-градусовия ореол около сянката на луната на хоризонта, по време на пълното слънчево затъмнение. Температурата на въздуха по време на затъмнението бе измерена на височина 0,5 m.



Фиг. 2. Апаратура за наблюдение на пълното слънчево затъмнение на 8 april 2024 г., разположена близо до град Кервил, щат Тексас, САЩ

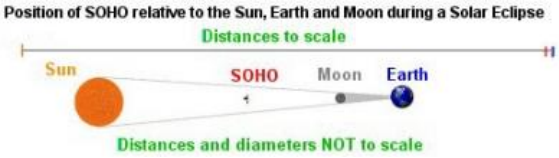
Резултати

Короната на слънцето в бяла светлина: Короната на слънцето в бяла светлина се вижда на Фиг. 3.



Фиг. 3. Комбинация от изображение на короната (черно-бяло) на 8 април 2024, което заобикаля изображението, получено от SDO (AIA) - 4 телескопа на борда на Обсерваторията за слънчева динамика (SDO) на НАСА - в емисията на хелия при 304Å (HeII) в ултравиолетовата област. И двете изображения са вътре в затъмняващия диск на C2 коронографа на инструмента LASCO на Военноморската изслвдователска лаборатория, монтиран на Слънчевата и Хелиосферна обсерватория (SoHo) – проект на Европейската Космическа Агенция (ESA) и Националното Управление по Въздухоплаване и Изследване на Космическото Пространство на САЩ (NASA).
Ляво – Кервил, дясно – съставно изображение на Петер Хоралек от Дуранго, Мексико - HDR - заснемане с висок динамичен обхват (експозиция от 1/4000 s до 2 s с 200 mm обектив и от 1/500 s до 4 s с 1100 mm обектив). Използвани са общо 83 изображения [13].

Това комбинирано изображение на затъмнението в бяла светлина, в ултравиолета и изображението от изкуственото затъмнение, получено чрез използване на диск, който закрива ярката светлина от слънцето (Фиг. 3) е в основата за нашия анализ на голямомащабната структура на короната в бяла светлина. Изображенията C2 показват короната на разстояние до 12 $R_\odot$ (8,4 милиона километра от Слънцето).



Фиг. 4. Местоположението на спрямо Слънцето, Земята и Луната по време на слънчево затъмнение

SOHO се намира в първата точка на Лагранж (Фиг. 4) и поради това не може да наблюдава затъмнението. Приборите, обаче, продължават да събират изображения както на короната, така и на повърхността на слънцето преди, по време и след затъмнението, което добавя ценна информация към тълкуването на изображенията, получени от наземни инструменти.

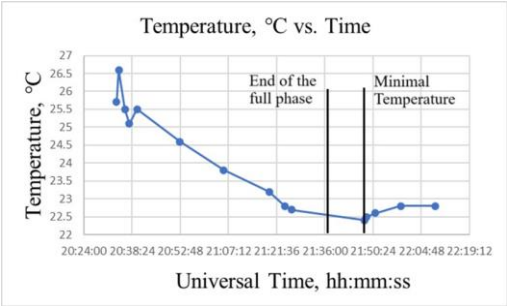
Съставното изображение от Фиг. 3 дава възможност да проследим характерните особености на короната от повърхността на слънцето (HeII) през вътрешната и средна корона (короната в бяла светлина) до 12 $R_\odot$ (C2 коронографа на LASCO). Виждаме множество ясно изразени шлемовидни стримери на всички географски ширини, което е характерно за слънчев максимум. Това пълно слънчево затъмнение е на възходящия клон на 25-ия слънчев цикъл, подобно на пълното слънчево затъмнение на 11 август 1999 г. (23-ти слънчев цикъл) и на 14 ноември 2012 г., наблюдавано в Австралия по време на 24-ия слънчев цикъл, който се оказва с най-нисък максимум.

Формата на короната е сферично симетрична, типична за максимум в слънчевата активност. Месечният брой на слънчевите петна за 8 април 2024 г. е 137 [14].

За съжаление, не успяхме да получим ясни изображения в зелената коронална линия и на ореола около сянката на луната на хоризонта поради високата облачност.

Реакция на приземната атмосфера

Интересно е да се изследва реакцията на атмосферата и климатичните промени, когато падащата слънчева радиация рязко намалява по време на пълно слънчево затъмнение. Атмосферната температура и налягане се променят бързо, което води до метеорологични аномалии.

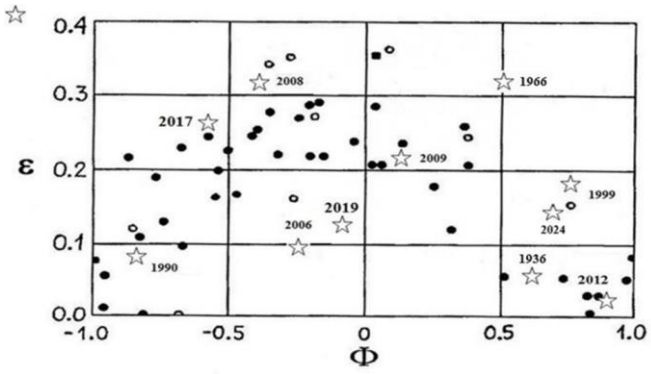


Фиг. 5. Зависимост на температурата от времето

Измерената по време на затъмнението температурата на разстояние 0.5 m над земята спада с 3.3°C 11 мин и 14 сек след края на пълната фаза (Фиг. 5). Спадът е малък в сравнение с други затъмнения поради облачното време през целия ден [8].

Коефициент на елиптичност

Индексът на Лудендорф (коефициент на елиптичност) е първият количествен параметър, въведен за анализ на глобалната структура на слънчевата корона. Той се увеличава монотонно от лимба до известно разстояние r, което варира от затъмнение до затъмнение в диапазона от ~1,4 $R_\odot$ до ~2,2 $R_\odot$ и е чувствителен към съществуването на коронални стримери на големи хелиографски ширини. Този коефициент на елиптичност показва, че короната е много кръгла при слънчев максимум, когато стримерите излизат от толкова много географски ширини, и е много по-елипсовидна при слънчевия минимум, когато само няколко стримера се виждат около екватора. По този начин коефициентът на елиптичност на Лудендорф показва цикъла на слънчевата активност. При фаза 0.69 на цикъл 25 индексът на елиптичност на Ludendorff достига 0.14 (Фиг. 6), което повтаря цикличните изменения, получени от наблюдения от 1851 г. насам [15, 16].



Фиг. 6. Коефициентът на елиптичност на слънчевата корона ε като функция на фазата на слънчевия цикъл Φ за 11 пълни слънчеви затъмнения са показани като бели звезди. Другите данни са за 51 слънчеви затъмнения [17].

Индексът на елиптичност на слънчевата корона, който е най-голям при минимум на активност и обратно, може да се разглежда като косвена характеристика на магнитно поле на Слънцето на двата полюса (полярното магнитно поле), което също е най-голямо при минимум според теорията на динамото. По време на слънчевия минимум магнитното поле на слънцето е близо до дипол, с един северен полюс и един южен полюс, подобно на магнитното поле на Земята. Но докато се движи към слънчевия максимум, магнитното поле на слънцето става по-сложно, без ясно разделяне на северния и южния полюс. Когато премине слънчевия максимум и настъпи слънчевият минимум, слънцето се връща към диполно магнитно поле с обърната полярност.

Литература:

1. Stoeva, P., A. Stoev, S. Kuzin, Y. Shopov, N. Kiskinova, N. Stoyanov, A. Pertsov, Investigation of the white light coronal structure during the total solar eclipse on March 29, 2006, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics ISSN: 1364-6826, v. 70, 2008, pp. 414–419.
2. Shopov, Y. Y., D. A. Stoykova, K. Stoitchkova, L. T. Tsankov, A. Tanev, Kl. Burin, St. Belchev, V. Rusanov, D. Ivanov, A. Stoev, P. Muglova, I. Iliev, Structure of the solar dust corona and its interaction with the other coronal components, JASTP, ISSN: 1364-6826, v. 70, 2008, pp. 356–364.
3. Stoeva P. V., Stoev A. D., Kuzin S. V, White light corona at different phases of the solar cycle, Sun and Geosphere, 6(1), 2011, pp. 33–35, ISSN 1819-0839.
4. Stoeva P., A. Stoev, S. Kuzin, Solar Corona In White Light During Five Total Solar Eclipses, Sun and Geosphere, Vol.7 (1), 2012, pp. 81–84, ISSN: 1819-0839.
5. Marzouk Beshir, Stoeva Penka and Stoev Alexey, White Light Coronal Structures and Flattening During Six Total Solar Eclipses, Elsevier Press, NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, SJR Directory of Open Access Journals (DOAJ), 2016, 5, pp. 297–300, http://dx.doi.org/10.1016/j.nrjag.2016.08.003.
6. Stoeva Penka, Alexey Stoev, Sergey Kusin, Beshir Marzouk, Andrey Pertsov, Mohamed Semeida, 2018, Structure and dynamics of the solar corona observed during different phases of the solar cycle, Proceedings of the 41st Annual Seminar, http://pgia.ru/seminar, pp. 69–75. ISSN 2588-0039.
7. Stoev Alexey D. , Penka V. Stoeva, Nadya Kiskinova, and Nikolay Stoyanov, Evolution of the basic micrometeorological parameters during the total solar eclipse of 29 March 2006 at Manavgat, Turkey, Gennadil G. Matvienko and Victor A. Banakh Editors, Proceedings of SPIE, Atmosphere Physics, ISSN 0277-786X, Vol. 6936, pp. 517–521, 69361Z (2008); DOI link: http://dx.doi.org/10.1117/12.783768.
8. Stoev A., Stoeva P., Kuzin S.,Total Solar Eclipses and Atmospheric Boundary Layer Response, Sun and Geosphere, The International Journal of Research and Applications,Vol.7 - No.1 – 2012, pp. 103–107 ISSN: 1819-0839.
9. Stoev A.D., Stoeva P.V., Amateur observations of solar eclipses and derivation of scientific data, 36th COSPAR Scientific Assembly. Beijing, China. 16-23 July 2006. J. Adv. Space Res., doi link: http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2008.07.009, Advances in Space Research v 42, issue 11 (2008) pp. 1806–1813, ISSN 02731177, 18791948.
10. Големина на слънчевото затъмнение - EclipseWise.com
11. Littmann M. and Espenak F., 2023, Totality: The Great North American Eclipse of 2024, Oxford University Press, ISBN-13 978-0198879084.
12. Небето по време на пълното слънчево затъмнение на 8 април 2024 г. - https://www.astronet.ru/db/msg/1926494
13. Съставно изображение на Петер Хоралек - https://www.petrhoralek.com/?p=24033
14. Брой слънчеви петна - https://www.swpc.noaa.gov/products/solar-cycle-progression
15. Pasachoff J. et al., Images and Spectra of the 2017 Total Solar Eclipse Corona From Our Oregon Site, Frontiers in Astronomy and Space Science, 2018, doi: 10.3389/fspas.2018.00037.
16. Pasachoff Jay M., Rušin Vojtech, White-Light Coronal Imaging at the 21 August 2017 Total Solar Eclipse, Solar Physics, 2022, https://doi.org/10.1007/s11207-022-01964-z.
17. Gulyaev, R. “Solar cycle variation of the solar corona shape. A new outlook”, Astron. Astrophys. Transactions, 13, 1997, pp. 137–144.

ВЪЗМОЖНОСТИТЕ НА СПЪТНИКОВИТЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ПЪЛНИТЕ СЛЪНЧЕВИ ЗАТЪМНЕНИЯ НА ПОВЪРХНОСТТА НА ЗЕМЯТА

Десислава Тенева

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

Ключови думи: *слънчево затъмнение, спътник, температура, сянка*

Резюме: *В предлаганата разработка се анализират различни видове спътникови данни, чрез които адекватно могат да се опишат параметрите на лунната сянка на повърхността на Земята по време на пълни слънчеви затъмненя. Дискутират се различни видове спътникови системи. Предлагат се алтернативни методи за изследване на метеорологичните и океанографски характеристики на средата около и в лунната сянка.*

THE CAPABILITIE OF SATELLITE OBSERVATIONS OF TOTAL SOLAR ECLIPSES ON THE EARTH'S SURFACE

Desislava Teneva

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

Keywords: *solar eclipse, satellite, temperature, shadow*

Abstract: *In the proposed development, various types of satellite data are analyzed, through which the parameters of the lunar shadow on the Earth's surface during total solar eclipse can be adequately described. Different types of satellite systems are discussed. Alternative methods are proposed to study the meteorological and oceanographic characteristics of the environment around and in the lunar shadow.*

Изследването на ефектите, които предизвиква сянката на Луната на повърхността на Земята, по време на пълните слънчеви затъмнения, е област в науката, която все още не е изцяло завършена. Обикновено се изследват метеорологичните параметри в района на пълната сянка и се градят модели на измененията в атмосферата. При този тип изследвания са налице редица затруднения, които правят изследванията нерегулярни, фрагментални и до голяма степен негодни за построяването на стройна теория за ефектите на слънчевите затъмнения върху процесите в атмосферата на Земята. Поради това се налага да се направи опит да се използват дистанционни данни от спътникови системи, за предизвиканите от затъмнението промени, в областта на конуса на пълната сянка на Земята.

Използването на спътниковите данни се определя от характеристиките на явлението, което ще се изследва. В случая на слънчевите затъмнения трябва да се подберат такива спътникови данни, които да позволят да се реализира адекватна статистическа обработка и съответно адекватни физически модели. Характеристиките на Лунната сянка са приблизително следните: размер от порядъка на 270 km и скорост на придвижване по повърхността от порядъка на от 2000 km в час около екватора до към 8000 km в час около полюсите. Осезаемата следа, която оставя сянката на повърхността на Земята е с дължина от порядъка на 10 до 12 хиляди километра.

Наблюденията на пълно слънчево затъмнение от една точка могат да имат продължителност във времето до не повече от 7.5 минути. Обикновено времето за наземно наблюдение на слънчевите затъмнения е около 4–4.5 минути. За това време е възможно метеорологичните условия да се изменят и това се регистрира от наблюдателите. Спътниковите наблюдения, от своя страна се характеризират с „мигновенно заснемане“ на наблюдаваната ситуация и трудно позволяват да се строят дълговременни модели. Те дават

възможност да се изследват детайли на плавното изменение на измерваните параметри, в определени моменти, в много големи части от пространството. Създава се възможност за използването и тематичният анализ на изображения, получени от инструментални комплекси от различни честотни обхвати, инсталирани на космически платформи. За тази цел те са оборудвани с устройства за дистанционно наблюдение (радари, скатерометри, радиометри и оптично оборудване) и са поставени на орбити, специално предназначени за получаване на гъвкава геофизична информация, необходима за оценка на състоянието на околната среда и за проучвания на природните процеси на и над земната повърхност. Чрез спътниковите измервания могат да се решават научни задачи в областта на океанологията и метеорологията. Слънчевите затъмнения, със своето краткотрайно въздействие върху енергетиката на водната повърхност, са единственият инструмент за изследване на мигновенната реакция на водните повърхности в много големи площи, както и за регистрирането на метеорологични промени над петното на сянката на Луната.

Лунната сянка по Земната повърхност, при слънчеви затъмнения, предизвиква следните основни промени на околната среда, в която се движи сянката: температурата на приземния въздух, температурата на земната повърхност, ветровите полета над и около сянката, евентуални вариации на нивото на океанските води. Чрез дистанционните слънчеви методи могат да се измерват: температурата на земната повърхност, характера на ветровете около сянката, чрез промени в наземната температура и нивото на океаните. Някои от тези параметри се променят слабо по времето когато сянката на Луната покрива съответната земна област. Често върху измерванията влияят ландшафта и особености на излъчвателната способност на земните обекти. Най-чисти откъм изброените „смутители“ са големите морски и океански водни повърхности, когато над тях няма облачност. Най-важният параметър е температури на водата на повърхността на водния басейн. Нейната динамика би трябвало да се регистрира най-лесно и точно.

На спътниковите платформи се монтират различни активни и пасивни сензори, работещи във видимите, инфрачервените и микровълновите участъци на електромагнитния спектър. Те се използват за измерване на четирите основни параметъра на океаните и моретата: цвят, температура, височина и набразденост на морската повърхност. Цветните скенери определят спектралните свойства на радиацията, излъчена от водната повърхност и носят информация за различните оптични характеристики на повърхността на океана: прозрачноста на водата, концентрация на суспендираното вещество, съдържание и цъфтеж на хлорофил. Инфрачервените и микровълнови сензори се използват за измерване на температурата на океанската/морската повърхност. Активни микровълнови сензори, висотомери (алтиметри), скатметромери, радари с динамични бленди се използват за определяне на височината на морската повърхност, нивото на океаните и моретата, височината на вълните, скоростта на вятъра. Особеностите на монтираните на спътниците апаратури и задачите, които се решават с тях, изискват специален подбор на разположението и динамиката на спътниковите системи.

Съществуват два вида спътници за дистанционни изследвания на Земята: полярни и геостационарни.

Геостационарните спътници се позиционират на орбити, съгласувани с околоосното въртене на Земята, така че, да се въртят около нея с нейната околоосна скорост. По този начин платформите „висят“ над една определена точка над земната повърхност над земния екватор. Особеното за тези спътници е, че те се позиционират на геостационарни орбити на разстояния около 36 000 km над повърхността и това налага ограничения на разделителната способност на апаратурите, монтирани на тях. Интервалите за получаване на изображения варират от 15 до 30 минути до няколко часа - Meteosat-9, Meteosat-10 и Meteosat-11, съответно (Schmetz J. et all). Изображенията, получавани от тези спътници, предвид голямото им отстояние от Земята, са неподходящи за изследване на кратковременни явления с малки райони на проявления като тъмната следа, създавана от сянката на Луната при пълни слънчеви затъмнения.

Полярните спътници летят на полярни орбити при които спътникът периодично преминава близо над двата полюса на Земята - наклонът на орбитата е почти 90 градуса. В момента най-добрата пространствена разделителна способност на топлинните инфрачервени изображения (30 m) се дава от системата ETM+, монтирана за първи път на спътниците Landsat-7 през 1999 г. Впоследствие, след обработката на регистрираните данни от Landsat-8, Landsat-9, е възможно да се достигне до разделителна способност от порядъка на 2.2 m (Choate M. J., et al, 2022). Тази система, със своята прекалено голяма разделителна способност, не е много удобна за изследването на проявата на слънчевите затъмнения.

От няколкото останали полярни спътникови системи, най-удобна за изследване на сянката на Луната, се оказва системата NOAA на Американската администрация по океани и

атмосфера, базирана на няколко полярни и геостационални спътника (Hall R.C., 2001), (NASAb). Орбиталният сегмент на модерната система на NOAA включва два оперативни спътника. В полет в момента работят поне 4 спътника. Сателитите се пускат в орбити с период на обикаляне около Земята 102 минути. По такъв начин се осигурява изображение на една и съща повърхност от различни спътници при сравнително равномерно разпределена във времето. Гарантира се изобразяването на която и да е част от повърхността с нормална пространствена разделителна способност поне 4 пъти на ден от всеки сателит. Системата NOAA е единствената, която поддържа архив на всички наблюдения на спътниците си от 1985 година до сега. Базата данни е отворена и се попълва ежедневно (NASA b).

Научната апаратура, монтирана на спътниците на NOAA, която може да се използва за измервания по време на слънчеви затъмнения е следната :

1. Радиометър AVHRR - предназначен е да измерва температурата на сушата и морето, да наблюдава облаците, снега и ледената покривка, валежите, почвената влага и да измерва вегетационния индекс. Радиометърът осигурява два пъти на ден изследване на почти цялата повърхност на Земята. Разделителната способност в предметната равнина е 1x1 и 9x9 км.

Спектралните канали на AVHRR са центрирани в три инфрачервени дължини на вълната: 3.55–3.99 μm, 10.3–11.3 μm, и 11.5–12.5 μm; един в близката инфрачервена област: 0.725–1.10 μm; и един във видима област 0.55–0.90 μm. Чрез инфрачервените канали се определя радиацията идваща от повърхността на морето и водните пари във въздуха, през целия път на лъчението от повърхността на морето до спътника. Данните с разделителна способност 1x1 км се предават директно до всички приемни станции в радиовидимостта на спътника по трасето му, в реално време. Неопределеността на регистрираните температури на повърхността на океана са от порядъка на 0.10 K.

2. Радиометър HIRS - Инфрачервен спектрофотометър с голяма разделителна способност (Zhang, B., et al.,2021). Сканира подспътниковото пространство в направление перпендикулярно на движението на спътника. Различните модификации на радиометъра предават изображения в 20 спектрални области. Данните от него се използват основно при построяването на атмосферни височинни, влажностни профили и при детайлизирането на изображенията, получени и от AVHRR (Shi L., et all, 2011).

Данните от AVHRR представляват непосредствено регистрираната, достигнала до орбитата топлинна радиация, излъчена от повърхността на океана, претърпяла поглъщане и разсейване от атмосферата. Данните от HIRS са преди всичко данни, касаещи състоянието на атмосферата. Те позволяват да се строят атмосферни профили и да се отчита количествено влиянието на атмосферата при многоканалните методи за определяне температурата на морската повърхност. Синхронната работа на тези два радиометъра е уникална. Като се има предвид и регулярността на построяваните изображения и профили, може да се заключи, че тази система е най-добрата за изследване на температурите на морската повърхност на Земята и отстраняването на „смущаващи“ атмосферни процеси по време на слънчеви затъмнения.

Чрез радиометъра AVHRR се строят два пъти в денонощието температурни карти на цялата водна повърхност на Земята. Тези карти са неадекватни за изследването на кратковременните (от порядъка на 4 минути) явления на повърхността на океана. Но от системата AVHRR могат да се изискват и моментните изображения на водната повърхност, получени от всеки един от спътниците. Следователно има възможност да се получат и изображения, на които да е регистрирано и петното на лунната сянка по време на затъмнението с разделителна способност 1x1 или 4x4 километра.

Повърхностната температура на морето е един от първите параметри, които се измерват още в началото на спътниковите дистанционни изследвания на моретата и океаните. Подробен анализ на историята и същността на дистанционните спътникови изследвания на температурата на морската повърхност може да се намери публикуван от Minnetta P.J (Minnetta P.J., et al., 2019). През 1997 г. в международен мащаб е създадена група GODAE (Bell M., et al., 2009), която признава нуждата от по-добри океански наблюдения и прогнози. През 2002 г. в рамките на GODAE се създава друга по-специализирана група GHRSST-PP – Пилотен проект за справяне с възникващата нужда от по-голяма разделителна способност на картите на повърхнинната морската температура, получени от сателитни данни. GODAE приключва през 2008 г. а GHRSST-PP продължава като група за температура на морската повърхност с висока разделителна способност GHRSST (Group for High Resolution Sea Surface Temperature). Данните и резултатите от изследванията на тази група са общодостъпни за научни изследвания.

Друга подходяща система е Програмата EOS на NASA

Програмата започва с изстрелването на спътника EOS-AM1, с название Terra (NASAg), през 1999 г. и по-късно на спътник EOS-PM1,с название Aqua. Спътниците имат полярни слънчево-синхронни орбити с наклон 98.2°, височина 705 km и период 99 минути.

Сателитното оборудване на TERRA се състои от пет системи за обработка на изображения, предназначени за едновременно и координирано събиране на информация за радиационния баланс на Земята, атмосферната циркулация, взаимодействието между земната повърхност и океаните, биопродуктивността и характеристичните свойства на повърхността. От петте системи само апаратурите ASTER и MODIS са подходящи за термални изследвания на лунната сянка на повърхността на океана. ASTER изготвя хиперспектрална 14-канална снимка в диапазоните от 0.52 до 11.65 μm с разделителна способност 15-90 m и стереоснимка в диапазона 0.76-0.86 μm. За директните нужди на океанологията се използват канали с разделителна способност 100 m и диапазони 0.4-0.87 μm, 3.6-4.0 μm, 10.78-12.27 μm. MODIS предоставя хиперспектрална 36-канална снимка в диапазона от 0.45 до 14.36 μm с разделителна способност 250-1000 m.

Спектрофотометрите на EOS са с много голяма разделителна способност, а от тук и много информативни, поради което не работят непрекъснато.Пълната информация се сглобява на земята за няколко денонощия. Едно изображение е с обем 120 MB! За изследването на лунната сянка се налага да се получат оперативните изображения от спътниците, които са „заснели“ спектрално петното на лунната сянка.

Програмата LANDSAT (САЩ) започва своето съществуване през 1972 г., когато са стартирани шест сателита (NASAf). Тази програма е най-дългата и най-успешна гражданска програма за космическо изобразяване на Земята от Космоса. Събраният архив от изображения позволява да се анализират промените, настъпили на Земята за повече от 40 години. Поредицата от спътници е оборудвана с идентична апаратура, като за всеки следващ спътник се запазва геометрията, калибрирането, покритието, спектралните характеристики, качеството на изображението и наличието на данни на ниво, подобно на предишните сателити от програмата Landsat. По програмата се събират и запазват многоспектрални изображения със средна разделителна способност (30 метра за точка) за най-малко 5 години;

Последният оперативен спътник на програмата е LANDSAT-8. Той лети на приполярна, слънчево-синхронна орбита с наклон 98.2°, орбитален период 98 мин, и височина на орбитата 705 km. Повтаря орбитата си след 16 денонощия. Следователно, за такъв период от време апаратурата му може да формира едно изображение на цялата земна повърхност.

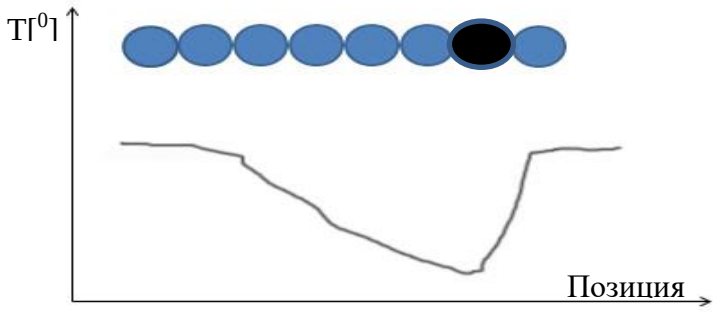
Спътникът Landsat-8 продължава да получава данни за програмата, като използва два набора инструменти - OLI и TIRS. Апаратурата TIRS е предназначена да строи изображения в далечната ИЧ област, чрез които, при прилагане на двуканалния метод да може да се определя контактната температура на повърхността на океана. TIRS прави комплект изображения в 9 диапазона на видимия и близкия инфрачервен спектър. Вторият инструмент създава изображения в далечния инфра червен спектър 10.6 — 11.2 μm и 11.5 — 12.5 μm с пространствено разрешение 100 m. Изображенията, получени с Landsat-8 се разпространяват безплатно до 24 часа след приемането им.

GOES е американска група от геостационарени спътници, проектиран да предоставя метеорологични услуги, работещи от 1975 г. насам (NOAA Geostationary Satellite Server). Сега, в оперативен режим, работят четири спътника от тази система. Няколко спътника са консервирани или работят в режим на ограничена функционалност. Новото поколение на тези сателити осигурява изображения в 12 до 18 канала от 0.47 μm до 13.3 μm с пространствена резолюция във видимия диапазон 0,5 km, а в термичната инфрачервена област - 2 km. Възможността за наблюдения на земния диск е 5-15 минути. От тази система също могат да се изискват оперативни спектрални изображения на областите на лунната сянка и около нея. Проблемът е в епизодичността на изображенията и малката вероятност да са заснети пълни слънчеви затъмнения.

Описаните по-горе системи позволяват да се определи температурата на повърхността на океана. Чрез тази температура могат да се решават следните научни задачи, свързани със пълните слънчеви затъмнения:

1. Проследяване на температурата на повърхността по дирята на петното на сянката назад от моментното положение на петното. На фигура 1 и показан един такъв ред от данни, получен от моментна снимка на петното на сянката. Данните са за температурата на морската повърхност, осреднени за района на сянката. От дигиталното изображение могат да се формират поредица от кръгли области на сянката с отместване назад по траекторията и с различно друго отместване. Така е възможно да се проследи процесът на възстановяване на първоначалната температура на повърхността, след като над нея е преминала сянката. Възможно е да се определят термодинамичните храктеристики на водата на повърхността на

океана и възможните изменения на метеорологични параметри. Изменението на температурата на въздуха над сянката е от порядъка на 40К и грешките на получената температура от AVHRR са около 0.10К. Следователно може да се регистрират промени в температурата на водата, породени от 4 градусовата промяна на въздуха над сянката.



Фиг. 1

2. Стратифициране на температурата на повърхността на океана/морето от центъра към периферията на петното. От тук и определянето на нехомогенността на сянката.

3. Промени във ветровите полета около траекторията на сянката. Тези промени могат да се изследват след като се анализира температурата на морската повърхност в лентови зони, успоредно на хода на сянката. Чрез алтиметрични измервания е възможно да се определи модула на скоростта на вятъра с точност около 2 m/s за ветрове в диапазона на 4–20 m/s. Трудностите тук са свързани с ниската височина на зоните в които се разпространяват ветровете – до 200 m над морската повърхност.

Нивото на океана в зоната на сянката може да се промени поради изменение на атмосферното налягане и полето на повърхностния вятър. Досега не е изследвана промяната на нивото на океана в районите на пълната сянка на Луната. В тази посока са възможни изследвания на базата на данни от спътникови алтиметри, монтирани на специализирани спътникови платформи. Такива са във времето SKYLAB, GEOS-3, SEASAT, GEOSAT, ERS-1, TOPEX/POSEIDON, GEO, JASON. При тях височината на морската повърхност спрямо геоида се измерва от 2, 3, 5, 7 до 20 cm. Достъпът до данните от спътниковата алтиметрия е свободен, освен достъпът до данните на NODS NASA и AVISO.

Най-доброто изследване на сянката на Луната върху земната повърхност може да се осъществи само ако се използват данни от различни спътникови платформи, които измерват различни параметри на атмосферата и морската повърхност. Спътниковите измервания над зони от сушата са затруднени от редица фактори, които пречат да се проявят тези, които зависят само от лунната сянка.

Литература:

1. Bell, M., Lefebvre M.,Pierre-Yves Le Traon, Smith N., Wilmer-Becker K.,GODAE: The global ocean data assimilation experiment, September 2009, Oceanography (Washington D.C.) 22(3), DOI:10.5670/oceanog.2009.62,
2. Choate, M. J., Rengarajan, R., Storey, J.C., Lubke, M. Landsat 9 Geometric Characteristics Using Underfly Data. Remote Sens. 2022, 14, 3781. https://pubs.er.usgs.gov/publication/70236633
3. Group for High Resolution Sea Surface Temperature, https://www.ghrsst.org/
4. Schmetz, J, Pili P., Tjemkes St., Just D., Kerkmann J., Rota S., Ratier A., An iktroduction to Meteosat second generation, American meteorological society, july 2002. pp. 977
5. Hall, R. C., A History of the Military Polar Orbiting Meteorological Satellite Program, September 2001, Office of the Historian, National Reconnaissance Office, https://www.airweaassn.org/reports/prog-hist-02.pdf
6. Minnetta, P. J., et all., Half a century of satellite remote sensing of sea-surface temperature, Remote sensing of Environment 233, (2019), 111366
7. NASA, (NASA a), Comprehensive Large Array-data Stewardship System,https://www.avl.class.noaa.gov/release/data_available/avhrr/index.htm
8. NOAA, (NASA b), National Centers for Environmental Information, http://ncdc.noaa.gov
9. NASA (NASA f),Landsat Science. https://landsat.gsfc.nasa.gov/
10. NASA, (NASA g), NASA TERRA The EOS Flagship, https://terra.nasa.gov/about/
11. NOAA Geostationary Satellite Server. https://www.goes.noaa.gov/
12. Shi, L.. Bates J.. Three decades of intersatellite-calibrated High-Resolution Infrared Radiation Sounder upper tropospheric water vapor. Journal of geophysical research. 2011. vol. 116, D04108, doi:10.1 029/2010JD014847, 2011
13. Zhang, B.; Cao, C.; Liu,T.-C.; Shao, X. Spectral Recalibration of NOAA HIRS Longwave CO2 Channels toward a 40+ Year Time Series for Climate Studies. MDPI Atmosphere 2021, 12, 1317, https://doi.org/10.3390/atmos12101317, https://www.mdpi.com/journal/atmosphere

DYNAMICAL PROCESSES AND FLOW'S FORMATIONS IN ACCRETION DISCS OF BINARY STARS

Daniela Boneva, Krasimira Yankova, Denislav Rusev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: danvasan@space.bas.bg, f7@space.bas.bg, denislav.rusev@gmail.com

Keywords: *Stars: Binary stars; Stars: cataclysmic variables; Accretion processes*

Abstract: *We present our study on the transfers' mechanisms and gas-dynamical processes in accretion discs of binary stars with a compact object. Flow's formations that are developed in the disc are supposed to be a result of instabilities. The results reveal existence of vortical-like patterns and density wave structures, hot lines and hot spots. Since we assume a thin disc's approximation, a movement of these patterns is considered to be along the radial direction. An angular momentum transportation and conservation is connected to that movement. Mass-transfer mechanisms are discussed and proposed for individual astrophysical objects.*

ДИНАМИЧНИ ПРОЦЕСИ И ФОРМИРОВАНИЯ В ПОТОКА НА АКРЕЦИОННИ ДИСКОВЕ В ДВОЙНИ ЗВЕЗДНИ СИСТЕМИ

Даниела Бонева, Красимира Янкова, Денислав Русев

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: danvasan@space.bas.bg, f7@space.bas.bg, denislav.rusev@gmail.com

Ключови думи: *Звезди: Двойни звезди; Акреция: акреционни дискове*

Резюме: *Представено е нашето изследване върху механизмите на пренос и газодинамичните процеси в акреционни дискове на двойни звезди с компактен обект. Ние предполагаме, че структурите на потока, които се развиват в диска са резултат от неустойчивости. Нашите резултати разкриват съществуването на вихрови модели и плътностни вълнови структури, на горещи линии и горещи петна. Тъй като приемаме приближение на тънък диск, то движението на тези структури е в радиална посока. Това движение е свързано с транспортирането на ъглов момент и закона за запазването му. Обсъждат се и се предлагат механизми за пренос на маса при избрани астрофизични обекти.*

Introduction

Binary stars are common astrophysical objects, usually consist of a compact object (as an accretor) and a main sequence star (as a donor). These two components are surrounding by an equipotential surface, known as Roche lobes. When the two objects are close enough in order of one of the Roche lobes to be filled, a specific process occurs. Matter from the donor star starts to transfer towards the accretor. Due to the fact that this matter possesses significant angular momentum, it becomes natural that a disc around the compact object is formed. This disc is called an accretion disc and the process is called an accretion [10]. The disc that is formed is axisymmetric, which means that the gravitation of the donor star does not influence the disc in a high extent [25].

The accretion happens by the tidal force, which transports the angular momentum through the disc towards the accretor [17]. When the Roche lobe overflow velocity is high enough, the so called stellar wind type of the incoming flow undergoes [24]. Another important feature is that the inflow velocity into the accretion discs could be "highly supersonic" [23]. Then, shock waves are possible to be produced, discovered by Sawada et al. (1986) [24], and they are thought to be the cause of losing angular momentum of the disc. At some conditions, as an example a high Reynolds number, turbulence in the disc flow is developed [25]. In this case, the turbulent viscosity is an active mechanism of the gas-

matter transfer. According to the theory of Shakura & Sunyaev (1973) [26], magnetic stresses are the useful tools for the loss of angular momentum.

An important feature is also the Eddington limit or a limiting luminosity. The accretion can be stopped by crossing it. When it is exceeded, the pressure of luminosity would halt the accretion process, because the gravitational force would not be strong enough to keep the process running [10].

In this paper, we explore the essence of the accretion disc around the compact object, as well as the important features of angular momentum, hydrodynamical processes, what kind of instabilities and structures exist.

We present a retrospection of years of our study, with recent interpretations and results, on the gas dynamical processes and pattern formations in accretion discs of binary stars systems with a compact object (Section 2). We discuss on the mass-transfer mechanisms available in the studied binary stars (Section 3).

Gas-dynamical processes: instabilities; pattern formations; angular momentum transportation.

- **Equations**

Here, we present only the equations that are used for the current results, written in their final form. First, it is the next form of the Navier-Stokes equations [30]:

(1) $$\frac{\partial v}{\partial t} + v.\nabla v = -\frac{1}{\rho}\nabla P - \Omega \times (\Omega \times r) - (2\Omega \times v) + \nu\nabla^2 v$$

and the vortical transport equation [12,18], obtained in the following expression (we explained in detail in [4]):

(2) $$\frac{\partial \Psi}{\partial t} + \Psi(\nabla.v) + v(\nabla.\Psi) = -\frac{\nabla P \times \nabla \rho}{\rho^2} + D\nabla^2\Psi$$

Eq. 2 expresses the relation between evolution of the vorticity with time, the non-conserve relationship between density and pressure in the flow and the transport coefficient, which takes part in the angular momentum transfer. In the current analysis, we accept $\rho \neq const$ and $v \neq 0$.

The denotations in Eqs. 1, 2 are as follows: v - is the velocity of the flow; ρ - is the mass density of the flow; P - is the pressure; ν - is the kinematic viscosity; Ω - is the angular velocity; $\Omega \times (\Omega \times r)$ - is the centrifugal acceleration of the centrifugal force; and $2\Omega \times v$ - is the Coriolis acceleration in the mean of the Coriolis force; $\Psi = \nabla \times v$ - expresses the vorticity in the flow; D - is the diffusion coefficient (or matrix of the transport coefficient).

- **Formation of dense zones in the accretion disc**

The gas-dynamical analysis of the accretion flow structure in close binary star system has demonstrated tidal interaction between the inflowing mass-matter from the donor component through the point of libration L1 and the flow around the accretor [8, 11, 22]. It is shown that even a small variation in the mass transfer rate could disturb the equilibrium state of the hot accretion disc and this way the flow's structure to be fluctuated [3].

In [4] and [5], we obtained a dense formation development in the disc plane, called "thickened zone", appeared in the result of tidal waves and the corresponding tidal instabilities. Results of a numerical code application revealed that a damping in density fluctuations is observed for a period of time. Further, at the still active disturbances, they could increase again with such a sharp variability in the density values.

Later, the density around the flow's contact points undergoes transformations. This means that the disc's matter could be pumped out and concentrated in localized places, which tends to the density diluting in a close area.

Here, we present a thickened zone formation in a net-frame simulation, which follow the described processes (see Fig. 1). It is also depicted the density distribution in the same area.

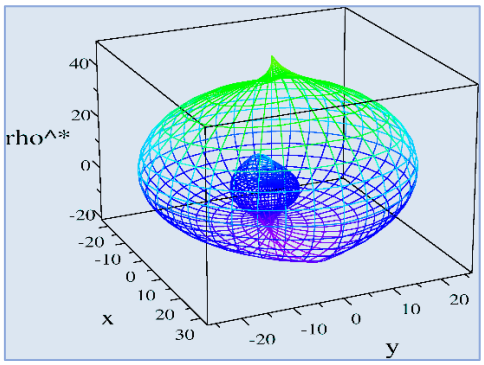


Fig. 1. A thickened zone formation, appeared in the result of tidal instabilities (the dark blue inside of the net-frame). The coordinates of the frame correspond to the density distribution ρ_* $(rho\hat{}*)$ in a direction r_* (x) over the time t_* (y). Figure shows a stop-phase of one full rotational period.

- **Vortical-like patterns in the accretion disc flow**

In regions of the binary star configuration, where the magneto-rotational instability [1] does not operate, formations of vortices have a key role in the accretion disc dynamics, as an efficient mechanism of angular momentum transportation [2].

Vortices are mainly generated by Rossby waves instability [16, 19, 21]. We explained the process in detail in [5, 6]. It follows again the conditions for density accumulations in accretion flow. An important requirement for this instability is that the disc should be unmagnetized and differentially rotating.

Another instability, known as baroclinic [14], [15] is responsible for the vortex production, as well. In the baroclinicity conditions of (Klahr & Bodenhiemer 2003) [14], a misalignment of density and pressure gradients is required, even where there is an azimuthal density gradient. Then, a generation of vorticity in the region of the outer disc edge is possible.

The corresponding baroclinic term in the vorticity equation is the only source term: $\nabla\rho(r,\varphi) \times \nabla p(r,\varphi) \neq 0$. Here, we use it in two-dimensions, in accordance with the approximation of the thin disc.

Based on a vortical transport equation and a computational analysis, we revealed the vorticity formations [5], by series of runs that were performed. Then, stages of vortex evolutions could be able to track out: from distortion of the flow laminarity; a weak undulation of the layers in the examined box-frame; a vortex development in some ready stage of their evolution. Simulations show a vortex-like growth in r,φ plane of the disc zone. Figure 2 shows the final 3-rd stage of the single vortex evolution, in the reduced boundary frame of computations.

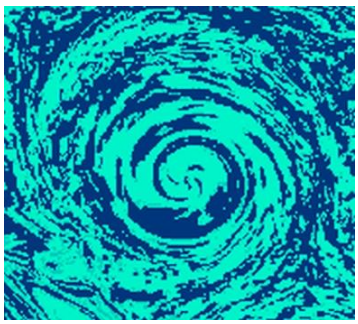


Fig. 2. A single vortical-like pattern formation in its final stage of evolution, through the performed simulations. The density increases from the light zone to the dark.

- **Spiral waves development formations**

The tidal waves also may cause a development of spiral waves, in local single zones or in accretion disc's configuration as a whole.

As taking into account the tidal interaction on the density variance, mentioned in the previous two subsections, we apply a numerical code (described in [5]) on the perturbed equations. Then, we observe an emerging spiral structure in the disc over ([4], figs. 3–5). In the case of a high temperature gas, an appearance of a spiral with one arm is detected. This tidal spiral wave is penetrating into inside part of the disc. When we assume an already cold disc, the possibility of a second spiral arm arises.

This means that the density in such disc places is increased, comparing to the stream matter density. In the cases, when a circumdisc halo exists, its size could decrease and then the second arm of the spiral shock wave could be formed. Here, figure 3 depicts the formation of one arm spiral wave with additional image processing that has improved the visualization of the results.

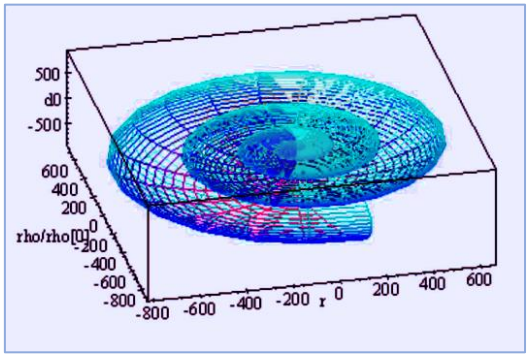


Fig. 3. One arm spiral wave development, in case of the hot accretion gas

- **Advective rings**

Advective rings are distinguished from tidal spirals by their nature and mobility. Rings retain their Keplerian nature due to its specific mechanism of moving in the disc, while spirals are logarithmic.

The advective rings are local dense formations that are formed in the inner regions of all types of accretion discs, ranging from cold to warm and hot. They keep part of the already formed radiation within themselves, because of their increased density and packet transfer along with the flow:

$$\frac{\partial(\rho_e v_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho_e v_i v_j\right) = \rho_e \left(\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j}\right) = \rho_e \frac{Dv_i}{Dt}, \quad (3)$$

where ρ_e is an equatorial density; v_i is the speed of the average flow; $i, j = 1,2,3$.

The operator D/Dt defines the advective term as a stream with velocity v_i. This means that there is a displacement of the mean stream with velocity v_i in some direction, preserving its character. The solution as a whole is carried over to smaller radii [31, 32]. Thus, the advective rings effectively maintain the cooling of the disc.

Vortices that are generated by an instability of the radial entropy gradient [14] may locally transport an angular momentum outwardly. They are moving in a radial plan direction and this way to transport mass throughout the disc. We suppose from our results that the movement of vortical-like formations in the final stage of their evolution could also be a transport mechanism of the angular momentum in the accretion disc configuration.

It is known that [28] a dissipation in the spiral shocks is responsible for the transport both the large quantities of angular momentum outwards and the disc materials inwards.

Mass transfer mechanisms: available at different type of the studied binaries

Knowing the mass transfer process gives the possibility to better understand the resulting properties of the interacting area between the mass inflow from the donor star and the compact star's accretion zone [27]. We have confirmed that in the previous section.

Hydrodynamical approximations show that disturbances both in the density and in velocity are in a close relation with changes in the mass transfer rate. A stable binary star system requires the mass transfer to be stable too, which depends on the internal structure of the donor star, binary mass ratio, and the angular momentum transport mechanisms [13, 20].

Recently, two ways of the matter transfers between the binary stars' components are known. When one of the components in the binary starts to blow up, it fills its Roche lobe, then the matter starts to overflow through the Lagrange point L1 [10]. In some binary stars, usually in Symbiotic binaries, the donor component could throw out much of its material in a form of stellar wind, later attracted by the gravitational field of the accretor component. Both mechanisms are mostly applicable to the Cataclysmic variable (CV) stars.

By analyses of adopted astrophysical objects' parameters and observational data, we obtained for which of them the results of our study are relevant. As an example here, the AM CVn binary star CR Boo (Bootis) has a stable mass transfer of a first type, with a rate of $\dot{M}_2 = 1.41(\pm 0.5) \times 10^{-9} M_\odot \, y^{-1}$

[8]. Other object, the CV Dwarf novae (DN) star SS Syg (Sygnus), has a higher value of the mass-transfer rate. Its mechanism is of first type, through the L1 again. On the other hand, SY Cnc (Cancer) is a DN of a Z Cam - type object, where the changes in the mass-transfer through L1, with a relatively high rate, are of a big importance for the system activity [29], which could behave like U Gem or NL stars. In contrast, the symbiotic binary NQ Gem (Gemini) produces an average disc accretion efficiency in comparison to other three objects. The mass transfer is released via the stellar wind [7].

In these objects, there is a high possibility of development of patterns in the flow. A hot spot (at CR Boo) or a hot line (at SS Syg) could appear at the contact point between the incoming stream from the secondary component and the accretion disc's flow. A development of spiral density structure in SS Syg is of strong evidence. Some wave formations are rather seen in the CR Boo's outer's disc parts.

Conclusion

The Cataclysmic variable stars are among the objects in which accretion occurs and the results in the above sections are mostly compatible with them. Accretion disc is the most efficient mechanism for extracting gravitational potential energy and turning it into luminosity.

Structures and dynamics of the disc's flow create the disc morphology. This includes pattern formation in the disc's flow, an appearance of turbulence, vortices and spiral-like structures.

We presented some gas-dynamical processes, such as instabilities in the accretion disc flow that are the main source of such patterns development. We proposed the tidal, Rosby and baroclinic instabilities to be responsible for their generation. The mass-transfer between the components is an essential part of the binary stars' evolution. The transfer mechanisms for selected objects are suggested. We also obtained what type of flow's formations is possible to appear in these objects.

All of these structures and formations are of a highly important part of the accretion disc mechanisms. By studying them we uncover how exactly the accretion process in binary stars occurs.

References:

1. Balbus, S. A., J. F. Hawley, 1998, Rev. of Mod. Phys, 70, 1
2. Barranco, J. A., P. S. Marcus, ApJ, 2005, 623, 1157
3. Bisikalo, D. V., A. A. Boyarchuk, P.V. Kaigorodov, O.A. Kuznetsov et al., 2003, ARep., Vol. 47, p. 809
4. Boneva, D. V., 2010, Bulgarian Astronomical Journal, 13, pp. 3–11.
5. Boneva, D., L. Filipov. astro-ph/1210.2767B, 2012
6. Boneva, D., 2017, Proceedings of 13th Scientific Conference SES 2017, p. 79.
7. Boneva D., Kr. Yankova, 2021, CS20.5, 10.5281/zenodo.4748796, id. 328
8. Boneva, D., W. Dimitrov, K. Yankova, 2023, Proceedings of 19th Scientific Conference SES'23, p. 86
9. Boyarchuk, A.A., D.V. Bisikalo, O.A. Kuznetsov, V.M. Chechetkin, 2002, Adv. in Astron. and Astroph., Vol.6, London: Taylor & Francis
10. Frank, J., A. King, D. J. Raine, 2002, Accretion Power in Astrophysics:3rd Edition.
11. Frank, J., 2008, New Astronomy Reviews, 51, 878–883
12. Godon, P., 1997, ApJ, 480, 329
13. Gokhale, V., X. Peng, J. Frank, 2007, ApJ, 655, 1010
14. Klahr, H., P. Bodenheimer. ApJ, 2003, 582, 869–892
15. Klahr, H. ApJ, 2004, 606, 1070
16. Li, H., S.A. Colgate, B. Wendroff, R. Liska, 2001, ApJ, 551, 874
17. Lin, D. N. C., J. Papaloizou, 1979, MNRAS, Vol. 186, Issue 4, p. 799–812
18. Lithwick, Y., 2007, ApJ, 670, 789L
19. Lovelace, R. V. E., H. Li, S. A. Colgate, A. F. Nelson,1999, ApJ, 513, 805
20. Marsh, T. R., G. Nelemans, D. Steeghs, 2004, MNRAS, 350, 113
21. Meheut, H., F. Casse, P. Varniere, M. Tagger, 2010, A&A, 516, A31
22. Pringle, J. E., 1992, A. Note, ASP Conf. Series, 22, 14
23. Pringle, J. E., 1981, ARA&A, Vol. 19., Palo Alto, CA, p. 137-162.
24. Sawada, K, T. Matsuda, I. Hachisu, 1986, MNRAS, Volume 221, Issue 3, Pages 679–686
25. Sawada, K, T. Matsuda, M. Inoue, I. Hachisu, 1987, MNRAS, Volume 224, Issue 2, Pages 307–322
26. Shakura, N. I., R.A. Sunyaev, 1973, A&A, 24, 337
27. Solheim J. E., 2010, PASP, 122(896):1133. https://doi.org/10.1086/656680
28. Steeghs D., E. T. Harlaftis, K. Horne, 1997, MNRAS, 290, L28.
29. Szkody, P., M. Albright, A.P. Linnell, M.E. Everett, R. McMillan, G. Saurage, J. Huehnerhoff, S.B. Howell, M. Simonsen, N.A. Hunt-Walker, 2013, PASP, 125, 1421.
30. Thorne, K, 2004, Foundations of fluid dynamics, V 0415.2.K2004, http://www.pma.caltech.edu/Courses/ph136/yr2004/
31. Yankova, K., L. Filipov, D. Boneva, D. Gotchev, 2014, BgAJ, v. 21, p. 74
32. Yankova, Kr., 2015, BgAJ, v. 22, p. 83

КАСКАДНИЯТ ПРИНЦИП В КОСМОЛОГИЯТА. НИВА НА СЛОЖНОСТ – СТРУКТУРО-ФОРМИРАНЕ И САМООРГАНИЗАЦИЯ

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: *Развиваме концепцията за каскадност, в термодинамичната интерпретация на космологично развитие: представяме нов начин за описание на времето и пространствено-времевите многообразия, произхождащи от него, като ги разглеждаме в качеството им на термодинамични състояния.*

Анализира се как поведението на ентропията като водещ параметър се отразява в усложняващата се еволюционна картина на каскади многообразия и под-многообразия.

CASCADE PRINCIPLE IN THE COSMOLOGY. COMPLEXITY LEVELS – STRUCTURE-FORMATION AND SELF-ORGANIZATION

Krasimira Yankova

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

Keywords: *advection, thermodynamics; relativism, cosmology*

Abstract: *We develop the concept for the cascading, in the thermodynamic interpretation the cosmological development: We present a new way of describing time and the spatial-temporal manifolds originating in it, considering them as thermodynamic states.*

It is analyzed how the behavior of entropy as a leading parameter is reflected in the complicating evolutionary picture of cascades manifolds and sub-manifolds.

Въведение

В законите на физиката няма основание времето се движи само в едната посока. Всички процеси на взаимодействие на елементарните частици при обръщането на времето са симетрични. Изключение правят само слабите взаимодействия.

Принципно са допустими и правите, и обратните явления. Те се различават само в честотата, с която се случват. В действителност обратните явления се срещат толкова рядко, че може практически да се изключат, защото не са се случили нито веднъж от раждането на Вселената.

Ще предложим термодинамична интерпретация която не налага космическа цезура в космологията, но предполага приоритетна посока в развитието на Вселената.

Термодинамиката се занимава с топлинните процеси, протичащи в следствие промяната на енергия – обменът, връзките и трансформацията и в други форми.

В същото време термодинамиката обединява концептуално квантовата и релативистката физика. Те имат допирни точки в полето на термодинамиката, а там математичната физика успява ако не да ги обедини напълно, то да ги стикова адекватно за подходящо описание природата на мирозданието в космологията и ние ще работим с термодинамика на пространство-време.

Централна хипотеза

В термодинамична интерпретация предлагаме времето като основно ТД-състояние [7]. В качеството си на такова то представлява активна среда със собствена енергия и неограничен брой измерения, която притежава нелокални свойства и спонтанна гъвкавост; и може да взаимодейства с обектите в себе си, ако има такива.

Времето не се подчинява на ротационните симетрии и затова при самопресичане се формира инстантон [4–7]. Формирането на инстантон/и през необратим фазов преход променя конфигурацията от основното състояние към ново ТД-състояние в което възникват първите ентропии. Когато се ражда самата повърхност на инстантон е ентропия, а раждането му необратим преход по смисъла на обобщението на Вторият принцип на термодинамиката в термодинамика на пространство-време [6].

По аналогия с хоризонта на събитията при черни дупки тук също се формира инстантон, но условията на средата създават особености на формирането: това е друг тип инстантон възникнал не от нелинейност в тъканта на пространство-време, а като следствие от трансмутация на един вид измерения във друг. По аналогия със синтеза на елементи - превръщането на чисто време в пространство-време при прехода от основно в следващо ТД-състояние капсулира остатъка от „енергията на трансмутация“ в новата структура. Следствия:

i. Капсулираната енергия има малка ненулева стойност: Тя представлява заключената в обвивката на минималната ротационна повърхнина на инстантона *пространствена тъкан,* тоест по същество *тъмната материя [5] (за разлика от обикновената материя, ТМ не се подчинява на ротационни симетрии - частиците ТМ в стените на многообразието не притежават спин)* и съответства на минималната ентропия в момента на затварянето му.

ii. Като следствие от затварянето при около един [Планк] време се отделя гравитацията и възниква *първичен термодинамичен откат - тъмната енергия (ТЕ)* като собствена динамика на многообразието:

(1) $a = f(\Lambda)$

(2) $a = \text{const}(\Lambda)$, (в нашата Вселена); [5].

При образуването инстантона притежава m-брой разгърнати пространствени измерения, n- счупени/компактифицирани и ∞-брой времеви измерения (вътре и вън). В локалния мултиверс фрактала на нагъване е характерен, m-(в нашия случай е 3) е постоянно, а n- е крайно число. Броят разгърнати измерения m е константа, тъй като те принадлежат на пространствената обвивка на формираният в прехода инстантон.

Нива на сложност – структурообразуване и самоорганизация

* основно ниво – чисто време – безкрайномерно дуално многообразие [7];

I. първично многообразие – през трансмутация на време в пространство-време се ражда инстантон – появява се локален мултиверс;

   i. първично разцепване при затваряне – ротационно мобилни клони – фамилии Вселени;

   ii. всеки клон се копира в конкретни реалности → квантово клониране на алтернативи - конкретни Вселени – комплекс от под-пространствени естакади.

II. вторични многообразия – филизи от локалния мултиверс – породени Вселени [4];

III. роене – откъсване от Вселената Майка.

Ентропия

Системата Време е двустранно отворена ТД-система - отгоре към безкрайност, а отдолу към неопределеност (всеки краен интервал време може да се раздели на безброй много безкрайно малки интервали).

По смисъла на II принцип на ТДПВ вероятността за прехода от основно състояние към състояние с ненулева към нарастваща ентропия е винаги различна от нула [7].

В новото състояние всяка подсистема пространство-време е ограничена (или затворена) отдолу от първичният радиус на инстантона. Локалните мултиверси като самозатворени системи не взаимодействат (нямат причинно-следствени връзки) с околната среда и по това приличат на квантови структури (частици във вакум) във времето. Подобно населенията I-тип и II-тип на галактиките това са взаимопроникващи системи невзаимодействащи една с друга.

Загубата на симетрии в основното многообразие е необратим процес. Необратимостта винаги намалява количеството на свободната енергия. До това води и затихване на взаимодействието в система частици. Заплитането също може да се разглежда като форма на такова затихване. Ентропията от самопресичането [4, 5] (заплитането на степени на свобода [1–3]) е само първичен резултат в термодинамичната еволюция на времето. Необратимостта на процесите в следващите нива се свързва основно с два аспекта:

i. възникването и отместването на бифургационните точки спрямо началното местоположение вследствие мобилността на мрежовата решетка от тъканта на пространство-време породена от собствената динамика (разширението) на първично многообразие. Сшиването или разместването на формации (вторични многообразия), ще доведе до пренареждане и вторични ТД-откаtu в главното (първичното) многообразие.

ii. откъсване от вселените майки, което също води ТД-откаtu, но и разширява населеността на основното многообразие със вторични многообразия. В отворена система, като времето която зависи от изменението на броя си подсистеми смисъла на обобщението на Първият принцип на термодинамиката в термодинамика на пространство-време [6], това е съществено поради следните важни обстоятелства:

- вторичните многообразия могат да се въртят. Първичните са ротационно мобилни, но момента им е нула поради обстоятелството че възникват от чисто време, а времевите измерения не се подчиняват на ротационните симетрии [5];
- също така е възможно да се родят заедно спазвайки определени симетрии помежду си;
- или да загинат твърде бързо, ако първичният ТД-откат е твърде мощен, ТЕ има твърде висока стойност и разширението е exp:

(3) $a = f(\Lambda) \neq \text{const}$

Времето като отворена система трябва да може да се самоструктурира по такъв начин, че ентропията да намалява. Това поставя въпроса доколко нарастващата по каскадите ентропия се регулира от количеството краткоживущи локални мултиверси, чиято гибел възтановява някаква част от загубените симетрии в основното многообразие.

Заключение

В заключение ще припомним че Физиката на *l*-измерен обем може да бъде описана от неговата (*l-1*)-измерна граница. Също така ще отбележим, че мрежовата каскада в многообразието, която е съвкупността от повтарящи се състояния в оригиналния модел е чисто време с пространствена обвивка. Такъв фрактал на практика няма обем. Следователно трябва да се търси подходяща измерима физическа величина чрез която да се проследи еволюцията на ентропията през естакадите от обвивки на локалните мултиверси и техните самоструктуриращи се филизи.

Литература:

1. Hooft G.'t , 2000, The Holographic Principle, https://arxiv.org/pdf/hep-th/0003004.pdf
2. Raamsdonk, M. V., Gen. Rel. Grav. 42 (2010) 2323. https://arxiv.org/pdf/1005.3035.pdf
3. Susskind, L.,1995, J. Math. Phys.36, 6377-6396. https://arxiv.org/pdf/hep-th/9409089.pdf
4. Yankova, Kr., 2019, Proceedings SES 2019, ISSN 1313-3888, 62–65.
5. Yankova, Kr., 2020, Proceedings SES 2020, ISSN 1313-3888, 81–83.
6. Yankova, Kr., 2022, Proceedings SES 2022, ISSN 1313-3888, 47–50.
7. Yankova, Kr., 2023, Proceedings SES 2023, ISSN 1313-3888, 91–93.

S E S 2 0 2 4
Twentieth Anniversary International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
22 – 25 October 2024, Sofia, Bulgaria

PERIOD REVEALING BY STRUCTURE EMINENCE FUNCTION (SEF). FOUR METHODS. PHOTOMETRIC PERIOD OF ETA CARINAE

Tsvetan Georgiev

Institute of Astronomy and NAO – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: tsgeorg@astro.bas.bg

Keywords: *Time series – periods; Periodograms; LBV stars; Eta Carinae*

Abstract. *SEF is the dependence of the structure amplitude on its time length. The positions of the SEF maxima mark quasi periods and periods. Four methods are distinguished according to their preliminary procedures – with resampling or without resampling of the time series, with local or global detrending. The methods are illustrated on B band data about the LBV η Carinae for the last 60 yr. All methods derive a photometric period of 5.7 ± 0.1 yr, while the known orbital period is 5.54 yr.*

НАМИРАНЕ НА ПЕРИОДИ С ФУНКЦИЯ НА ИЗЯВЕНОСТ НА СТРУКТУРАТА. ЧЕТИРИ МЕТОДА. ФОТОМЕТРИЧЕН ПЕРИОД НА ETA CARINAE.

Цветан Георгиев

Институт по астрономия и НАО – Българска академия на науките
e-mail: tsgeorg@astro.bas.bg

Ключови думи: *Времеви редове – периоди; Периодожреми; LBV Звезди – Eta Carinae*

Резюме: *SEF е зависимостта на амплитудата на структурата от нейната времева дължина. Позициите на максимумите на SEF маркират квази периоди и периоди. Методите се различават според предварителните процедури – със или без ресамплинг на времевия ред, с локален или с глобален детрендинг. Методите са илюстрирани върху B данни за LBV η Carinae за последните 60 г. Всички методи дават фотометричен период 5.7 ± 0.1 г., докато известният орбитален период е 5.54 г.*

Introduction

Various methods for revealing of repetitive structures, responsible for periods in time series or light curves (ICs), exist. In astronomy CLEAN (Roberts, 1987) and Lomb-Scargle (Lomb, 1976; Scargle, 1982) methods, hereafter C&LS, are used.

Our Structure Eminence Function (SEF) is the dependence of the average amplitude of the repetitive structure (pattern) on the structure time length, $E(t_L)$, Eq. 1, Figs.1c – 4c). SEF maxima positions mark quasi periods and periods. We use also a Periodograph Function (PGF), which is derived from the SEF by removal of its background curve, $G(t_L$, Eq. 2, Figs. 1d – 4d). The PGF maxima reveals better the SRF maxima.

The SEF method is tested on various time series. It is compared with the detailed periododgram of Ilkiewicz et al. (2021) about the flickering of AQ Men (Georrgiev 2023, hereafter G23). The SEF method is also applied and compared with C&LC methods on LCs of the LBV η Car (Georgiev et al. 2024, hereafter G+24). Our SEF method reveals and uses average profiles (shapes) of repetitive structures (Fig. 5). By this reason it poses up ro 2 times higher time resolution than the C&CL methods. Also, the structure profiles may be useful in the understanding of the nature of the periodicity.

Four SEF methods may be distinguished, as in Figs. 1 – 4. The subctipts stand for use of resampled (R) or frifinal (O) Lc and applying of local (L) or global (G) detrending.

In Figs. 1&2 SEF_{RL} and SEF_{RG} methods work on an input (ILC) with constant time step. Otherwise, we resample the original LC (OLC) by interpolation with constant time step and derive resampled ILC (RLC). In Figs. 3&4 SEF_{OL} and SEF_{OG} methods work on OLC, without resampling. Eventually, we fill the LC holes by interpolation.

All SEF methods work on flat LCs. i.e. LCs without significant largescale trends. Otherwise, we build a smoothed ILC (SLC) and extract it from the ILC. In Figs. 1&3 SEF_{RL} and SEF_{OL} methods smooth the ILC locally, by moving average. Suitable window size (WS) of the smothing enshre good protrude of the period naximum in the PGF. In Figs. 2&4 SEF_{RG} and SEF_{OG} methods smooth the ILC globally, (G), fitting the ILC with a low degree polynomial.

Further the dependence SEF is building on the residual LC (RLC), which is the difference between the ILC and its SLC. The RLC (Figs. 1b – 4b) has zero average value (AV) and specific standard deviation (SD). The RLC servs all SEF method (Figs. 1c – 4c) and, eventually, C&LS methods (G+24).

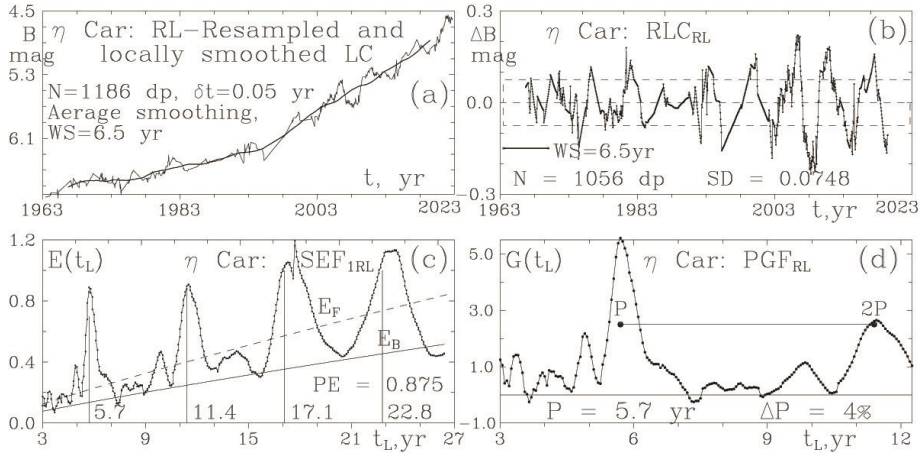


Fig. 1. SEF_{RL} : Resampled LC plus locally detrending through AV from WS of 6.5 yr.

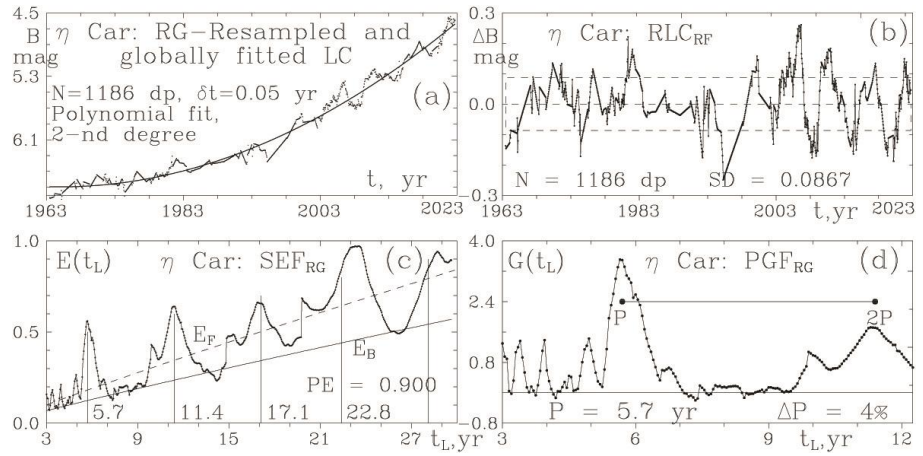


Fig. 2. SEF_{RG} : Resampled LC plus globally detrending through 2-nd degree fit

The used abbreviations follow: AV – average value, C&LC – CLEAN & LC methods, dp – data points, ILC – input LC, LC – light curve, PGF – periodograph function, OLC – original LC, RLC – residual LC, SEF – structure eminence function, SLC – smoothed LC, SD – standard deviation, WS – widow size.

Extracting and characterizing repetitive structures

For methods SEF_{RL} and SEF_{RG} (Figs. 1 & 2) we suppose RLC (t_i, z_i), with i=1,N data points (dp) and constant time step δt. Let this RLC containis a nrepetitive structure with length L dp or time length $t_L=L\times\delta t$. For the extraction of this structure we pull up the first L dp, z_i, i=1,L, from the RLS and put them into an initially empty set with cell numbers j=1, L. Then we add there the next L dp, z_i, $i=L+1,L+L$ from the RLS, after this –the next L dp, etc. The (integer) number of possible additions is

$K=N/L$. In the end the j^{th} cell, containing K additions with respective AV a_j and SD d_j. So, the structure with length L is describing by signal profile a_j and noise profile d_j. Further, the average amplitude $A_L=<|a_{jl}|>_L$ and average noise $D_L=<d_j>_L$ are derived. Note that A_L gathers absolute values $|a_{jl}|$, i.e. A_L is one side average amplitude of the structure. Applying SEF we extract by this manner numerous RLS segments with lengths $L=L_1, L_{max}$, characterizing each of them by A_L and D_L. For at least $K=2$ additions we have $L_{max}=N/2$.

For the methods SEF_{OL} and SEF_{OG} (Figs. 3 & 4) we have RLC (t_i, z_i) with $i=1,N$ dp, whit arbitrary sampling. Let this RLC contains a repetitive structure with time length t_L.

We extract and add such structures K times, like in the previous case but operating with t_L instead L. Preliminary we derive the left bounds t_{kL}, k=1,K, of numerous intervals, $t_{kL} = t_L \times (k\text{-}1)$. Then we pull up data ($t_i$, z_i) from consecutively RLS segments with time lengths $t_{L\,i}$nto an empty 2D set with N cels. Note, we write time values $t_j = t_i - t_k$ instead t_i. The (integer) number of additions is $K=(t_N\text{-}t_1)/ t_L$. Later we sort the transferred data and derive the sorted data z_j (with suitable shifted times) t_j, representing the profile of the segment with length t_L. Further we resample this multitude data with suitable step. Thus we derive signal profile a_j and noise profile d_j, as well as average amplitude $A_L=<|a_{jl}|>_L$ and average noise $D_L=<d_j>_L$. Applying such SEF method we extract by this manner numerous RLS segments with lengths t_L.

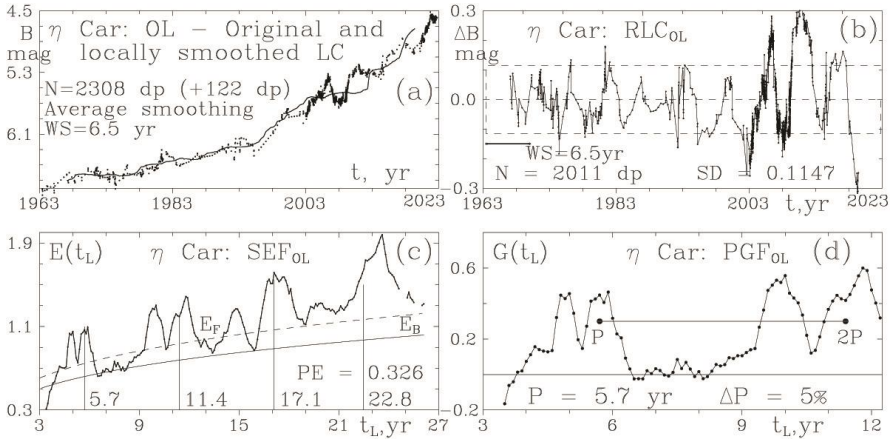


Fig. 3. SEF_{OL}: Original LC plus localy detrending through AV from WS of 6.5 yr.

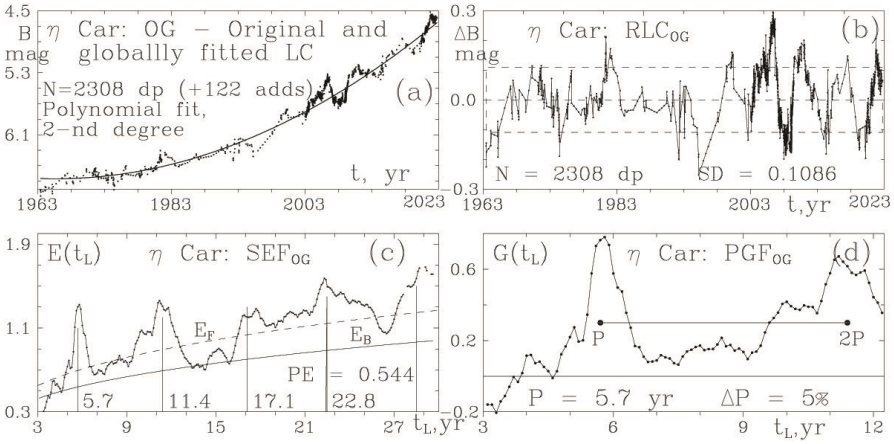


Fig. 4. SEF_{OG}: Original LC plus globally detrending through 2-nd degree fit

Deriving of SEF and PGF

Every significant repetitive structure in the RLC produces maximum of the amplitude funcion A_L and minimum of the noise funcion D_L. Therefore, the ratio A_L / D_L is a good indicator of periods and we define the dimensionless SEF (Figs. 1c – 4c) as follows:

(1) $E_L = A_L / D_L$ or $E(t_L) = A(t_L) / D(t_L)$.

The position of the most left SEF maximum in the SEF marks the basic period P.

The SEF fit, E_F, is a power function (Figs. 1c – 4c, dashed curves). The SEF maxima protrude better above the SEF background. In log-log coordinates the general SEF fit is a lstright ine. Then the background line, which bounds from down 90% of the SEF points, is derived by downward shift of the SEF line. After reverse transform into linear coordinates, the SEF background libe, E_B, becomes power function with the same power exponent (Figs. 1c – 4c, solid curves). So, we define the dimensionless PGF through the SEF values E_L and respective SEF background $E_{L,B}$ (Figs. 1d – 4d,) as follows:

(2) $G_L = (E_L - E_{L,B})/ E_{L,B}$.

The PGF maxima protrude well and the resolution of the SEF method may be estimated better.

Periods from the SEF methods

Figures 1–4 illustrate the applying of the SEF methods on a *B* band LC of LBV *η* Car in 1963–2023, with 2186 dp compilated and homogenized in G+24.

Figures 1a–4a show the ILCs with *N* dp (dots) and the relevant SLCs (curves). In Figs.1a & 2a the ILCs are derived from the OLCs by interpolate resampling with step of 0.05 yr. For Figs. 3a & 4a the step is 0.1 yr, applied after interpolate addition of 122 dp in the holes of the OLC. The maximal hole size is decreased to 0.5 yr. In Figs. 1a & 3a the SLCs are derived from the ILCs by local smoothing with window size WS of 6.5 yr (131 dp), but in Figs. 2a, 4a yhis is performed by 2-nd degree polynomial fit.

Figures 1b–4b show the RLCs, i. e. the differences between the SLC and OLC. The relevant with their *N* and *SD* are implemented. The horizontal lines show the levels “zero” and “zero ±*SD*”. In Figs. 1b & 3b, due to the local smoothing the RLS edges with lengths of 3.25 yr (65 dp) each, are lost. Note, that we use RLC in magnitude difference RLC = –(ILC – LC). So, the positive RLC values correspond to increased brightness.

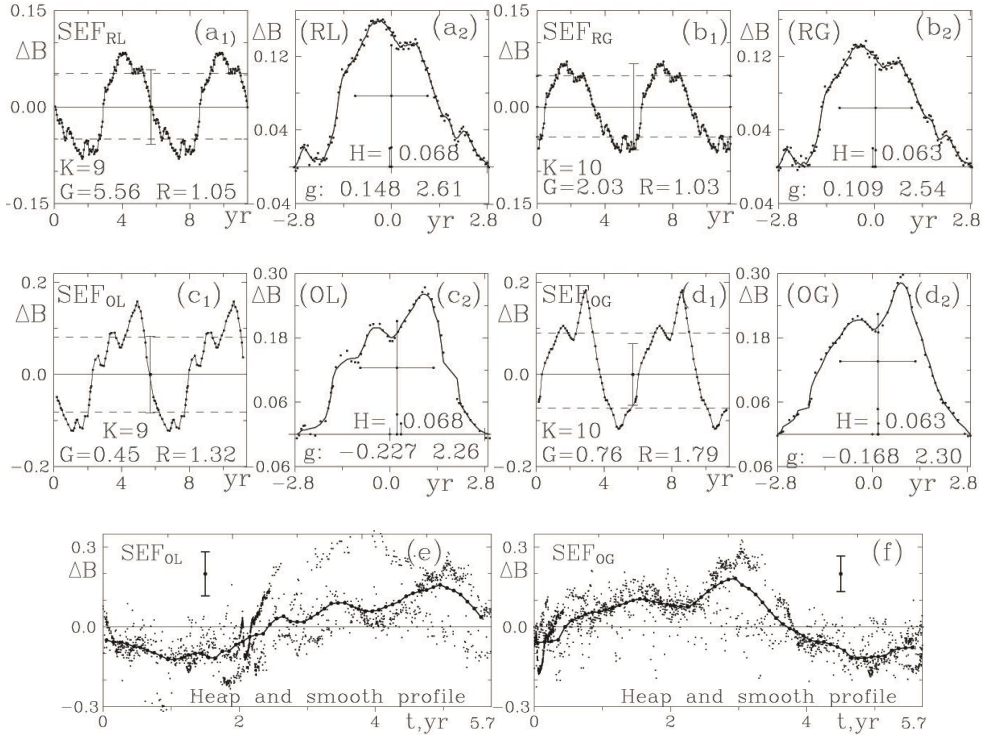


Fig. 5. SEF profiles of the repetitive structures, responsible for the period of 5.7 yr

Figures 1c – 4c show the SEFs, derived from the RLCs (Eq.1, Figs. 1b – 4b). The whole SEFs for *K*=2 cover 27.4 yr (Figs. 1c & 3c) or 29.6 yr (Figs. 2c & 4c). Here E_F and E_B are the power functions of the SEF and SEF s background. respectibelly. PE is the power exponent. The SEF maxima mark the basic period *P* and its default larger counterparts 2*P*, 3*P*, etc. The shorter counterparts, e. g. *P*/2, are not seent.

Figures 1d – 4d show the initial parts of the PGFs (Eq.2). The peaks of the periods *P* and *2P* protrude clearly. The hump resolution isd the the half width at the half of the hump maximum, Δ*t*. For

P=5.7 yr it is 4 - 5% or 0.23 – 0.28 yr. However, the ositions of the hump peaks may be estimated with an accuracy of ±0.1 yr. So, the basic period always is 5.7 ±0.1 yr. The puzzling period at 4.9 ±0.1 yr, protruding in Figs.1 & 3, seems to be a noise appearence.

Profiles of the periods from the SEF methods

Our code may show profiles a_j and d_J, for any repetitive structure, i.e. for any SEF value.

Figures $5a_1$ – $5d_1$ show the average signal profiles, a_j , corresponding to SEF methods in Figs 1—4. Each profile begins from the RLC point No.1, i.e. from an arbitrary phase. This is not an obstacle for deriving the SEF (Eq.1), but for the illustrations here each profile is drawn twice. Vertical bars show the average noise *D* of the profiles, *K* is the number of the profile addins from the RLC, G is the value of the main PGF peak (always at 5.7 yr) and *R* is the ratio between the average heights of the positive, A_1, and negative, A_2, part of the profile. Distances between the edge horizontal lines and the zero level illustrate the values of A_1 and A_2. Note that In Figs.a_1 & b_1 we derive R~1, but In Figs.c_1& d_1 we have R>1. When the positive part is heavy, the profile may be interpreted (somewhat speculative) as product of "flashing".

Figures $5a_2$—$5d_2$ show the shapes of the profiles over their minima. There *H* is the weighted height of this profile and g are the weighted skewness and kurtosis of the shape. Note, that the methods with resampling give profiles with positive skewness, $5a_2$ & $5b_2$. Without resampling the skewness is negative, $5c_2$ & $5d_2$. Note also, that the smooth profiles in $5c_2$ & $5d_2$ are derived with additional smoothing/resampling. Figures.5e & 5f show the original c & d profiles by dots and the respective Smoothed profiles – by curves

Conclusions

Our SEF methods reveal and use average profiles of repetitive structures with a relative resolution of 4–5%, up to 2 times better than the resolution of the C&LS methods. Dependng on the preliminary procedures, the SEF methods have different advantages and disadvantages. In all cases the different data density in the different LC parts may be a problem.

The resampling procedure ensures uniform use of all parts of the RLC. However, many LC peaks may be omitted, which leads to decrease of the peaks in the functions and profiles (Figs. 1, 2, 5a, 5b). Without resampling the time resolution is saved, but the dense part of the RLC will dominates (Figs. 3, 4, 5c, 5d).

The local smoothing by moving AV with suitable WS ensures good protrude of the SEF and PGF peaks, but сш reject the edges of the RLC (Figs. 1, 3). The global smoothing by low degree polynomial fit is a good approach, but it is rarely applicable (Figs.2, 4).

Generally, the methods SEF_{RL} and $SEFO_{OL}$ (Fiigs. 1, 3) seem universal, inspite of the loss of edge RLC data. Note that in Figs. 1 & 3 they reveal an inexplicable period of 4.9 yr.

All methods derive for *η* Car basic period of 5.7 ± 0.1 yr, just like in the study of G+24.

Acknowledgements: The author is grateful to Petko Nedialkov and Antonia Valcheva for the attention and recommendations.

References:

1. Georgiev, Ts. B.: 2023, *Bulg. Astron. J.*, 38, 120–129 [G23]
2. Georgiev, Ts. B., A. Valcheva, P. Nedyalkov, S. Stefanov, M. Moyseev, 2024, *Bulg. Astron. J.*, in print [G+24].
3. Iłkiewicz, K., S.Scaringi, J. M. C. Court, et al.: 2021, *MNRAS,* 503, 4050–4060
4. Lomb, N., R., *Astrophys. & Sp. Sci.*, 1976, 39, 447.
5. Roberts, D., H., J,. Lehar, J. W. Dreher, 1987, *Astron. J.*, 93, 968.
6. Scargle, J., D., 1982, *Astrophis. J*. 263, 835.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА СЛЪНЧЕВАТА АКТИВНОСТ ВЪРХУ ТЕМПЕРАТУРНИЯ РЕЖИМ В ЗОНАТА НА КОНСТАНТНАТА ТЕМПЕРАТУРА НА ПЕЩЕРИТЕ СЪЕВА ДУПКА, ЛЕДЕНИКА, УХЛОВИЦА И СНЕЖАНКА И ВРЪЗКАТА С ТЕМПЕРАТУРИТЕ В СЪСЕДНИТЕ ИМ ГРАДОВЕ СМОЛЯН, ВРАЦА, ЛОВЕЧ И ПАЗАРДЖИК

Любомира Райкова

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: heiti456@gmail.com

Ключови думи: *температура в пещерите, приземна температура, слънчева активност*

Резюме: *Целта на това изследване е да анализира въздействието на слънчевата активност, отразено чрез броя на слънчевите петна (Sn), общото слънчево излъчване (TSI) и слънчевото радиоизлъчване F10.7, върху температурата в пещерите Съева дупка, Леденика, Ухловица и Снежанка в зоната на константните температури, както и върху приземната температура в градовете Враца, Ловеч ,Смолян и Пазарджик в България. В рамките на изследването се използват температурни данни за периода от 1968 до 2022 година, за да се приложи многопластов подход при изследване на температурните вариации в специфичната пещерна среда в сравнение с приземната температура в околните региони. Резултатите показват значителни връзки между слънчевата активност и температурите в пещерите, което подчертава ролята на Слънцето върху климатичните условия в подземната среда. Това изследване допринася за разширяване на познанията относно сложните взаимодействия между слънчевата активност и климатичните условия на Земята и за оценка на дългосрочните климатични промени, които могат да бъдат предизвикани от влиянието на космическите фактори.*

THE STUDY OF THE INFLUENCE OF SOLAR ACTIVITY ON THE TEMPERATURE REGIME IN THE CONSTANT TEMPERATURE ZONE OF THE CAVES SAEVA DUPKA, LEDENIKA, UHLOVITSA, AND SNEZHANKA, AND THE CORRELATION WITH THE TEMPERATURES IN THEIR NEIGHBORING TOWNS OF SMOLYAN, VRATSA, LOVECH, AND PAZARDZHIK

Lyubomira Raykova

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: heiti456@gmail.com

Keywords: *temperature in caves, ground temperature, solar activity*

Abstract: *The aim of this study is to analyze the impact of solar activity, reflected through the number of sunspots (Sn), total solar irradiance (TSI), and solar radio flux F10.7, on the temperature characteristics in the caves Saeva Dupka, Ledenika, Uhlovitsa, and Snezhanka in the constant temperature zone, as well as on the ground-level temperature in the cities of Vratsa, Lovech, Smolyan, and Pazardzhik in Bulgaria. The study utilizes temperature data from the period 1968 to 2022 to apply a multi-layered approach in examining temperature variations in the specific cave environment compared to the ground temperature in the nearby regions. The results demonstrate significant correlations between solar activity and temperatures in the caves, highlighting the role of the Sun in influencing climatic conditions in the underground environment. This research contributes to the expansion of knowledge regarding the complex interactions between solar activity and Earth's climatic conditions and aids in assessing long-term climate changes that may be induced by the influence of cosmic factors.*

Въведение

Слънчевата активност е един от ключовите параметри, които обясняват как Слънцето влияе на климатичните условия на Земята. С течение на времето учените са придобили значителни познания за механизмите, чрез които слънчевата активност въздейства на земния климат. Въпреки това, както посочва Tsiropoula [1], остава известна несигурност относно някои аспекти на тези механизми и степента на тяхното влияние. Влиянието на слънчевата активност е видимо не само в глобален мащаб, но също така засяга локални климатични условия.

Например, слънчевите цикли оказват въздействие върху различни климатични показатели, както и върху компонентите на хидрологичния цикъл, като валежите, снежната покривка и други. Това влияние се дължи основно на колебанията в общото слънчево излъчване (TSI), които предизвикват последващи промени в атмосферните условия и климата [2]. Подобни механизми могат да се наблюдават и в специфични среди като карстовите пещери, където стабилността на микроклимата все пак е подложена на влияния от слънчевата активност.

Един ключов аспект при изследването на пещерния климат е именно влиянието на краткосрочните и дългосрочните вариации в слънчевата активност, които могат да се наблюдават дори в относително стабилния микроклимат на карстовите пещери [3]. Тези проучвания подчертават значението на слънчевата активност за климатичните модели в пещерните среди и показват, че дори в затворени и стабилни среди, каквито са пещерите, слънцето играе съществена роля [4].

Използвани данни

В Таблица 1 се предоставя информация за основните характеристики на четири пещери в България, които са обект на изследването. Тя служи за съпоставка и анализ на географските и климатичните особености.

Таблица 1. Характеристики на четирите изследвани пещери

Характеристика	Съева Дупка	Леденика	Снежанка	Ухловица
Географски координати	43° 2′ 51.4″ N 24° 11′ 16.44″ E	43° 12′ 16″ N 23° 29′ 28″ E	42° 0′ 15.13″ N 24° 16′ 43″ E	41° 30′ 50.98″ N 24° 39′ 36.22″ E
Местоположение	Източна Стара Планина	Източна Стара Планина	Централни Родопи	Южни Родопи
Климатични зони	Умереноконтинентална	Умереноконтинентална	Континентална	Средиземноморска
Надморска височина (m)	520	830	1926	892
Отдалеченост от входа на логерите (m)	55	165	75	92

В настоящото изследване са използвани средногодишните температурни стойности за периода от 1968 до 2022 година за четирите пещери. Данните са предоставени от Българския туристически съюз (БТС).

Информацията за броя на слънчевите петна, Sn, е получена от Международната служба за слънчева активност (SILSO), налична на уебсайта: https://www.sidc.be/SILSO. В рамките на изследването са използвани средногодишни стойности на броя на слънчевите петна.

Освен Sn, са използвани и данните за радиоизлъчването F10.7, които са осигурени от Лабораторията за атмосферни и космически изследвания на Университета в Колорадо, достъпни чрез техния сайт https://lasp.colorado.edu/lisird/data/noaa_radio_flux. В това изследване са включени средногодишни стойности на радиоизлъчването F10.7 за периода от 1968 до 2018 година.

Данните за общото слънчево излъчване (Total Solar Irradiance, TSI) са достъпни на уебсайта на Националния център за екологична информация (NCEI) към NOAA. Използвани са средногодишни стойности за периода от 1968 до 2022 година, които могат да бъдат намерени на следния адрес: https://www.ncei.noaa.gov/data/total-solar-irradiance/access/yearly/.

Данните, свързани със средната температура на приземния въздух (средногодишна стойност) за четирите града за периода 1968–2020 година, са взети от: https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/bulgaria/trends-variability-historical.

Методи за обработка на данните

Настоящото изследване използва Фурие анализ за преобразуване на времеви сигнали в честотния домейн, като ги разлага на синусоидални компоненти с различни честоти, амплитуди

и фази. Това се осъществява чрез Фурие трансформация, която осигурява разпределение на мощността на сигнала по честоти. Фурие трансформацията е дефинирана като:

(1) $$X(f) = \int x(t) e^{-j2\pi ft} \mathrm{d}t$$

Спектърът на мощността се изчислява като квадрат на амплитудата на Фурие трансформирания сигнал, предоставяйки количествена оценка на мощността на всяка честотна компонента:

(2) $$P(f) = (X(f)^2)$$

Плътността на спектъра на мощността (PSD) е използвана за непрекъснати сигнали и се изчислява с помощта на средногодишни стойности. Тя се дефинира като:

(3) $$S_{xx}(f) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} |X_T(f)^2|$$

PSD визуализира енергийното разпределение по честоти и помага за идентифициране на доминиращите честоти, включително основни компоненти и шум.

Нормираният спектър на мощността се прилага, за да се сравняват спектрите на различни сигнали, като нормира общата мощност на сигнала към единица. Това включва делене на спектъра на мощността на общата мощност на сигнала, изчислена чрез интегриране на спектъра в цялата честотна област:

(4) $$P_{\text{total}} = \int_{-\infty}^{\infty} P(f) \mathrm{d}f$$

Тогава нормираният спектър на мощността се получава от:

(5) $$P_{\text{norm}}(f) = \frac{P(f)}{P_{\text{total}}}$$

Чрез нормираните спектри на мощността можем да сравняваме характеристики на сигнали с различна мощност, да анализираме шум и идентификация на честоти с висока енергия.

Прилагаме и допълнителен анализ, базиран на методологията на Torrence & Compo [5] за оценка на значимостта на локалните вълнови спектри при различни мащаби и времена. Формулата за оценка на значимостта е:

(6) $$\frac{N|\hat{X}_k|}{\sigma^2} \Rightarrow \frac{1}{2} P_k \chi_2^2$$

Тази формула играе важна роля в оценката на значимостта на локалните вълнови спектри при различни мащаби и времена. В нея, σ^2 представлява мощността на сигнала, а χ^2 е разпределението с 2 степени на свобода. Формулата ни позволява да идентифицираме значимите честотни компоненти в присъствието на шум, като предоставя надеждни нива на доверие.

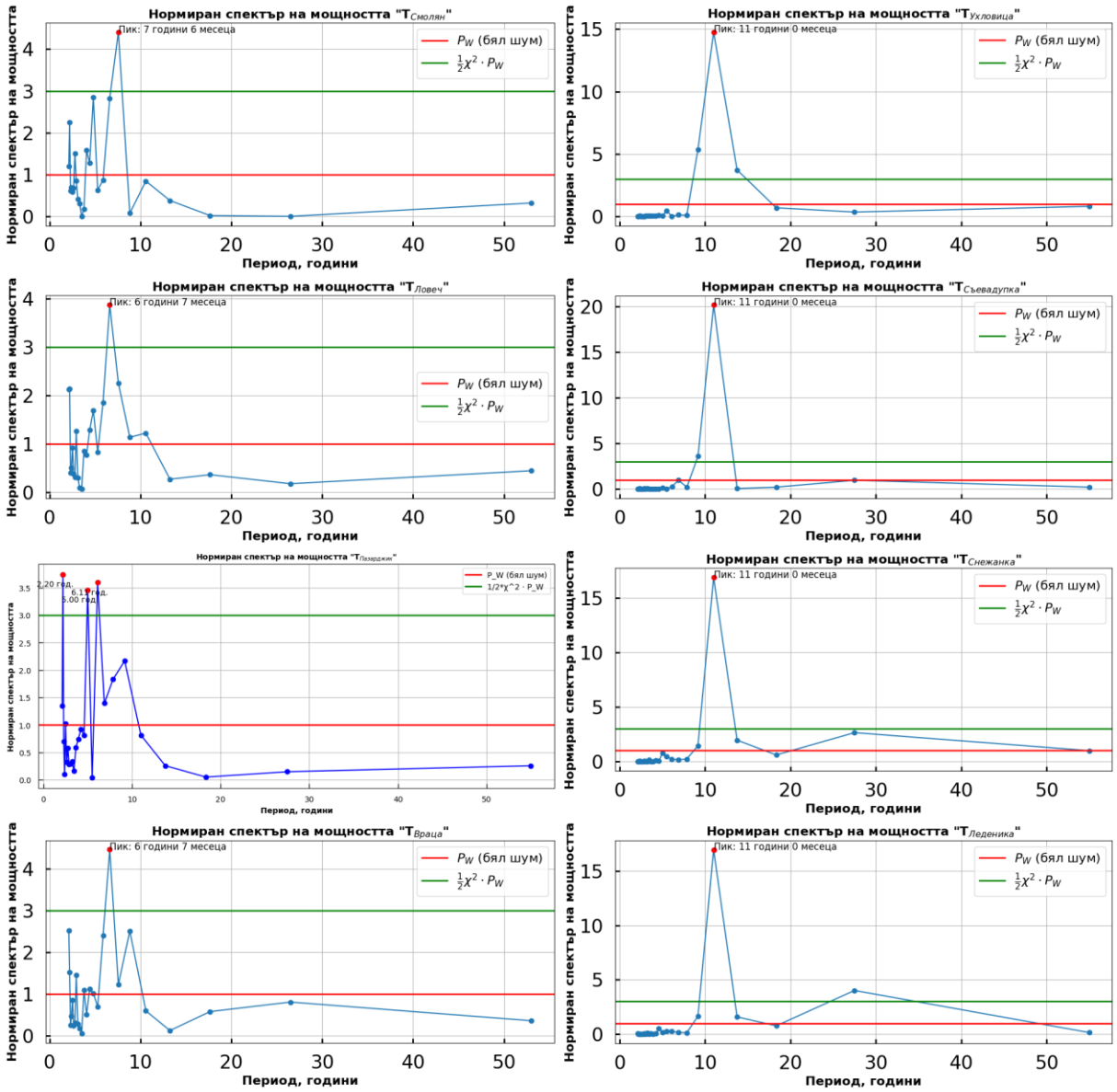
Резултати

Графиките на Фиг. 1 представят нормирания спектър на мощността, като се разгледани приземните температури в регионите на градовете Смолян, Ловеч, Пазарджик и Враца, включващи местоположението на разглежданите пещери (показаните в лявата колона панели), както и температурите в зоните с константна температура (ЗКТ) на четирите изследвани пещери – Ухловица, Съева дупка, Снежанка и Леденика (дясната колона панели). Лява колона (приземни температури в градовете). С червена хоризонтална линия е отбелязано нивото на белия шум, а със зелена линия, нивото на значимост по формула (6).

В графиките за приземните температури се наблюдават значими пикове за периоди между 6 и 8 години, а именно: за Смолян – 7 год. и 6 месеца, за Ловеч – 6 год. и 7 месеца, за Пазарджик – 6 год. и един месец, и за Враца – 6 год. и седем месеца. Това показва наличието на отчетлив цикличен процес с продължителност в тези граници.

Освен това графиката за Пазарджик показва още два значими пика с периоди 2 год. и 2 месеца и 5 години, които съответстват на циклични процеси с такива периоди в тази област.

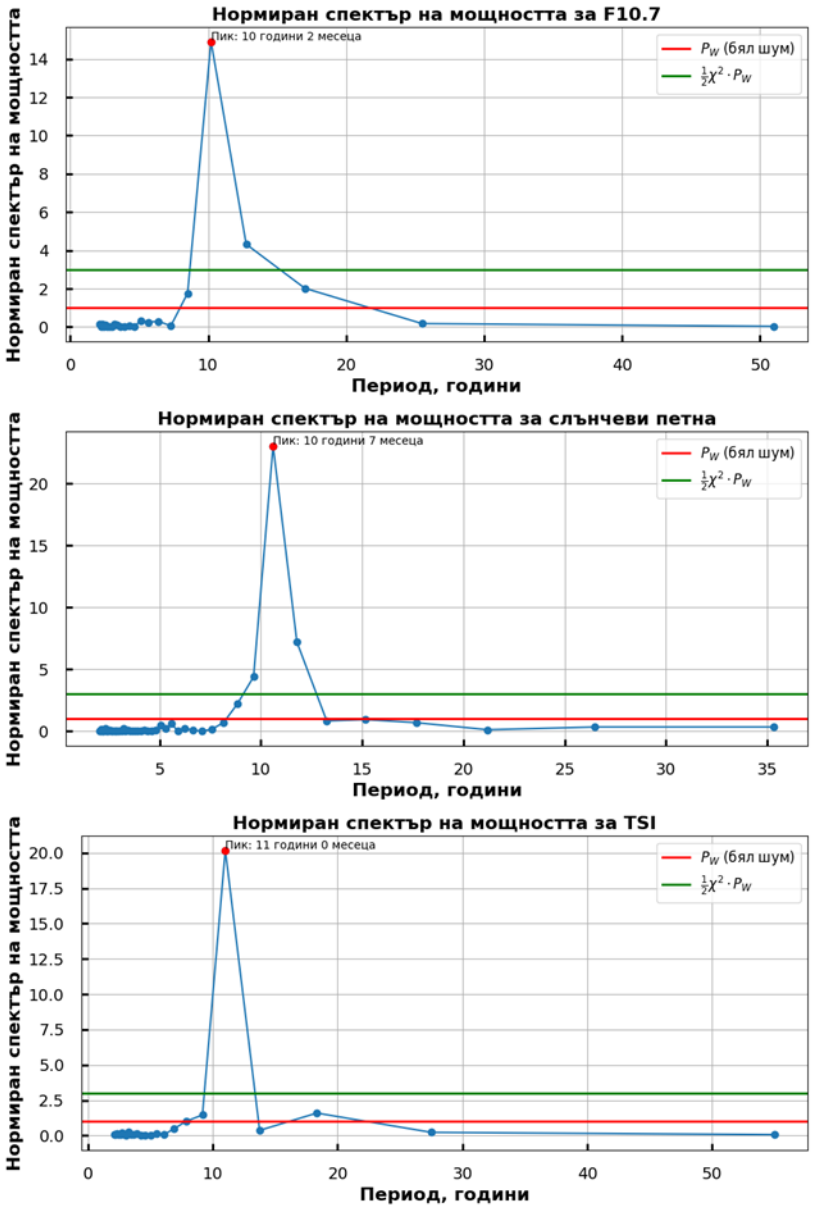
В дясната колона на Фиг. 1, където са представени температурните данни за пещерите Ухловица, Съева дупка, Снежанка и Леденика, се наблюдават ясно изразени значими пикове с период от точно 11 години за всички четири пещери. Това показва наличие на дългосрочни циклични процеси, в синхрон с които се проявяват температурите в ЗКТ на тези пещери.



Фиг. 1. Нормиран спекър на мощността на температурните данни за градовете Смолян, Ловеч, Пазарджик и Враца (от горе надолу в лявата колона) и намиращите се в близост пещери: Ухловица, Съева Дупка, Снежанка и Леденика (от горе надолу в дясната колона). С червена хоризонтална линия е маркирано нивото на белия шум, а със зелена линия - нивото на значимост по формула (6).

За сравнение с получените резултати за значимите периодични колебания в приземните температури и температурите в ЗКТ на пещерите с вариациите на слънчевата активност, са пресметнати нормирани спектри на мощността на параметрите на слънчевата активност F10.7, слънчеви петна и TSI, представени на Фиг.2. Наблюдават се значими пикове около 10 до 11 години, което съответства на характерния 11-годишен слънчев цикъл, демонстриращ периодичността на слънчевата активност. Различията в амплитудата на колебанията между тези параметри подчертават разнообразието в тяхното отражение на слънчевата активност. Тези разлики могат да се обяснят с методите на измерване и спецификата на всеки параметър. Напр. F10.7 е свързан най-вече с повърхностната активност на слънцето, докато TSI предоставя

информация за общата слънчева енергия, достигаща Земята, включително и извън видимия спектър.



Фиг. 2. Нормирани спектри на мощността за F10.7, слънчевите петна и TSI

При сравняването на резултатите от Фиг.2 и Фиг.1 се вижда, че 11-годишният слънчев цикъл, отразен в спектрите на мощността на параметрите на слънчевата активност F10.7, броя слънчеви петна и TSI, се проявява и при температурите в ЗКТ в четирите разглеждани пещери. Това потвърждава влиянието на слънчевата активност върху пещерния климат и по-конкретно върху температурата в ЗКТ. Същевременно такава цикличност не е наблюдавана при приземните температури в околностите на пещерите, т.е. не съществува пряка връзка между приземните температури и температурите в ЗКТ на пещерите и връзката със слънчевата активност е в резултат на някакъв друг механизъм. Получените периоди от 6 – 8 години във вариациите на приземните температури е възможно да са резултат от влиянието на Северноатлантическото колебание (NAO), което влияе на климатичните условия в Европа и Северна Америка чрез промени в атмосферното налягане.

Заключение

Отсъствието на 11-годишен цикъл в повърхностните температури и наличието му в измерванията от зоната на константнатните температури в пещерите показва, че температурните

условия в пещерите не са пряко зависими от климатичните влияния на повърхността. Анализът на нормираният спектър на мощността разкрива ясно различим и значим пик в данните за температурата в четирите пещери, съответстващ на 11-годишния слънчев цикъл. В същото време, данните за повърхностната температура в градовете Смолян, Враца, Ловеч и Пазарджик показват ясно изразен пик с период около 7.5 години, който вероятно отразява въздействието на Северноатлантическата осцилация (NAO).

Литература:

1. Tsiropoula, G. (2003). "Signatures of solar activity variability in meteorological parameters." Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, v.65, pp.469–482. https://doi.org/10.1016/S1364-6826(02)00295-X
2. Chapanov, Ya., and V. Gorshkov (2019). "Solar Activity and Cosmic Ray Influence on the Climate." Geomagnetism and Aeronomy, v.59, No. 7, pp. 942–949. https://doi.org/10.1134/S0016793219070090
3. Stoeva, P., A. Stoev, N. Kiskinova (2006). Long-term changes in the cave atmosphere air temperature as a result of periodic heliophysical processes. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 31(1-3), 123–128.
4. Stoeva, P., A. Stoev (2018). "Influence of the solar activity on cave air temperature regimes." In Physics of Auroral Phenomena, Proceedings of the XLI Annual Seminar, pp. 168–171. DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2018.41.168-171
5. Torrence, C., G. P. Compo (1998). "A practical guide to wavelet analysis." Bulletin of the American Meteorological Society, 79(1), pp. 61–78.

Session 2

Aerospace Technologies and Biotechnologies

Chairman: Corr. Member Petar Getsov
Secretary: Assoc. Prof. Nikolay Zagorski

НЯКОИ РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗПЪЛНЕНИЕТО НА ЗАДАЧА 1.1.6. ОТ НАЦИОНАЛНАТА НАУЧНА ПРОГРАМА „СИГУРНОСТ И ОТБРАНА“

Петър Гецов[1], Гаро Мардиросян[1], Николай Загорски[1], Бойко Рангелов[2], Павел Пенев[1]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: office@space.bas.bg
[2]Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ – София
e-mail: branguelov@gmail.com

Ключови думи: *сигурност, отбрана, критична инфраструктура, природни бедствия, риск*

Резюме: *В статията са описани целите, задачите и някои от получените резултати в изпълнение на Работна задача 1.1.6 от Национална научна програма „Сигурност и отбрана“. Целта на дейностите по тази работна задача е да се извърши 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.*

SOME IMPLEMENTATION RESULTS ON TASK 1.1.6. FROM THE SECURITY AND DEFENSE NATIONAL SCIENCE PROGRAM

Petar Getsov[1], Garo Mardirossian[1], Nikolay Zagorski[1], Boyko Ranguelov[2], Pavel Penev[1]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: office@space.bas.bg
[2]Mining and Geology University – Sofia
e-mail: branguelov@gmail.com

Keywords: *security, defense, critical infrastructure, natural disasters, risk*

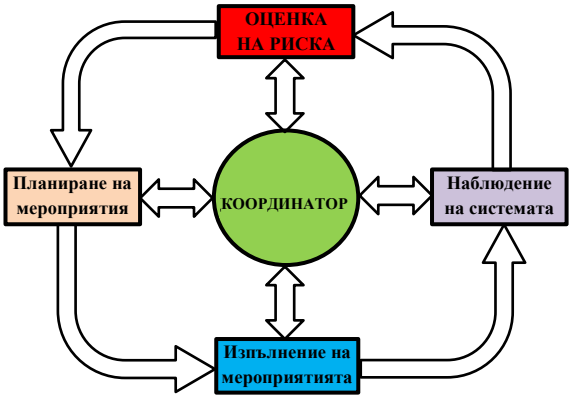
Abstract: *The article describes the goals, tasks and some of the results obtained in the implementation of Task 1.1.6 from the Security and Defense National Science Program. The purpose of the activities under this work assignment is to perform risk and threat analysis, design and develop conceptual generation models and software to increase the effectiveness of management of forces and means of impact on critical infrastructure during natural disasters, accidents and crises on the territory of the Republic of Bulgaria.*

Научен колектив от Института по космически изследвания и технологии при Българската академия на науките (ИКИТ-БАН) участва в изпълнението на Работна задача (РЗ) 1.1.6 от Националната научна програма „Сигурност и отбрана“ (ННП „СиО“), финансирана от Министерството на образованието и науката на Република България в изпълнение на Решение на Министерски съвет на Република България № 731 от 21.10.2021 г. ННП „Сигурност и отбрана“ е създадена в изпълнение на Националната стратегия за развитие на научните изследвания 2017–2030 гг. с цел повишаване на националния научен капацитет в областта на сигурността и отбраната [1]. Целите и задачите на тази Програма са в [2].

Целта на дейностите по тази работна задача е да се извърши 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.

Целта на задача 1.1.6 е да се предложат нови съвременни иновационни решения за интелигентна система за мониторинг и защитата на критичната инфраструктура на база мобилна комуникационна-информационна система с елементи на изкуствен интелект за събиране,

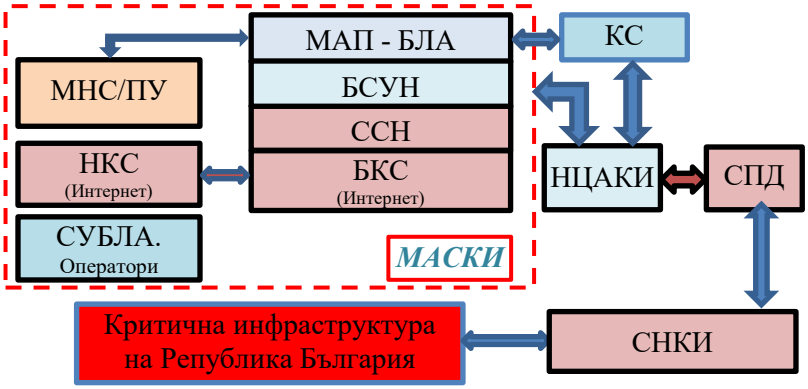
агрегиране, обработка и презентиране в реално време на потоци от информационни обекти в Интернет среда.



Фиг. 1. Процес на оценка на риска

Оценката на риска е основен елемент при управлението му за критичната инфраструктура. Този процес съдържа следните дейности Наблюдение–Оценка–Решение–Действие (Фиг. 1). Първият цикъл от дейности е инициращ и продължава с итеративност на следващите нива [3, 4].

В хода на работата по РЗ 1.1.6 е изследвана възможността за разработване на Функционален модел на мобилна авиационна система за мониторинг на критична 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 МАСКИ:

МНС/ПУ – Мобилна наземна станция/Пункт за управление;
НКС – Наземна комуникационна система;
СУБЛА – Система за управление на безпилотни летателни апарати;
МАП – Мобилна авиационна платформа;
БЛА – Безпилотни летателни апарати;
БСУН – Бордова система за управление и навигация;
ССН – Сензорна система за наблюдение;
БКС – Бордова комуникационна система;
КС – Космически сегмент;
НЦАКИ – Национален център за аерокосмическа информация;
СПД – Структури за противодействие;
СНКИ – Система за наблюдение на критичната инфраструктура.

Научният колектив взе участие в първото изложение „ИнтерДронЕкспо“ със собствен представителен щанд. На него бяха експонирани безпилотен 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.

Изследванията продължиха с обосновка и разработка на структура на Наземен мобилен пункт (НМП) с работни места за операторите. След анализ са избрани технически средства и

софтуер за приемане, съхранение и предаване на информация от НМП. Извършен е 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). Информационно осигуряване за безпилотни авиационни системи (БАС) през мобилни мрежи за предаване на данни (4G/5G).

Проведени са тестови полети на летища Сливен и Раковски с предаване на данни (4G/5G). На Фиг. 3 е илюстрирана траектория на тестови полет с дрон.



Фиг. 3. Траектория на тестови полет с дрон
на летище Сливен

В процеса на работа на научния екип са разработени и подадени 6 заявки за полезни модели и 5 заявки за патенти в Патентното ведомство на Република България. Три от тях вече са признати. Две от иновациите се отнасят до защита на два типични обекта на критичната инфраструктура, а именно Атомната електроцентрала „Козлодуй“ [6] и поречието под стената на язовир „Искър“ [7]. Друга иновация е за Мултикоптер с вграден геофизичен прибор за откриване на сухопътни мини чрез честотно изместване [8]. За съжаление три перспективни заявки за иновации не бяха регистрирани от Патентно ведомство на Република България поради неизпълнение на административните разпоредби за своевременно плащане на таксите за регистрация, поради липса на достатъчно финансиране на дейностите по работна задача 1.1.6 от ННП „Сигурност и отбрана“.

Две иновации бяха представени на XXI изложение „ИЗОБРЕТЕНИЯ *ТРАНСФЕР* ИНОВАЦИИ“ ITF - ITI’2023 в Пловдив, където бяха отличени с Диплом и златен плакет за победител в категория Физика G/7 за разработките „Кинематична система за ранно предупреждение за земетресение към обекти от критичната инфраструктура“ и „Система за ранно предупреждение по поречието под язовирна стена“. Впоследствие тази тематика беше разширена с изследвания и приложение на системата за ранно предупреждение за София и околностите и възможностите да бъде включена в националната система Bg-Alert [16].

За цялостната си изобретателска дейност през годината, включително и на наградените на ITF-ITI’2023, Съюзът на изобретателите в България присъди на един от авторите званието „Изобретател на годината – 2023“.

За периода от стартирането на програмата по РЗ 1.1.6. досега са публикувани повече от 10 научни статии и доклади, отразяващи в различни степени и аспекти работата и постигнатите резултати [9–13]. Четири материала са приети за публикуване, един от които в Springer – водещото издателство на списания и книги в областта на науката и технологиите [16]. Публикацията беше представена на Международната среща организирана от Центъра по управление на кризи и реакция при бедствия към НАТО. Особено внимание е обърнато на трудностите и препятствията за интеграция към Bg-Alert, като най-съществено е липсата на законова рамка при използването на подобни системи за ранно предупреждение.

По-детайлна информация за получените резултати в процеса на научното изследване по тази тема могат да бъдат потърсени в литературната справка.

За следващия период са планирани тестови полети на дрон, оборудван с комбиниран сензор за изследване на елементи от критичната инфраструктура. На базата на проведения анализ за район на изследване е избран гр. Варна с прилежащата му морска и градска

инфраструктура. Също така е планирано измерване на замърсяванията в атмосферата над химическите заводи в районите на гр. Девня и на пристанище Варна-Запад и обработка на получените данни.

Благодарност: Настоящият доклад е изготвен в рамките на проект по задача 1.1.6 от Национална научна програма „Сигурност и отбрана" (приета с РМС №731 от 21.10.2021) и съгласно Споразумение № Д01-74/19.05.2022 г. между Министерство на науката и образованието 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. Гецов, П., Н. Загорски, Г. Мардиросян. Участие на Института за космически изследвания и технологии при българската академия на науките в Национална научна програма „Сигурност и отбрана". Proceedings SES 2023, pp. 15–24. p-ISSN 2603 – 3313; e-ISSN 2603 – 3321
3. Димитров, Н. Системен подход към критичната инфраструктура, 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 от природни екокатастрофи. Акад. 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, Sofia, Proceedings, pp. 251–260, ISSN p-ISSN 2603–3313; e-ISSN 2603–3321.
6. Мардиросян, Г. Природни бедствия и екологични катастрофи – изучаване, превенция, защита. Трето допълнено и преработено издание, Издателство на БАН "Проф. Марин Дринов", 2020, 354 с. ISBN:978-619-245-013-7,
7. Мардиросян, Г., Б. Рангелов, П. Гецов, Св. Забунов, Г. Желев. Кинематична система за ранно предупреждение за земетресение към обекти на критична инфраструктура. Полезен модел № 4472/26.06.2023. Патентно ведомство на Република България.
8. Мардиросян, Г., Б. Рангелов, П. Гецов, Св. Забунов, Г. Желев. Система за ранно предупреждение по поречието под язовирна стена. Полезен модел № 4428/05.05.2023. Патентно ведомство на Република България.
9. Забунов, Св., Г. Мардиросян, Г. Желев. Мултикоптер с вграден геофизичен прибор за откриване на сухопътни мини чрез честотно изместване. Полезен модел № 4449/29.05.2023. Патентно ведомство на Република България.
10. Ranguelov, B., G. Mardirossian. Methodology for a kinematic model of seismic early warning system about critical infrastructure. Ecological Engineering and Environment Protection, 1, НД "Екологично инженерство и опазване на околната среда", 2023, ISSN 1311-8668, pp. 54–61.
11. 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, № 2/2023, Академ. издат. „Проф. Марин Дринов", ISSN 0007-3989 (print); 2683-0302 (on line), с. 3–7.
12. 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, с. 75–84.
13. 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.
14. 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.
15. Мардиросян, Г., П. Гецов, Г. Желев, Б. Рангелов, Юл. Крумова. Концепция на система за ранно предупреждение за наводнение по поречието на язовирна стена. Сборник доклади от ГУНК – НВУ „Васил Левски" – Велико Търново, 2023, с. 85–94. ISSN 1314-1937.
16. Ranguelov, B., G. Mardirossian, P. Getsov, N. Zagorski, Ed. Spassov, Integration of a kinematic seismic early warning system to Bg-Alert – possibilities and difficulties. Springer Publishing House, 2024 (in print).
17. Гецов, П., Г. Мардиросян, Н. Загорски, Б. Рангелов. XII-та международна научна конференция „Научни изследвания, иновации и индустриално сътрудничество – парадигма за адекватна отбрана". Хемус-2024. Пловдив. 2024 г. Сборник доклади (под печат).

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА МУЛТИСЕНЗОРНА СИСТЕМА ЗА ОТКРИВАНЕ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ НА ДРОНОВЕ ПО РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ПРОВЕДЕН ЛЕТАТЕЛЕН ЕКСПЕРИМЕНТ

Георги Сотиров[1], Росен Димитров[2], Евгени Хубенов[1]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]ВА "Г. С. Раковски" – София
e-mail: gsotirov@space.bas.bg; rokidok@abv.bg

Ключови думи: *Антидрон, Откриване на дронове, Следене на дронове, Неутрализиране на дронове*

Резюме: *Представените са резултатите от иследването на мултисензорна система за откриване на дронове и ефективността на средствата за радиоелектронно противодействие на базата на проведен летателен експеримент. Предложената конфигурация осигурява ефективно откриване, съпровождане и подавяне на БЛА.*

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF A MULTI-SENSOR DRONE DETECTION AND COUNTERMEASURE SYSTEM BASED ON THE RESULTS OF A FLIGHT EXPERIMENT

Georgi Sotirov[1], Rosen Dimitrov[2], Evgeni Hubenov[1]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]Military Academy "G. S. Rakovski" – Sofia
e-mail: gsotirov@space.bas.bg; rokidok@abv.bg

Keywords: *Anti-drone, Drone detection, Drone tracking, Drone neutralization*

Abstract: *The paper presents the results of the study of a multi-sensor drone detection system and the effectiveness of the radio-electronic countermeasures based on a flight experiment. The proposed configuration provides effective detection, tracking and suppression of UAVs.*

Въведение

В резултат на бурното развитие на високите технологии през последните десетилетия безпилотните летателни апарати (БЛА), ситуирани в безпилотни авиационни системи (БАС), се очертаха и наложиха като съвременно и перспективно средство за въздушен мониторинг (т.е. наблюдение и контрол) на кризисни събития и процеси от военен и невоенен характер, както и за решаването на редица приложни задачи. Според оценки на водещи световни авиационни експерти БЛА по критерия „Ефективност/Стойност" значително доминират над пилотируемите летателни апарати.

Войната в Украйна през 2022/2024 г. убедително демонстрира повишената роля на БЛА за целите на наблюдението, разузнаването, коригирането на ударите и огъня на авиацията, ракетните войски и артилерията по обекти от противостоящата страна и оценка на резултатите, както и за огнево въздействие от въздуха като мощно оръжие при слаба противовъздушна отбрана (ПВО), включително при наличие на борда на БЛА на средства за въздействие тип „камикадзе". В този военен конфликт БАС се утвърждават, като най-ефективните и ефикасни разузнавателно – ударни системи, които съществено променят тактиката на боя на противостоящите страни.

Съвременните БЛА се характеризират [1–9, 22–24] с високата мобилност, икономичност и многоцелевост, ниска откриваемост (оптична, звукова, инфрачервена, радиолокационна) във

въздуха; високи възможности за получаване на информация за наблюдаваните стационарни и мобилни цели, миниатюризацията на средствата (включително на огневите), генериращи заплаха от въздуха и възможност за адекватна маскировка на БАС на Земята. Изброените предимства на БЛА водят до потребността от развитие на способности за своевременното им откриване, идентифициране, опознаване, определяне на координатите, вземането на решение и адекватно противодействие.

В този контекст създаването на адекватна система за защита от различни БЛА в решаваща степен зависи от наличието и ефективността на съвременна сензорна система за откриване, съпровождане и блокиране на дронове е особено актуална задача и е предмет на изследване в настоящата публикация.

Задачите, решавани от сензорната система за откриване, съпровождане и блокиране на дронове зависят от използваните методи за откриване и съпровождане на БЛА, както и от способите и средствата за противодействие на тези апарати. Това изисква критичен анализ на пасивните и активни методи за откриване на БЛА и на основните способи и средства за противодействието им – чрез огнево поразяване от средства за ПВО, електронно подавяне (ЕП), функционално поразяване със свръхвисокочестотно излъчване и поразяване с лазерно излъчване.

Проведеният анализ на съвременното състояние и развитие на БЛА показват следните възможни задачи, решавани от сензорната система за откриване, съпровождане и блокиране на дронове:

1. Откриване и съпровождане на БЛА с различни сензори (оптични, акустични, топлинни, радиолокационни, радиочестотни) и тяхното опознаване.

2. Разработка и използване на алгоритми, решаващи задачите на откриването, опознаването и съпровождането на БЛА.

3. Формулиране на демаскиращи признаци на БЛА.

4. Разкриване на параметрите на каналите за управление, навигация и комуникация на БЛА.

5. Блокиране (унищожаване) на дронове чрез ЕП на каналите за управление, навигация и комуникация на БЛА.

Пълното решаване на изброените задачи следва да бъде насочено към най-сложните сред БЛА обекти за откриване и въздействие – малогабаритните и малоскоростни дронове.

Анализът на приложение и развитие на антидрон системите показва, че на всеки от три до шест месеца се изменят оперативните и техническите им характеристики и използване. В момента има близо над 450 фирми в света, които произвеждат и предлагат антидрон системи.

В таблица 1 са приведени основните характеристики, предимства, недостатъци и диапазон на действие на основни сензори за откриване и съпровождане на дронове, използвани в съвременни условия [10–21].

Таблица 1

Характеристика	**Сензор**	**Предимства**	**Недостатъци**	**Зона на откриване**
Топлина	Термовизор	• Слабозависим от атмосферните условия • Голям обхват	• Ниска точност	1–15 km
Радиочестотен сигнал	Радио-честотен приемник	• Не се влияе от препятствия • Откриване оператора на дрон	• Невъзможност за откриване • Автономен полет	3–50 km
Физически обект	Радар	• Слабозависим от атмосферните условия • Голям обхват	• Висока цена • Изисквания за работен диапазон • Ограничена зона при препятствия	1–20 km
Видимост	Оптическа камера	• Ниска цена • Минимални размери • Идентифициране	• Висока зависимост от атмосферните условия • Ограничена зона при препятствия	0.5–3 km
Акустичен сигнал	Акустичен приемник	• Съвместим с радиочестотните сензори • Минимални размери	• Изключително ограничена зона на откриване • Ниска точност • Висока сложност за откриване на сигнала	< 0.2 km

В процеса на изследване, беше разработено задание за „Проектиране и изграждане на сензорна система за откриване, съпровождане и блокиране (унищожаване) на дронове“, като в състава на изделието влизат: Система за откриване и съпровождане на дронове; Система за блокиране на дронове; Комуникационно-информационна система.

Сензорната системата за откриване и съпровождане на дронове включва: трикоординатна радиолокационна система; оптикоелектронна система; акустична система; лазерен локатор; термовизионна система.

Сензорната система на изделието следва да осигурява надеждно откриване и съпровождане на дронове, които се явяват заплаха за обекти от критичната структура, като обхватът за откриване да е минимум три километра и ефективно да може да проследи дрона на минимум 1 км.

Системата за радиоелектронно подавяне на изделието трябва да осигурява ефективна защита на обекти от критичната инфраструктура чрез: създаване на смущения на канала за управление на дрона; смущения с цел прекъсване на комуникацията на дрона с навигационната система; GPS/GLO-NASS spoofing (фалшифициране на навигационните координати); прехващане на управлението на дрона.

Комуникационно-информационна система обезпечава свързаност между подсистемите на изделието, обработката и презентирането на данните и управлението.

Избор на сензори

За оценка възможностите на предложеното задание за разработване на антидорон система бяха предоставени и използвани следните сензори:

- Лазерен далекомер LDB 20 M (Фиг. 1), на фирма „Силита Дивелъпмънт“ ЕООД , който притежава следните тактико-технически характеристики [25]:



Фиг. 1

- Обхват 50 до 20000 m
- Зрително поле 7°
- Точност ±2 m
- Интерфейс RS 232
- Температурен диапазон -20°C до + 55°C
- Тип лазер 1064 или 1570 nm
- GPS - да
- Захранване външно 10V до 32V / DC

- Оптичен сензор на фирма „Синтис“ (Фиг. 2) осигуряващ следните характеристики:



Фиг. 2

- Тип на сензора 640 x 512 InSb MWIR FPA (стандартен)
- 1280 x 720 InSb MWIR FPA (по избор)
- Разделителна способност 720p/1080p HD и NTSC/PAL
- Дължина на вълната 3-5 μm
- Обхват 30° до 0,25° (със стандартен FPA)
- Степен на увеличение 120x

- Трикоординатна радиолокационна станция „Ястреб“ на фирма „Промакс“, която включва в състава си антена - тип фазирана антенна решетка (Фиг. 3) и работно място за контрол и управление на радара (Фиг. 4), която е предназначена за автоматично откриване и проследяване на морски (надводни) и нисколетящи въздушни цели с малка ефективна отразяваща повърхност и работи в X диапазона.



Фиг. 3



Фиг. 4

За оценка възможностите на системата за радиоелектронно подавяне беше наета разработената от фирма „Синтис“ система (Фиг. 5), която създава смущаващи сигнали в 10 отделни комуникационни и GNSS честотни ленти: 432 - 436; 900 - 1170; 1171 - 1380; 1570 - 1620; 2400 - 2500; 5000 - 5400; 5400 – 5870 MHz; Мобилна лента 2G; Мобилен обхват 3G; Мобилен обхват 4G; GNSS заглушаване следните системи - GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, IRNSS, QZSS [26];



Фиг. 5

В състава на системата влиза подсистемата за хакерство, която предлага съвременно решение - от откриване до блокиране, като поема контрола над безпилотния дрон и го приземява безопасно в предварително определена зона. Това се извършва чрез проникване в комуникационния канал между дрона и дистанционния контролер (ДК).

Хакерската подсистема се състои от два основни компонента: Софтуерно дефинирано радио и антена. Тя идентифицира уникалните параметри на комуникацията между дрона и ДК, след което софтуерно дефинираното радио (SDR) може да изключи съответния дрон от неговия ДК и да поеме пълен контрол над дрона.

Тя открива дрона чрез прекия и уникален комуникационен канал между дрона и дистанционния контролер. След това системата поема контрола над дрона, като му изпраща

команден сигнал и го препрограмира. Това решение ефективно открива и ограничава действието на безпилотни дронове в чувствителни зони, без да влияе на комуникациите и без да използва кинетика. Всичко това се извършва, без да се пречи на другите средства за комуникация и без риск от съпътстващи щети.

Във връзка с изпълнението на работната програма на задача 3.1.7. „Проектиране и изграждане на сензорна система за откриване, съпровождане и блокиране (унищожаване) на дронове“ от Националната научна програма “Сигурност и отбрана“ през месец септември 2024 г. на летище на територията на Пернишка област се проведоха летателни експерименти съвместно с екипи и дронове на ВА “Г.С.Раковски“, както и използване на оборудване за създаване на смущения на фирма „Синтис“, радиолокационен и лазерен сензори на фирма „Промакс“ и „Силита Дивелъпмънт“.

За реализирането на летателните експерименти предварително беше създадена необходимата организация с местната власт, в чието землище се проведе експеримента (Фиг. 6).



Фиг. 6

За гарантиране на необходимата безопасност с въздушния трафик - граждански въздухоплавателни средства се осигури координация и взаимодействие в реално време със структури от ДП „Ръководство въздушно движение“ - FIR – София. Нямаше никаква индикация за наличие на смущения в оперативна зала на РВД (Фиг. 7).



Фиг. 7

От пилотите на БЛА, беше предварително изготвен план на полетите, както с БЛС тип „Коптер“, така и с БЛС тип „Самолет“.

Разположението на сензорите и системата за подавяне на летищната полоса е представено на Фиг. 8.



Фиг. 8

В процеса на експериментите пред участниците бяха изследвани възможностите на сензорните системи – РЛС „Ястреб“ и лидар, които показаха надеждно откриване и съпровождане на различни типове БЛА, в това число и дронове от типа „DJI 2“(Фиг. 9), „Mini“ (Фиг. 10), „D3C“, „FMX8-mini“ (Фиг. 11) и четири инчов FPV в зоната на разрешените за полети дистанции 250 - 350 м.



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

Резултати от експеримента

Съгласно работната програма бяха оценени и възможностите на системата на фирма „Синтис“ за ефективно подавяне на системите за управление и навигация на използваните БЛА в следните честотни диапазони – 433 MHz, 1575 MHz – GPS канали, 2400 - 2485 MHz – WiFi1 и 5725-5875 MHz – WiFi2.

При полет към смутителите и активиране на смущенията се констатира наличие на смущения в канала за спътникова комуникация във всички полети, на всички типове безпилотни летателни системи (Фиг. 12).



Фиг. 12

При полет от наземната станция към смутителите и активиране на смущения в канала за комуникация „Борд-наземна станция“ не се наблюдаваха смущения на комуникацията „Борд-станция“, при прелитане над смутителите и отдалечаване от тях и от наземната станция канала за управление бе смутен, но БЛА в автономен режим продължи устойчиво полета по зададения маршрут.



Фиг. 13

Заключение

В заключение можем да отбележим, че резултатите от експеримента позволяват, да се направят следните изводи:

1. Използваните сензори удовлетворяват заложените изисквания на разработеното задание и осигуряват ефективно откриване, съпровождане и подавяне на БЛА.

2. Предоставените и участващите в летателния експеримент разработките на български фирми могат да служат като база за създаване и надграждане на съвременни антидрон 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 „Професор Цветан Лазаров"

Литература:

1.Alzahrani, B, Oubbati OS, Barnawi A, Atiquzzaman M, Alghazzawi D (2020) UAV assistance paradigm: State-of-the-art in applications and challenges. J Netw Comput Appl 166:102706. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102706

2. Shakhatreh, H, Sawalmeh AH, Al-Fuqaha A, Zuochao D, Almaita E, Khalil I, Othman NS, Khreishah A, Guizani M (2019) Unmanned aerial vehicles (UAVs): A survey on civil applications and key research challenges. IEEE Access 7:48572-48634. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2909530

3. Mitka, E, Mouroutsos SG (2017) Classification of drones. Am J Eng Res 6(7): 36-41. Mohamed N, Al-Jaroodi J, Jawhar I, Idries A, Mohammed F (2020) Unmanned aerial vehicles applications in future smart cities. Technol Forecast Soc Change 153:119293. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.05.004

4. Singhal, G, Bansod B, Mathew L (2018) Unmanned aerial vehicle classification, applications and challenges: A review Preprints: 2018110601. https://doi.org/10.20944/preprints201811.0601.v1

5. Nijim, M, Mantrawadi N (2016) Drone classification and identification system by phenome analysis using data mining techniques. Paper presented 2016 IEEE Symposium on Technologies for Homeland Security (HST). IEEE; Waltham, Massachusetts, United States of America. https://doi.org/10.1109/THS.2016.7568949

6. Gupte S, Mohandas PIT, Conrad JM (2012) A survey of quadrotor unmanned aerial vehicles. Paper presented 2012 Proceedings of IEEE Southeastcon. IEEE; Orlando, Florida, United States of America. https://doi.org/10.1109/SECon.2012.6196930

7. Ostojic G, Stankovski S, Tejic B, Đukić N, Tegeltija S (2015) Design, control and application of quadcopter. Int J Ind Eng Manag 6(1):43-48.

8. Sørensen LY, Jacobsen LT, Hansen JP (2017) Low cost and flexible UAV deployment of sensors. Sensors 17(1):154. https://doi.org/10.3390/s17010154

9.Yaacoub, J.P., Noura, H., Salman, O. and Chehab, A. (2020) 'Security analysis of drone's systems: Attacks, limitations, and recommendations', Internet of Things, 11, 100218. doi: 10.1016/j.iot.2020.100218

10. Andraši, P., Radišić, T., Muštra, M. and Ivošević J. (2017) 'Night-time detection of UAVs using thermal infrared camera', Transportation Research Procedia, 28, pp. 183–190. doi: 10.1016/j.trpro.2017.12.184

11. Al-Sa'd, M.F., Al-Ali, A., Mohamed, A., Khattab, T. and Erbad, A. (2019) 'RF-based drone detection andidentification using deep learning approaches: An initiative towards a large open-source drone database', Future Generation Computer Systems, 100, pp. 86–97.

12. Schäffer, B., Pieren, R., Heutschi, K., Wunderli, J.M. and Becker, S. (2021) 'Drone noise emission characteristics and noise effects on humans – A systematic review'. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(11), p. 5940. doi: 10.3390/ijerph18115940

13. Gannot, S., Burshtein, D. and Weinstein, E. (2001) 'Signal enhancement using beamforming and nonstationarity with applications to speech', IEEE Trans. Signal Processing, 49, pp. 1614–1626. doi: 10.1109/78.934132

14. Abdullah, R.S.A., Saleh, N.L., Rahman, S.M.S.A., Zamri, N.S. and Rashid, N.E.A. (2019) 'Texture classification using spectral entropy of acoustic signal generated by a human echolocator', Entropy, 21, p. 963. doi: 10.3390/e21100963.

15. Hirabayashi, M., Kurosawa, K., Yokota, R., Imoto, D., Hawai, Y., Akiba, N., Tsuchiya, K., Kakuda, H., Tanabe, K. and Honma, M. (2020) 'Flying object detection system using an omnidirectional camera', Forensic Science International: Digital Investigation, 35, 301027. doi: 10.1016/j.fsidi.2020.301027

16. Wu, Y., Sui, Y. and Wang, G. (2017) 'Vision-based real-time aerial object localization and tracking for UAV sensing system', IEEE Access, 5, pp. 23969–23978. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2764419

17. Barisic, A., Car, M. and Bogdan, S. (2019) 'Vision-based system for a real-time detection and following of UAV', Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (REDUAS), 2019, pp.156–159.doi: 10.1109/REDUAS-47371.2019.-8999675.

18. Oh, J., Lim, D.W. and Kang, K.M. (2020) 'Unmanned aerial vehicle identification success probability with LoRa communication approach', in 2020 IEEE 31st Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 23–27 September 2019, Toulon, France, pp. 1–6. ; doi: 10.1109/PIMRC48278.2020.9217172.

19. Solidakis, G.N. (2017) ‘An Arduino-based subsystem for controlling UAVs through GSM’, 6th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST), 23–27 September 2019, Toulon, France, pp.1–4. doi:10.1109/MOCAST.2017.-7937656.
20. Ferreira, R., Gaspar, J., Sebastião, P. and Souto, N. (2022) ‘A software defined radio based anti-UAV mobile system with Ja’ming and spoofing capabilities’, Sensors, 22, p. 1487. doi: 10.3390/s22041487.
21. Park, S., Kim, H.T., Lee, S., Joo, H. and Kim, H. (2021) ‘Survey on anti-drone systems: Components, designs, and challenges’, IEEE Access, 9, 42635–42659. [9378538]. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3065926.
22. 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 http://space.bas.bg/SES/archive/SES%202021_DOKLADI/PROCEEDINGS%20SES%2021.pdf
23. Сотиров, Г., Е. Хубенов, З. Чифлиджанова, Агрегиране на услуги, базирани на изкуствен интелект, в интегрирани мобилни системи за мониторинг в интернет среда, International Scientific Conference „Space, Ecology, Safety”, PROCEEDINGS SES`22, SRTI-BAS, 2022, стр. 127–133,София http://space.bas.bg/SES/archive/SES%202022_DOKLADI/2_Aerospace%20Technologies/7_Sotirov.pdf
24. Гецов, П., Б. Рангелов, Г. Мардиросян, Г. Сотиров, Д. Недялков, Д. Зафиров, З. Хубенова, П. Пенев, П. Граматиков, Е. Хубенов, Н. Загорски. Анализ на риска и заплахите, върху критичната инфраструктура при природни бедствия, аварии и кризи на територията на Република България. Proceedings SES'2022, SRTI-BAS, 2022, стр. 251–261; http://space.bas.bg/SES/archive/SES%202022_DOKLADI/4_Ecology/1_Getsov.pdf
25. Проспектни материали на фирма „Силита Дивелъпмънт“ЕООД.
26. Проспекти материали на фирма „Синтис“.

EXAMINE OF THE POTENTIAL RADIATION PROTECTION ABILITY OF AMINO ACID BETAINE (N, N, N-TRIMETHYL GLYCINE) AGAINST THE CELLULAR HARMFUL EFFECT OF THE IONIZING RADIATION IN ANIMAL EXPERIMENTAL MODELS

Galina Racheva[1], Ivan Kindekov[2]

[1]Research Laboratory of Radiation protection and Radiobiology, Military Medical Academy - Sofia
[2]Department of Hematology, Military Medical Academy - Sofia
e-mail: racheva@vma.bg

Keywords: *radioprotector, radiation protection, acute radiation syndrome, betaine, oxidative stress, Cu/Zn SOD, experimental animals.*

Abstract: The serious harmful effect of the ionizing radiation is one of the most dangerous professional circumstances for the pilots and astronauts. Have been found that normal cellular antioxidant metabolites, could be effective radioprotectors. The antioxidants' potential to reduce the cellular damage in animal models have been studied for more than 50 years. The amino acids are highly active metabolites that effectively neutralize reactive oxygen species (ROS, free radicals) and have antioxidant activity.

AIM: Follow up of the after-radiation exposure recovery and radioprotector activity of betaine (N, N, N-trimethyl glycine), applied to experimental animals (mice).

MATERIALS AND METHODS: Have been used 120 experimental animals (white male mice C3H, with body weight 23 gr), supplied by the "Certified vivarium for experimental animals", Military Medical Academy - Sofia. Divided in four experimental groups. Two of them were exposed to radiation by ^{137}Cs-source with power 2,05 Gy/min (The Institute of PPG "Acad. D. Kostov", BAS, Sofia). The amino acid was applied peroral as a food supplement to the animals in the experimental groups. It was monitored Cu/Zn SOD protein expression index in three radiation sensitive organs (liver, spleen and testicles). The protein expression is confirmed by Western blot analysis.

RESULTS: The obtained results confirm the positive radiation protection effect of the researched substance.

CONCLUSION: Betaine (N, N, N-trimethyl glycine) showed positive effect to the survival rate in all examined experimental animals' groups. The application of Betaine induced increase of the expression of Cu/Zn SOD protein in the researched experimental groups.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОТЕНЦИАЛНАТА РАДИОПРОТЕКТИВНА СПОСОБНОСТ НА АМИНОКИСЕЛИНАТА БЕТАИН (ТРИМЕТИЛ ГЛИЦИН) В ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЖИВОТИНСКИ МОДЕЛИ

Галина Рачева [1], Иван Киндеков[2]

[1]Научноизследователска лаборатория по радиационна защита и радиобиология, Военномедицинска академия
[2]Катедра по хематология, Военномедицинска академия – София
e-mail: racheva@vma.bg

Ключови думи: *радиопротектор, радиационна защита, остър радиационен синдром, бетаин, оксидативен стрес, Cu/Zn SOD, опитни животни.*

Резюме: Вредното въздействие на йонизиращата радиация е много опасно и застрашаващо живота обстоятелство в работната среда на летците и космонавтите. Установено е, че нормалните клетъчни метаболити, функциониращи като антиоксиданти, могат да бъдат ефективни радиопротектори. Изследването на антиоксиданти с потенциална радиопротективна активност е започнало още в средата на миналия век. Аминокиселините са високо активни метаболити, които участват в различни анаболни и катаболни процеси. Високата им метаболитна активност определя активната им роля в неутрализирането на активните кислородни видове (свободни радикали) и съответно високата им антиоксидантна активност.

ЦЕЛ: Проследяване на възстановяването, след облъчване с йонизираща радиация на използваните експериментални животни (мишки) и потенциалната радиопротективна способност на бетаин (триметил глицин), приложен върху тях.

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ: Използвани са опитни животни (бели мъжки мишки C3H, с тегло 23 гр.), доставени от сертифициран вивариум за опитни животни, ВМА – София. Те бяха разделени на четири експериментални групи. Две от експерименталните групи бяха облъчени с 137Cs с мощност 2,05 Gy/min (ИФРГ "Акад. Д. Костов", БАН, София). Аминокиселината бетаин се прилага като перорална хранителна добавка към таргетните експериментални групи. За целите на настоящото изследване е изследвана експресия на Cu/Zn SOD протеин в три радиационно чувствителни органа (черен дроб, далак и тестиси). Протеиновата експресия се потвърждава чрез Western blot анализ.

РЕЗУЛТАТИ: Получените резултати потвърдиха положителният радиопротективен ефект на изследваното вещество.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Бетаинът (триметил глицин) показва положителен ефект върху степента на преживяемост в групите от експериментални животни. Прилагането на бетаин индуцира повишаване на експресията на Cu/Zn SOD протеин в изследваните експериментални групи.

Introduction

The potential radiation protection effect of the antioxidants has been researched in animal experimental models for more than 50 years. Natural metabolites with antioxidant activity could provide effective preventive protection against low-dose-rate irradiation [15]. Many antioxidant nutrients have antimutagenic properties and their ability to modulate the long-term radiation effects need further examinations [5]. The exposure with over threshold doses (≥ 1 Gy) of ionizing radiation causes development of acute radiation syndrome. Measurable effects can be detected in many organs and tissues. Could be detected persistent and transient alterations in protein expression, growth factor activity, and normal cell and tissue function [3]. The severity of the disease depends on various factors, such as the impact of the environment and the presence of protective agents against reactive oxygen species action (antioxidants). Reactive oxygen species (ROS) have significant role in the intracellular signalling and redox regulation. The balance of the ROS generation and removal is regulated by the presence of effective antioxidants (antioxidant substances and antioxidant enzymes). Any disturbance of the balance leads to increase of the ROS formation (oxidative stress). [8, 14, 17].

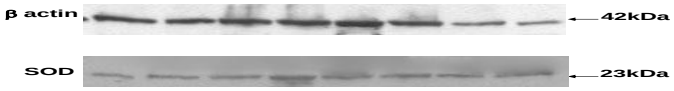
The aim of the present study was to examine the antioxidant radioprotective effects of natural metabolite betaine (N, N, N-trimethyl glycine) to oxidative stress induced by ionizing radiation.

Materials and methods

Have been used 120 experimental animals (white male mice C3H, with body weight 23 gr), supplied by the "Certified vivarium for experimental animals", Military Medical Academy - Sofia. They were divided in four experimental groups. Two of the experimental groups were exposed to radiation by 137Cs-source with power 2,05 Gy/min (The Institute of Plant Physiology and Genetics "Acad. D. Kostov", Bulgarian Academy of Science, Sofia). The amino acid betaine has been applied peroral as a food supplement. The control group received *betaine (N, N, N-trimethyl glycine)* in max effective non-lethal dose of 100 mg/kg body weight (calculated with MTT assay) The dose was supplied to every mouse of the group peroral for 15 consecutive days. The mice in the group were non irradiated. The second control group of experimental mice were whole body exposed to dose of 7.5Gy and without feeding. The third group of experimental animals included mice without feeding and irradiation. The fourth group of experimental animals were irradiated and fed with the food supplement contained *betaine*. The liver, spleen and testicles tissue samples were accurately weighed and homogenized (Soniprep 150 MSE) for 30 seconds in ice-cold 1,15% KCl buffer, pH 7.4. The homogenates were used for Western blot analysis. Statistical significance of the data was analyzed using Student's t-test and data are shown as means ±SD. The accepted statistical significance was $p<0.05$.

Results

Ionizing radiation generates ROS as a result of water radiolysis [6]. The mice irradiation leaded to decrease the protein expression of the antioxidant enzyme Cu/Zn SOD (SOD1). It was measured by the Western blot analysis of homogenates of the three sensitive organs – liver, spleen and testicles. The assays were implemented 24 hours after the whole-body radiation exposure (Fig. 1,2 and 3). The data were presented as an integral optical density (IOD). The implementation of Betaine increased the protein expression of SOD1 in all examined probes of all organs.



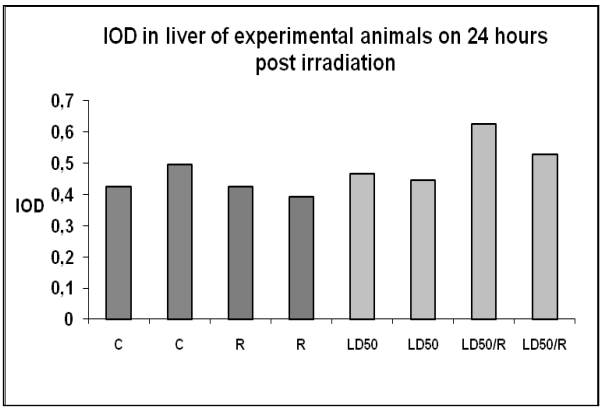
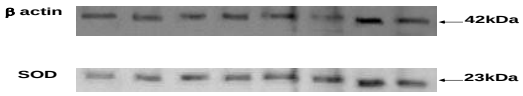


Fig. 1. Integral optical density of Cu/Zn SOD protein expression in liver on 24 hours post irradiation. Experimental animals were irradited with a single dose of 7.5Gy from gamma source Cs-137. C-nonirradiated controls, R-nonirradited controls with administration of betaine, LD50-irradiated with a single dose of 7.5Gy, LD50/R-irradiated with 7.5Gy and administered betaine.



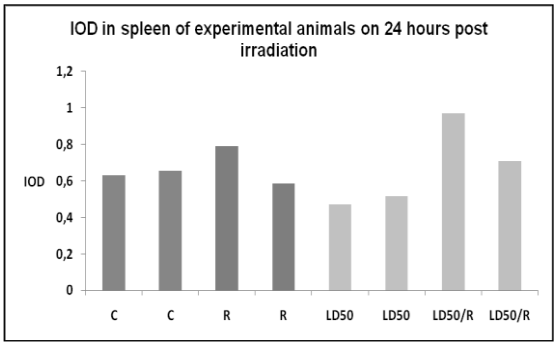


Fig. 2. Integral optical density of Cu/Zn SOD protein expression in spleen on 24 hours post irradiation. Experimental animals were irradited with a single dose of 7.5Gy from gamma source Cs-137. C-nonirradiated controls, R-nonirradited controls with administration of betaine, LD50-irradiated with a single dose of 7.5Gy, LD50/R-irradiated with 7.5Gy and administered betaine.

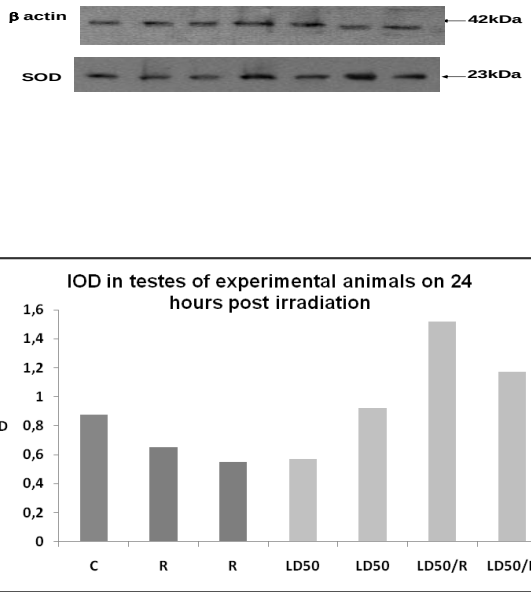


Fig. 3. Integral optical density of Cu/Zn SOD protein expression in testicles on 24 hours post irradiation. Experimental animals were irradited with a single dose of 7.5Gy from gamma source Cs-137. C-nonirradiated controls, R-nonirradited controls with administration of betaine, LD50-irradiated with a single dose of 7.5Gy, LD50/R-irradiated with 7.5Gy and administered betaine.

Discussion

The application of *betaine* (N, N, N-trimethyl glycine) showed a positive effect to 30 days survival mice. The LD_{50} is used to quantify mortality in the population. It is defined as the exposed dose that will cause death in half (50%) of the exposed experimental animals. The time of death depends on the effective dose. For the hematopoietic form of acute radiation syndrome, it is approximately 30-60 days after the exposure. [1]. Medical interventions, such as blood cell replacements, antibiotics and cytokines application and hematopoietic stem cell transplants, could increase survival time and extend the LD50 value [12].

The cell death after radiation exposure is a result of serious DNA damage that occurs because of the oxidative stress [6]. The most common consequences of the harmful effect of the ionizing radiation are chromosomal aberrations existence [9, 10, 2]. Ionizing radiation induces a variety of cellular and tissue damages, such as oxidative stress [35], gene expression influence [16], changes in the signal transduction pathways [11], etc. The current study demonstrates that application of betaine (N, N, N-trimethyl glycine) to whole-body irradiated animals show potential radioprotection activity. In the study was used modulation antioxidant enzyme Cu/Zn superoxide dismutase (SOD1). Superoxide and hydroxyl radicals, generated by ionizing radiation, are rapidly destroyed by SOD1. [7]. The antioxidant *betaine* protects against oxidative stress by modulating SOD1 level in organs. It works cooperatively with other antioxidants (Fig. 1,2 and 3). To be effective radioprotectors, antioxidants must be administered prior to radiation exposure. [7].

In conclusion, *betaine (N, N, N-trimethyl glycine)* showed radiation protection potential against ionizing radiation damage by preventing the serious harmful effect of the oxidative stress.

References:

1. 21st Century Biodosimetry: Quantifying the Past and Predicting the Future, Vol. 97(1). Nuclear Technology Publishing, Arlington, VA, 2001.
2. Anderson, R. M., S. J. Marsden, E. G. Wright, M. A. Kadhim, D. T Goodhead and C. S. Griffin, Complex chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes as a potential biomarker of exposure to high-LET alpha-particles. Int. J. Radiat. Biol. 76, 31–42 (2000).
3. Barcellos-Hoff, M. H., How do tissues respond to damage at the cellular level? The role of cytokines in irradiated tissues. Radiat. Res. 150 (Suppl.), S109–S120 (1998).
4. Benyon, R. C. and J. P. Iredale, Is liver fibrosis reversible? Gut 46, 443–446 (2000).
5. Biaglow, J.E., I.S. Ayene, C.J. Koch, J. Donahue et al., Radiation response of cells during altered protein thiol redox. Radiat. Res. 159 (4), 484–494 (2003).

6. Hall, E. J., Acute effects of total-body irradiation. In Radiobiology for the Radiologist, 5th ed., pp. 124–135. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2000.
7. Mitchell, J. B., A. Russo, P. Kuppusamy and M. C. Krishna, Radiation, radicals, and images. Ann. NY Acad. Sci. 899, 28–43 (2000).
8. Leach, J. K., G. Van Tuyle, P. S. Lin, R. Schmidt-Ullrich and R. B. Mikkelsen, Ionizing radiation-induced, mitochondria-dependent generation of reactive oxygen/nitrogen. Cancer Res. 61, 3894–3901 (2001).
9. Lloyd, D. C., A. A. Edwards, J. E. Moquet and Y. C. Guerrero- Carbajal, The role of cytogenetics in early triage of radiation casualties. Appl. Radiat. Isot. 52, 1107–1112 (2000).
10. Loucas, B. D. and M. N. Cornforth, Complex chromosome exchanges induced by gamma rays in human lymphocytes: An mFISH study. Radiat. Res. 155, 660–671 (2001).
11. Mothersill, C. and C. B. Seymour, Cell-cell contact during gamma irradiation is not required to induce a bystander effect in normal human keratinocytes: Evidence for release during irradiation of a signal controlling survival into the medium. Radiat. Res. 149, 256–262 (1998).
12. Ricks, R. C., M. E. Berger and E M. O'Hara, Jr., Eds., The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness: The Clinical Care of Victims. Proceedings of the Fourth International Conference REAC/ TS Conference on the Medical Basis of Radiation Accident Preparedness. CRC Press-Parthenon, London, 2001.
13. Robbins, M. E. C., W. Zhao, C. S. Davis, S. Toyokuni and S. M. Bonsib, Radiation-induced kidney injury: A role for chronic oxidative stress? MICRON 33, 133–141 (2002).
14. Tofilon, P. J. and J. R. Fike, The radioresponse of the central nervous system: A dynamic process. Radiat. Res. 153, 357–370 (2000).
15. Yahyapour, R., I. Shabeeb et al., Radiation Protection and Mitigation by Natural Antioxidants and Flavonoids: Implications to Radiotherapy and Radiation Disasters, Current Molecular Pharmacology, Volume 11, Number 4, 2018, pp. 285–304(20)
16. Yang, C. R., C. Wilson-Van Patten, S. M. Planchon, S. M. Wuerz- berger-Davis, T. W. Davis, S. Cuthill, S. Miyamoto and D. A. Boothman, Coordinate modulation of Spl, NF-kappa B, and p53 in confluent human malignant melanoma cells after ionizing radiation. FA- SEB J. 14, 379–390 (2000).
17. Zhao, W., D. R. Spitz, L. W. Oberley and M. E. Robbins, Redox modulation of the pro-fibrogenic mediator plasminogen activator inhibitor-1 following ionizing radiation. Cancer Res. 61, 5537–5543 (2001).

NON-LINEAR FLIGHT DYNAMICS MODEL OF AN AIRCRAFT

Konstantin Metodiev

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

Keywords: *Flight dynamics, quaternion, rotation matrix, Pilatus PC-9M*

Abstract: *In presented report, a nonlinear model of 3D motion of a Pilatus PC-9M aircraft is considered. The system of ordinary differential equations describing the aircraft motion is solved in GNU Octave environment by a 4th-order Dormant-Prince explicit method with an adaptive step, ode45, dopri. Experimental data for stability and control derivative values are used in the model. The developed code is validated with exact solutions. Several 3D maneuvers of the aircraft are simulated by the model. The results are presented graphically and analyzed.*

НЕЛИНЕЕН МОДЕЛ НА ДИНАМИКА НА ПОЛЕТА НА САМОЛЕТ

Константин Методиев

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

Ключови думи: *Динамика на полета, кватернион, матрица на ротациите, Pilatus PC-9M*

Резюме: *В настоящия доклад е разгледан нелинеен модел на пространственото движение на самолет Pilatus PC-9M. Системата обикновени диференциални уравнения, описваща движението на самолета, е решена в среда GNU Octave по явен метод Dormant-Prince от 4-ти ред с адаптивна стъпка, ode45, dopri. В модела са използвани експериментални данни за стойностите на производните по устойчивост и управляемост. Разработеният код е валидиран с точни решения. Чрез модела са симулирани няколко пространствени маньовъра на самолета от висшия пилотаж. Резултатите са представени графично и анализирани.*

Introduction

Aircraft non-linear flight dynamics focuses on how aircraft behaves under conditions where the assumptions of linearity (small perturbations and linear relationships between forces and motions) no longer hold. It is crucial for predicting the behavior of aircraft in complex flight conditions. Unlike linear models, nonlinear ones consider full set of equations of motion without simplifying assumptions.

Materials and Methods

Consider following system ODEs for linear and angular momentum conservation (body frame)

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{v}}{dt} &= \frac{\mathbf{F}}{m} - \boldsymbol{\omega}\times\mathbf{v} \\ \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} &= I^{-1}\left(\mathbf{M} - \boldsymbol{\omega}\times I\boldsymbol{\omega}\right) \end{aligned} \qquad I = \begin{bmatrix} I_{xx} & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{yx} & I_{yy} & -I_{yz} \\ -I_{zx} & -I_{zy} & I_{zz} \end{bmatrix} \tag{1}$$

where $\mathbf{F} = [X, Y, Z]^T$, $\mathbf{M} = [L, M, N]^T$ are vectors of externally applied forces / moments, $\mathbf{v} = [u, v, w]^T$, $\boldsymbol{\omega} = [p, q, r]^T$ stand for linear / angular velocity vectors, m is rigid body mass (constant), $\mathbf{I}$ is inertia

tensor describing mass distribution within the rigid body. Vector **ω** is angular velocity vector of a body-fixed reference frame relative to the inertial one.

Euler angular rates $[d\varphi/dt, d\theta/dt, d\psi/dt]^T$ might be expressed with regard to body angular rates $\boldsymbol{\omega} = [p, q, r]^T$, [1], as follows

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tan\theta\sin\phi & \tan\theta\cos\phi \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \dfrac{\sin\phi}{\cos\theta} & -\dfrac{\cos\phi}{\cos\theta} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \tag{2}$$

The dψ/dt equation has a singularity at θ = ± π/2 rad (gimbal lock) which is the reason why quaternion propagation is preferred to propagating Euler angles directly. Quaternion propagation is a method used to describe the object attitude in three-dimensional space over time. The method is more computationally efficient. It involves integrating the quaternion's differential equation with respect to time so as to reflect the airplane changing orientation. Following Shibata, the general form of quaternion propagation equation, neglecting the Earth rate in local frame, is, [2]

$$\frac{dq}{dt} = \frac{1}{2}Q(q)\boldsymbol{\omega} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} -q_1 & -q_2 & -q_3 \\ q_0 & -q_3 & q_2 \\ q_3 & q_0 & -q_1 \\ -q_2 & q_1 & q_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \tag{3}$$

where $\boldsymbol{\omega} = [p, q, r]^T$ are angular rates in body reference frame, $q = [q0, q1, q2, q3]^T$ are quaternion components. Euler angles yaw ψ, pitch θ, roll ϕ are obtained according to (sequence ZYX only)

$$\begin{aligned} & d = 2(q_0q_2 - q_1q_3), \quad \theta = \operatorname{asin}(d) \\ & if \quad |d| = 1 \quad then \quad \phi = 0, \quad \psi = -2\operatorname{sign}(d)\operatorname{atan}\frac{q_1}{q_0} \\ & else \quad \phi = \operatorname{atan}\frac{2(q_0q_1 + q_2q_3)}{q_0^2 - q_1^2 - q_2^2 + q_3^2}, \quad \psi = \operatorname{atan}\frac{2(q_0q_3 + q_1q_2)}{q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2} \end{aligned} \tag{4}$$

Body fixed linear velocities might be transformed into local level reference frame after multiplying by a transformation matrix. The matrix might be derived, according to Kuipers, from quaternions as follows, [3]

$$R(q) = \begin{bmatrix} 2(q_0^2 + q_1^2) - 1 & 2(q_1q_2 - q_0q_3) & 2(q_1q_3 + q_0q_2) \\ 2(q_1q_2 + q_0q_3) & 2(q_0^2 + q_2^2) - 1 & 2(q_2q_3 - q_0q_1) \\ 2(q_1q_3 - q_0q_2) & 2(q_2q_3 + q_0q_1) & 2(q_0^2 + q_3^2) - 1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

Aerodynamic coefficients are computed with regard to stability and control derivatives, [1]:

$$C_x = -C_D \qquad C_l = \frac{\partial C_l}{\partial p}\frac{c}{2V}p + \frac{\partial C_l}{\partial \delta_A}\delta_A$$

$$C_y = \frac{\partial C_y}{\partial \beta}\beta + \frac{\partial C_y}{\partial \delta_R}\delta_R \qquad C_m = C_{m0} + \frac{\partial C_m}{\partial \alpha}\alpha + \frac{\partial C_m}{\partial q}\frac{c}{2V}q + \frac{\partial C_m}{\partial \delta_E}\delta_E \quad (6)$$

$$C_z = -C_{z0} - \frac{\partial C_L}{\partial \alpha}\alpha - \frac{\partial C_y}{\partial \delta_E}\delta_E \qquad C_n = \frac{\partial C_n}{\partial \beta}\beta + \frac{\partial C_n}{\partial r}\frac{c}{2V}r + \frac{\partial C_n}{\partial \delta_R}\delta_R$$

Externally applied aerodynamic forces and moments are computed with the help of widely known formulae including values of aerodynamic coefficients and dynamic pressure. Reference lengths used are mean aerodynamic chord and wingspan. Reference area is wing planform area. The airplane weight is defined in local level reference frame as G = m*[0, 0, –9.81]^T. It has to be transformed to body reference frame by multiplying by transformation matrix (5). In formulae (6), characteristic length c is equal to the mean aerodynamic chord.

Snowden and Keating et al., [4], [5] give experimental data about stability and control derivatives for longitudinal and lateral motion of PC 9/A in cruise configuration, Table 1.

Table 1. Mass parameters, stability and control derivatives (3-2-1-1 maneuver at 5000 ft, maximum likelihood)

Parameter	Value	Units	Parameter	Value	Units	Parameter	Value	Units
Ixx	2505.9	kg.m^2	MAC	1.65	m	Clp	–0.508	1/rad
Iyy	6622.2	kg.m^2	Weight	1866.1	kg	ClδA	–0.1083	1/rad
Izz	8467.1	kg.m^2	CD0	0.0118	–	Cmα	–0.4412	1/rad
Ixy	49.0	kg.m^2	CL0	0.115	–	Cmq	–14.4	1/rad
Ixz	196.9	kg.m^2	CYβ	–0.7735	1/rad	CmdE	–1.2319	1/rad
Iyz	3.0	kg.m^2	CYδR	0.1885	1/rad	Cnβ	0.0808	1/rad
S	16.29	m^2	CLα	5.1222	1/rad	Cnr	–0.201	1/rad
Wingspan	10.125	m	CLδE	0.3151	1/rad	CndR	–0.1157	1/rad

Air density variation with altitude is described by the barometric formula widely available, see for example [6]. However, during simulation, the altitude varies slightly which is why density is assumed constant ρ = 1.293 kg/m^3. This approach simplifies the computational procedure. Lift coefficient at zero angle of attack is assumed CL0 = 0.115. Additional condition for longitudinal static stability is CM0 > 0 i.e., airplane can be trimmed at positive angle of attack. In current case CM0 = 0.01 (lack of data). Also, angle of attack α = atan2(w,u), angle of sideslip β = asin(v / sqrt(u^2 + v^2 + w^2)) From table above and the chain rule we find ∂Cm/∂CL = (∂Cm/∂α) / (∂CL/∂α) ≈ –0.086 times mean aerodynamic chord is the static margin. Savov, Marinov, [7] reported zero lift drag coefficient CD0 = 0.0118 @ M = 0.4; CD0 = 0.0123 @ M = 0.5; CD0 = 0.0127 @ M = 0.6.

After computing external forces and torques, system (1) is integrated in GNU Octave environment by `ode45` solver adopting Dormant – Prince method with adaptive time step.

Validation

Developed source code was put to the test with an exact solution to following problem in rigid body dynamics. Given a projectile is being fired at angle α and initial velocity v0, Fig. 1. The force of gravity G = –mg and the force of air resistance R = –kmv act on the projectile. Find a law describing the projectile motion! Adopted notations and units of measurement are m – mass, kg; v – velocity, m/s; g – Earth gravity acceleration, m/s^2; k – proportional coefficient, 1/s.

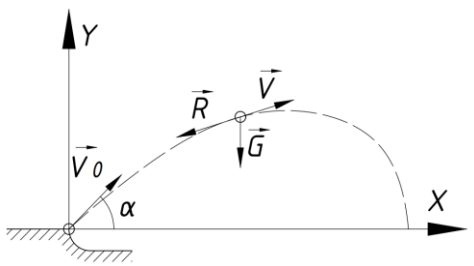


Fig. 1. Validation case according to problem statement

Equations of projectile motion according to Fig. 1 are:

$$m\ddot{x} = -km\dot{x}$$
$$m\ddot{y} = -km\dot{y} - mg \quad (7)$$

These equations are independent of each other, they can be solved separately, and they have the same characteristic equations with real distinct roots, i.e.

$$\rho^2 + k\rho = 0 \quad \rho_1 = 0 \quad \rho_2 = -k \quad (8)$$

Consequently, the general solution takes the form:

$$x = C_1 e^{0t} + C_2 e^{-kt} \quad y = C_3 e^{0t} + C_4 e^{-kt} + u \quad (9)$$

where u = A*t is a particular solution. After replacing the particular integral in second equation of the system (7), we get A = –g/k, i.e., u = –g/k*t. Finally, the complete solution is

$$x = C_1 + C_2 e^{-kt} \quad y = C_3 + C_4 e^{-kt} - gt/k \quad (10)$$

In order to find constants $C_{1..4}$, it is sufficient to plug following initial conditions into system (10):

$$t = 0 \quad x = 0 \quad y = 0 \quad \dot{x} = v_0 \cos\alpha \quad \dot{y} = v_0 \sin\alpha \quad (11)$$

Identical results might be obtained using Symbolic package available in GNU Octave, see Appendix.

Initial conditions (11) were plugged into model being developed, system equations (1) and test problem (7) to perform a simulation of projectile motion and compare obtained solution with exact one. The two results match exactly, Fig. 2.

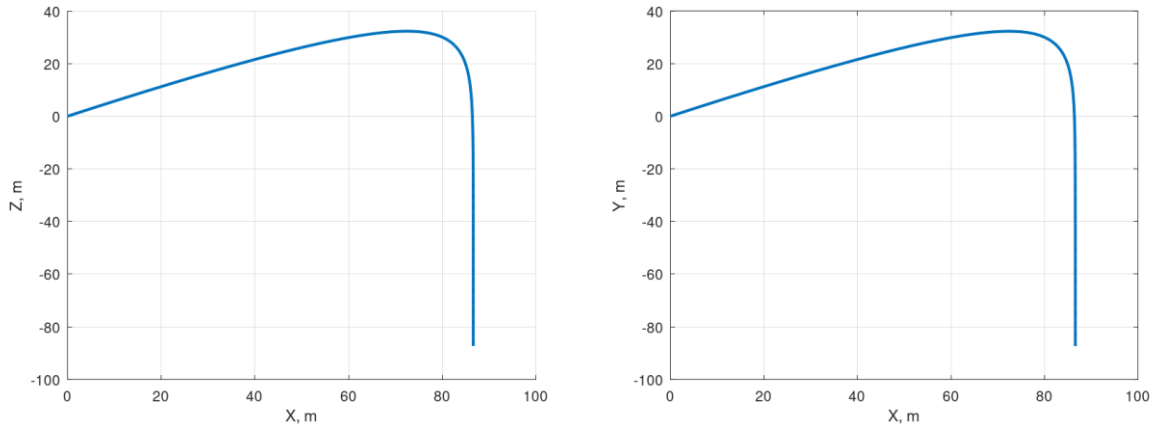


Fig. 2. Validation case results: numerical solution (left) and exact one

In addition, the rotation matrix (5) has been put to the test by MatLab function `quat2rotm(q)` for validation purposes. Again, the obtained results match.

Results

Consider following test cases. PC-9M is performing a flight for 30 seconds at initial (cruise) speed of 140 m/s ≈ 272 knots and yaw angle of –180 deg. The airplane is experiencing thrust (both propeller and jet, [8]) of 6100 N within [0; 30) s interval. A deflection of –2.5 deg is applied to elevator within [5; 30) s interval. Euler angles yaw, pitch, and roll are depicted in Fig. 3, so is the flight path. The figure caption is a ternary condition operator. The airplane is performing a Loop maneuver.

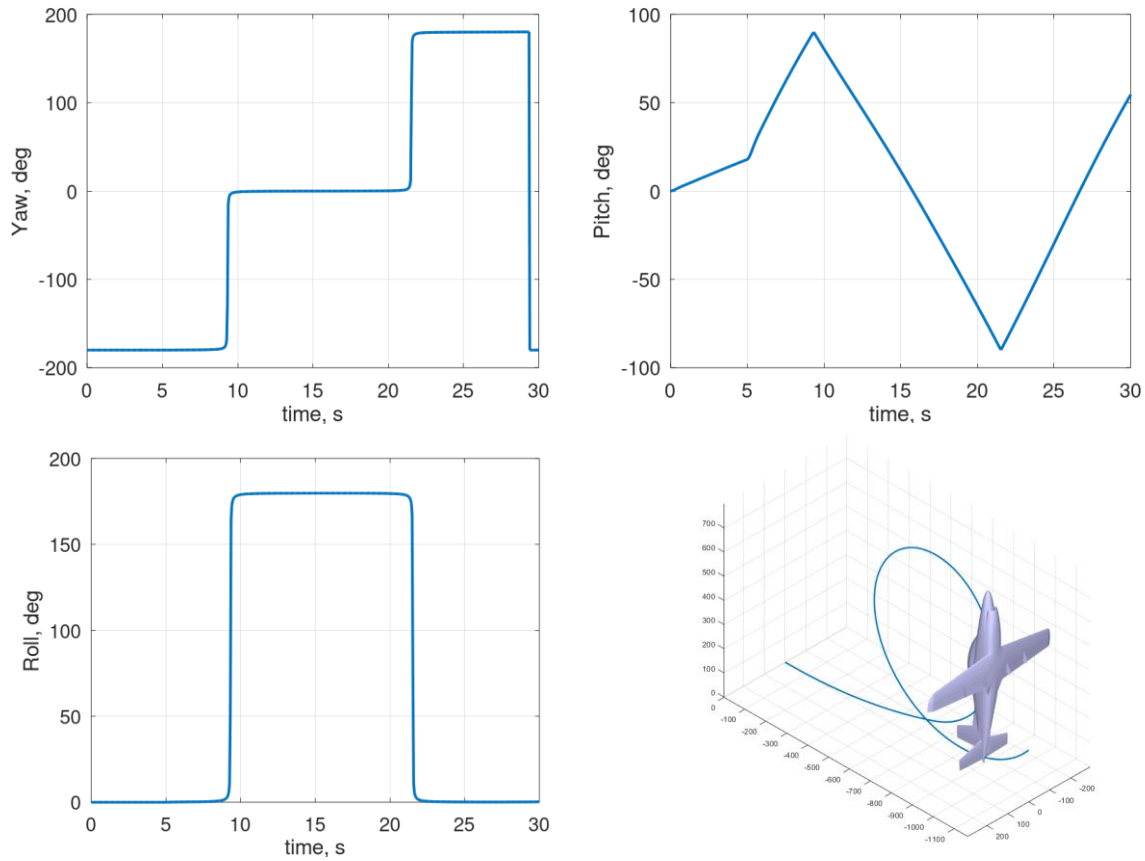


Fig. 3. Loop: dEle = (5 ≤ t < 30 s) ? –2.5 : 0 deg

In following test case a deflection of –1 deg is applied to aileron within [5; 6) s interval, –3 deg to elevator within [6; 15) s to elevator, –2 deg to elevator within [15; 18) s, and +2 deg to aileron within [15; 18) s. The airplane is performing a Chandelle maneuver.

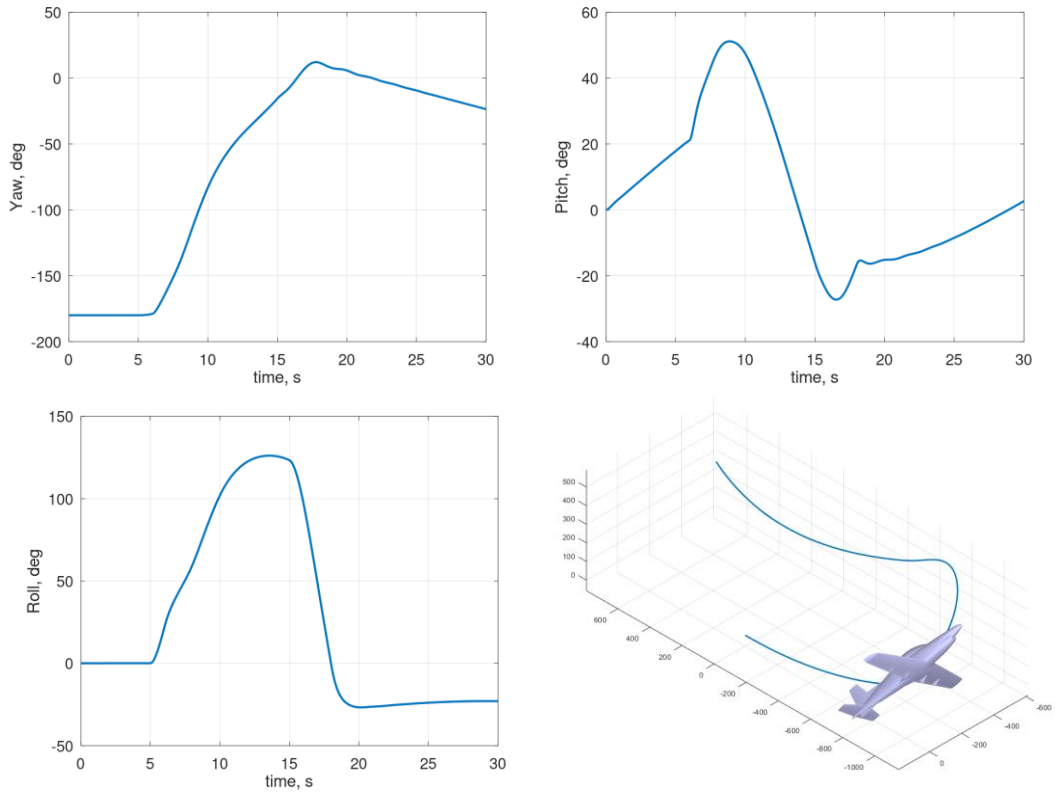


Fig. 4. Chandelle: dAil = (5 ≤ t < 6 s) ? –1 : 0 deg; dEle = (6 ≤ t < 15 s) ? –3 : 0 deg;
dEle = (15 ≤ t < 18 s) ? –2 : 0 deg; dAil = (15 ≤ t < 18 s) ? +2 : 0 deg

In following test case, a deflection of –15 deg is applied to elevator within [5; 20) s interval, –2.5 deg to aileron within [0; 20) s interval, thrust is cut to idle, initial (stall) speed of 40 m/s (a recoverable spin).

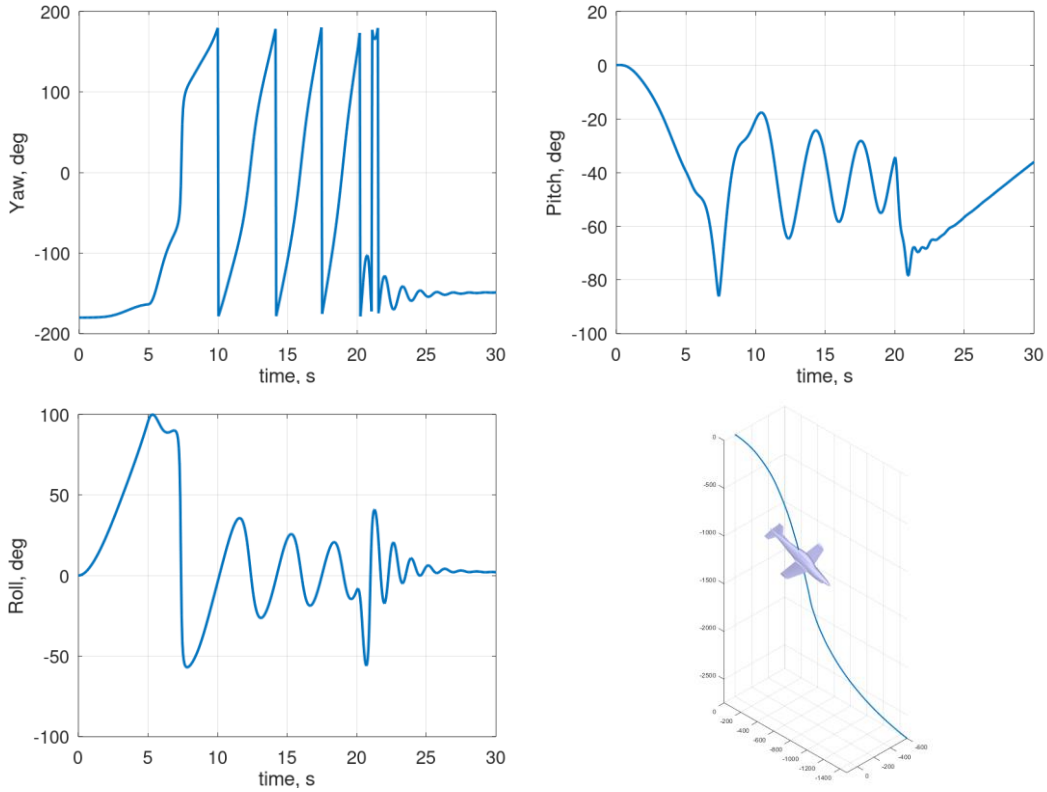


Fig. 5. Spin: dEle = (5 ≤ t < 20 s) ? –15 : 0 deg; dAil = (0 ≤ t < 20 s) ? –2.5 : 0 deg

Conclusion

Data about drag coefficient CD are somewhat rare, so is pitch moment coefficient at zero angle of attack CM0. In paper [7], values of zero lift drag coefficient CD0 at different Mach numbers are reported. Also, in paper [4], Snowden et al. provide experimental data about normal force CN0 @ α = 0 (body frame) with regard to values of derivative ∂CN/∂q.

Benefits resulting from applying the non-linear solver are significant. In linearized case, the longitudinal motion is frequently decoupled from longitudinal and lateral in advance and thus various aerodynamic and gyroscopic cross-couplings such as yaw/roll and pitch/yaw are neglected. The outcome of expanding derivatives by Taylor series solely holds within small disturbances about initial conditions. For these reasons, it is possible to compute a three-dimensional motion at critical angles of attack and beyond (recoverable spin, Fig. 5) merely with the aid of a non-linear flight dynamics model.

Project source code was developed in GNU Octave v.9.2.0 environment with free license. The code may be downloaded from github.com, [9].

Obtained numerical results have not been validated during actual flight on PC-9M. Use the results at your sole discretion!

References

1. Josselson, Robert, Introduction to 6-DOF Simulation of Air Vehicles, VisSim Tutorial Series, 1997, Visual Solutions, Inc. http://avionics.nau.edu.ua/files/doc/VisSim.doc/6dof.pdf
2. Shibata, Minoru, Error Analysis Strapdown Inertial Navigation Using Quaternions, Engineering Notes, AIAA Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 9, No. 3, 1986
3. Kuipers, Jack, Quaternions and Rotation Sequences: A Primer with Applications to Orbits, Aerospace and Virtual Reality, Princeton University Press, 1999, ISBN 0-691-10298-8, 125 p.
4. Snowden, A., H. Keating, N. Bronswijk, J. Drobik, A Correlation between Flight-determined Longitudinal Derivatives and Ground-based Data for the Pilatus PC 9/A Training Aircraft in Cruise Configuration, Air Operations Division Aeronautical and Maritime Research Laboratory, DSTO-TR-0937, Commonwealth of Australia, 2000

5. Keating, H., N. Bronswijk, A. Snowden, J. Drobik, A Correlation between Flight-determined Lateral Derivatives and Ground-based Data for the Pilatus PC 9/A Training Aircraft in Cruise Configuration, Air Operations Division Aeronautical and Maritime Research Laboratory, DSTO-TR-0988, Commonwealth of Australia, 2000
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Barometric_formula
7. Savov, V., A. Marinov, Aerodynamic Characteristics Calculation of Pilatus-9M Aircraft during Longitudinal and Lateral Motion, Proceedings of Scientific Conference "40 Years since a Man Stepped on the Moon and 30 Years since the First Bulgarian Cosmonaut Flight," pp. 66–71, Vol. 1, Air Force Academy, Dolna Mitropolia, 2009, in Bulgarian
8. Type-Certificate Data Sheet No. EASA IM.E.038 for Engines, PT6A-68 series engines, Pratt and Whitney Canada Corp., April 2016
9. https://github.com/samolet4e/non-linear

Appendix. Source code in GNU Octave for finding exact solution of system (7)

```
>> pkg load symbolic
>> syms x(t) y(t) k g
>> odex = [diff(x,t,2) + k*diff(x,t,1) == 0];
>> odey = [diff(y,t,2) + k*diff(y,t,1) + g == 0];
>> solx = dsolve(odex);
>> soly = dsolve(odey);
>> solx
solx = (sym)
           -k*t
  C1 + C2*e
>> soly
soly = (sym)
           -k*t   g*t
  C1 + C2*e     - ---
                   k
>>
```

S E S 2 0 2 4
Twentieth Anniversary International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
22 – 25 October 2024, Sofia, Bulgaria

СРАВНИТЕЛНО ИЗЧИСЛЕНИЕ НА ЯКОСТ НА ЦЯЛАТА КОНСТРУКЦИЯ НА ХЕКСАКОПТЕР

Джулиан Тахов[1], Павлин Граматиков[2]

[1]Д Аероспейс
[2]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: juliantahov@gmail.com; pgramatikov@space.bas.bg

Ключови думи: *хексакоптер, сравнително изчисление на якостта, моделиране на конструкции по метода на крайните елементи, начални и гранични условия на натоварване*

Резюме: *Изложени са резултатите от проектирането и изчисляването на якостта на цялата конструкция на хексакоптер, която е авторска разработка. Изчисленията са извършени със системата за изчисляване на крайни елементи FEMAP. Приложени са графични и таблични данни.*

COMPARATIVE STRENGTH CALCULATION OF THE WHOLE HEXACOPTER STRUCTURE

Dzhulian Tahov[1], Pavlin Gramatikov[2]

[1]D Aerospace
[2]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: juliantahov@gmail.com; pgramatikov@space.bas.bg

Keywords: *hexacopter, comparative strength calculation, finite element modeling of structures, initial and boundary loading conditions*

Abstract: *The results of the design and strength calculation of the entire hexacopter structure, which is an original development, are presented. The calculations were performed with the FEMAP finite element calculation system. Graphical and tabular data are attached.*

Въведение

Разгледани са задачи при реализиране на проект на хексакоптер, както и разработката на рама, товарна платформа и техните модификации, като са взети предвид съотношението здравина-тегло и особеностите на експлоатация. За проектирането на хексакоптера се използва софтуерът SolidWorks [1].

В процеса на проектиране се извършва сравнително изчисление на якостта с обоснован избор на подходящ материал и технология на производство [2, 3]. Изчисленията се осъществяват в системата за изчисляване по метода на крайните елементи FEMAP (съкращение от Finite Element Modeling And Postprocessing) [4]. Тази система FEMAP е CAD-независим софтуер на Siemens PLM за инженерен анализ на крайни елементи.

Проектирана е носещата рамка на хексакоптера, като са взети предвид необходимите изисквания за размери, начин на сглобяване, собствено тегло и лесно модифициране на конструкцията.

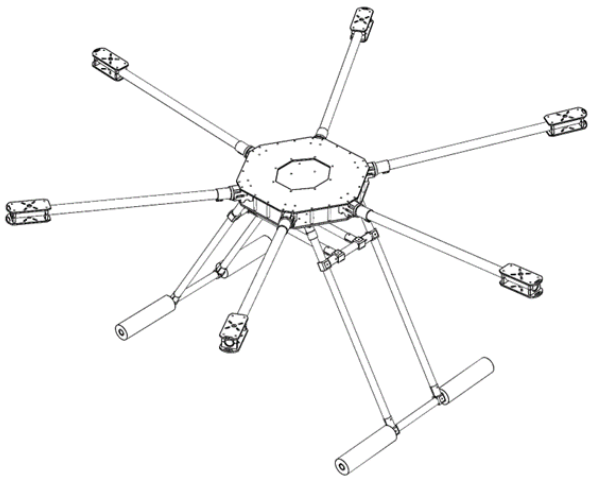
Разработен е конструктивен модел за изчисляване на якостта. Въз основа на резултатите от моделирането са постигнати следните цели: оптимизиране на теглото; избор на по-добри материали според съотношението здравина/тегло; оценка на наличието, местоположението и критичността на слабостите в конструкцията; заключения относно резултатите от проектирането на рамката и изчисляването на нейната якост; оценка на пригодността на разработената конструкция за нейното прилагане в практиката, както и на приложимостта на разработените технологични процеси.

Изчисляване на здравината на цялата конструкция на хексакоптер.

Мултикоптерът с шест двигателя (хексакоптер) осигурява допълнителна резервираност в сравнение с мултикоптер с четири двигателя (квадрокоптер). В сравнение с квадрокоптера хексакоптерът има предимството да издържа на по-силни ветрове поради по-големия брой двигатели, използвани за балансиране във въздуха. Хексакоптерът носи до 30 % повече полезен товар спрямо квадрокоптера и лети по-дълго, тъй като на всеки от двигателите се разпределя по-малко тегло.

На фиг.1 е даден пълен 3D модел на авторски хексакоптер, който има следните размери: дължина 650 mm от центъра на един двигател до центъра на рамката; 60 градуса между всяко от шестте рамена и дължина 500 mm на всяко от шестте рамена до мястото на прегъване.

За по-добра визуализация и разбиране на конструкцията е показан пълен 3D модел, създаден чрез софтуера SolidWorks, Фиг. 1.



Фиг. 1. Пълен 3D модел на хексакоптер

Общото тегло на хексакоптера без полезен товар е 12 kg. Всеки от шестте двигателя осигурява до 6 kg тяга при максимална мощност. Общата тяга, генерирана от шестте двигателя, е до 36 kg. Полезният товар е до 4 килограма.

Моделите на крайните елементи FEM (Finite Element Model), определят проектните натоварвания, действащи върху хексакоптера в основните случаи на симулация. На Фиг. 2 е показан авторски цялостен силов FEM на хексакоптера, който цели: определяне на вътрешните сили (възникващи в структурните елементи на хексакоптера при различни конструктивни случаи); анализ на здравината и коравината на колесника и анализ на силите, възникващи в различните възли на закрепване [5, 6, 7 и 8].



Фиг. 2. Цялостен силов модел на хексакоптер

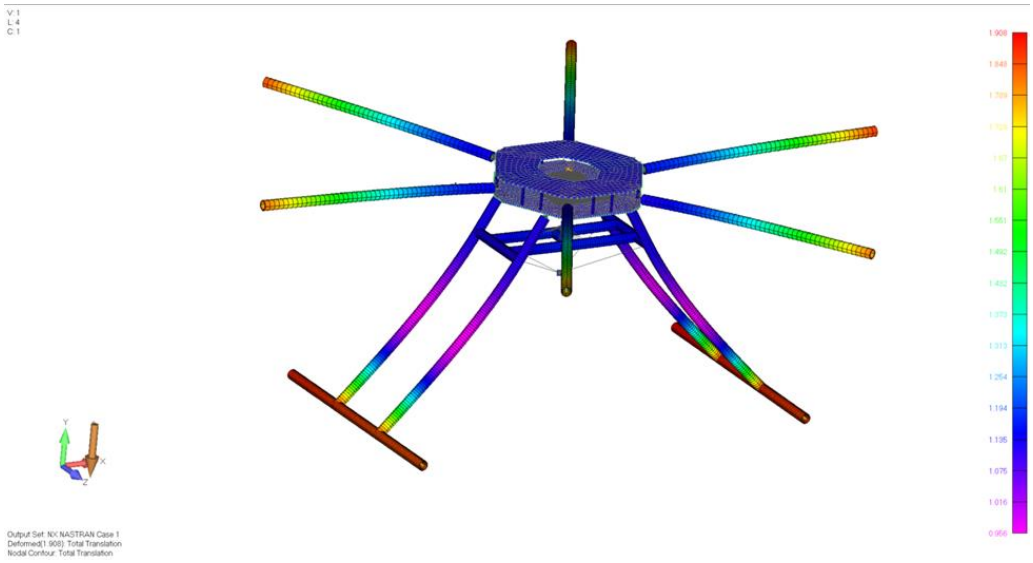
Резултати от анализа на цялостен модел на крайните елементи на хексакоптер.

Деформацията на конструкцията на авторския хексакоптер при проектен случай "Излитане с максимална тяга" е показана на Фиг. 3.



Фиг. 3. Деформация на конструкцията при симулация "Излитане с максимална тяга"

Деформацията на конструкцията на хексакоптер при проектен случай "Твърдо кацане върху 4 опори" е дадена на Фиг. 4.



Фиг. 4. Деформация на конструкцията при симулация "Твърдо кацане върху 4 опори"

Изчисляване и оптимизиране на долната платформа

Долната платформа е изчислена в три варианта на конструкцията от:

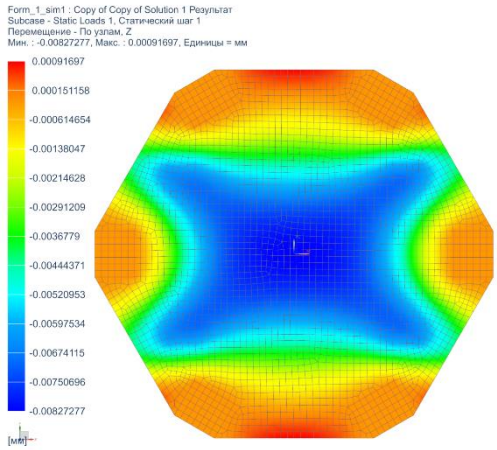
- Метален лист от тип VT95T2 с дебелина 4 mm;
- Лист, изработен от въглероден материал тип PCM T800C;
- Трислоен панел, изработен от стъклени влакна ST-69H с клетъчен пълнител.

За първи вариант на долната платформа деформациите са показани на Фиг. 5, а обвивката по слоеве на максималните еквивалентни напрежения е показана на Фиг. 6.

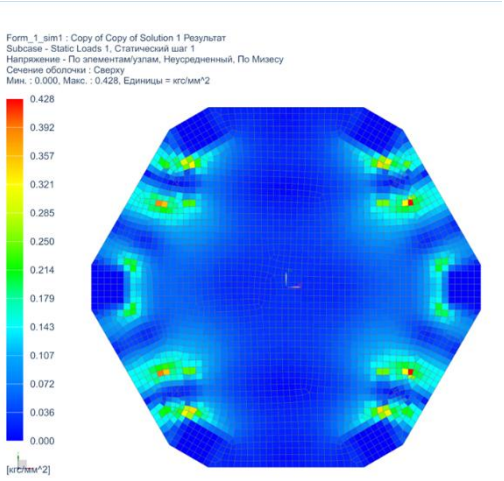
За втори вариант деформациите са представени на Фиг. 7, а обвивката по слоеве на максималните еквивалентни напрежения е показана на Фиг. 8.

Структурата на трислойния панел е показана на Фиг. 9, а неговият цялостен FEM е показан на Фиг. 10а,10б и 10в. Деформациите, получени от анализа на FEM на трислойния панел,

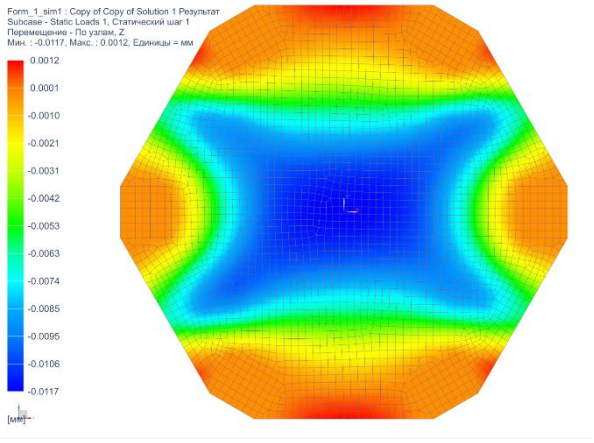
са представени на Фиг. 11. Обвивката на максималните еквивалентни напрежения във всеки слой, получени от анализа на FEM, е показана на Фиг. 12.



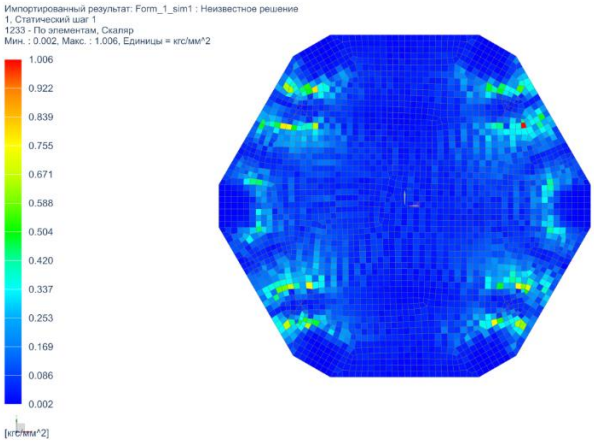
Фиг. 5. Деформация на долната платформа при метален лист от VT95T2



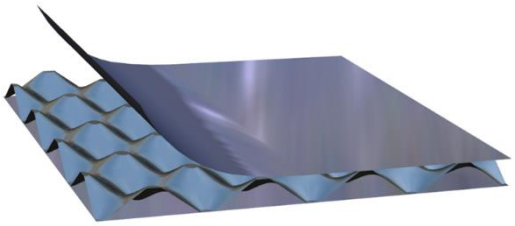
Фиг. 6. Еквивалентни напрежения на долната платформа при метален лист от VT95T2.



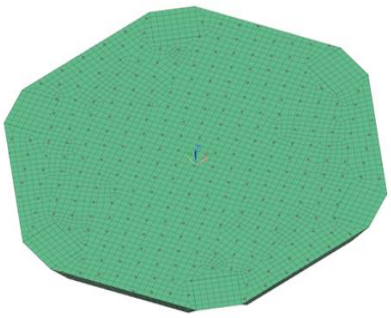
Фиг. 7. Деформация на долната платформа при въглероден PCM T800C



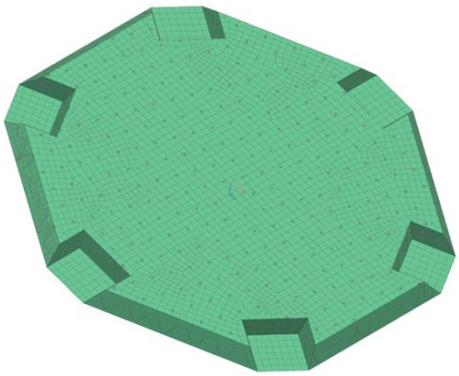
Фиг. 8. Еквивалентни напрежения на долната платформа при въглероден PCM T800C



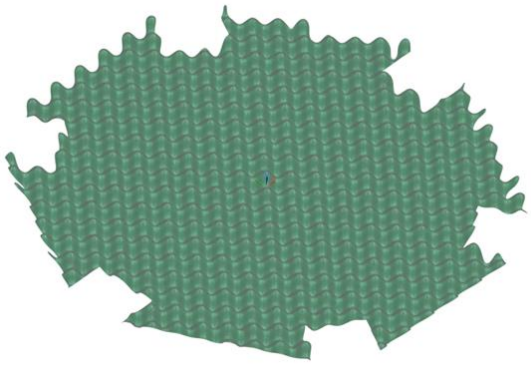
Фиг. 9. Структура на долната платформа при трислоен панел



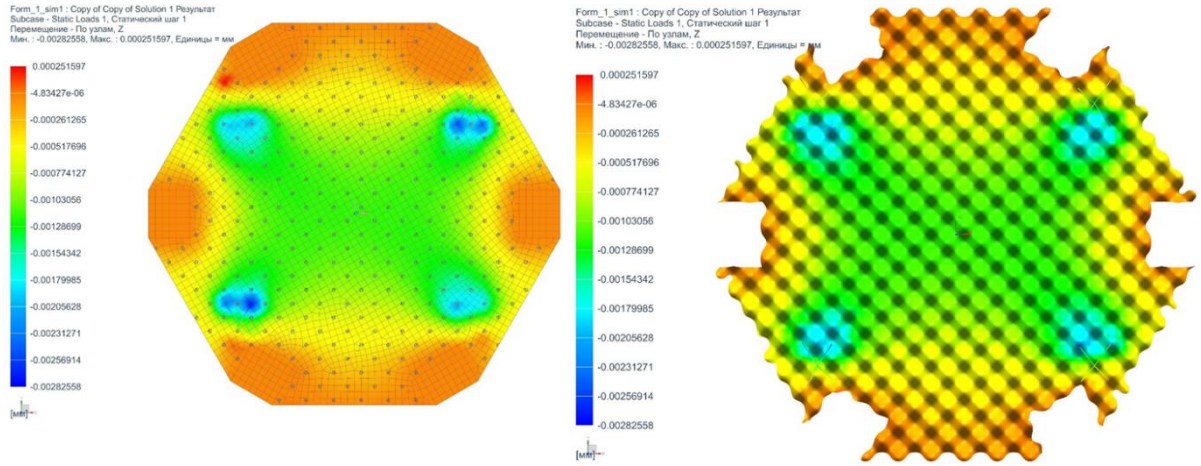
Фиг. 10а. FEM на част А от трислоен вариант на долната платформа



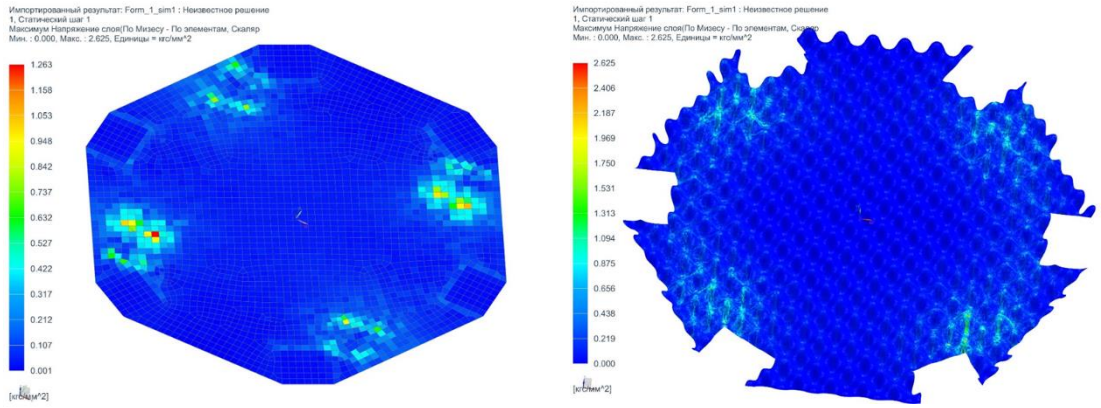
Фиг. 10б. FEM на част Б от трислоен вариант на долната платформа



Фиг. 10в. FEM на част В от трислоен вариант на долната платформа



Фиг. 11. Деформации на долната платформа при трислоен вариант



Фиг. 12. Обвивка на напрежението по слоеве на долната платформа при трислоен вариант

Заключение

В резултат на анализа на различни конфигурации на долната платформа е установено, че оптимална е употребата на трислоен панел, изработен от композитен материал със стъклени влакна ST-69H. При тази конфигурация максималните напрежения се наблюдават в точките на закрепване на прътите и имат стойност $\sigma_{max}{}^{3} = 2.63$ kgf/mm^2.

Максималните напрежения в носещите слоеве имат стойност $\sigma_{max}{}^{3} = 1.26$ kgf/mm^2.

В Таблица 1 са показани и обобщени вариантите за проектиране на долната платформа и максималните стойности по модул на напреженията и преместванията в центъра на плочата.

В Таблица 1 не са показани резервите за здравина, тъй като всеки от вариантите е изпълнил условието η >> 10. За авторския хексакоптер са изчислени моторно-витлови групи и акумулаторни батерии [9], с които са извършени полети на открито с продължителност над 20 минути.

Таблица 1

№	Вариант на изпълнение	G [g]	σ_{max} [kgf/mm2]	$\lvert w_{z\,max} \rvert$ [mm]
1	Метален лист от тип VT95T2 с дебелина 4 mm	702.51	0.43	0.0082
2	Лист от въглероден материал тип PCM T800C	442.32	1.00	0.0012
3	Трислоен панел от стъклени влакна ST-69H с клетъчен пълнител	343.17	2.63	0.0011

Благодарности

Настоящият доклад е изготвен в рамките на Проект по т. 1.1.6 и на Проект по т. 3.1.7 от Национална научна програма „Сигурност и отбрана“ (приета с ПМС № 731 от 21.10.2021 г.) и съгласно Споразумение № Д01-74/19.05.2022 между МОН и Институт по отбрана „Професор Цветан Лазаров“.

Литература:

1. Ермаченков, Д. И., Фазли, Т., Гуль, К., & Петренко, Е. О. (2016). Разработка конструкции рамы квадрокоптера для удаленного мониторинга объектов. Вестник евразийской науки, 8(6 (37)), 45. ISSN:2588-0101 http://naukovedenie.ru/PDF/45TVN616.pdf
2. Зотов, А. А., Резниченко В. Композиционные материалы. Классификация, состав, структура и свойства. М.:Факториал Пресс, 161. 2015
3. Моисеев, В. С., Д. С. Гущина, Г. В. Моисеев, А. Б. Салеев. Беспилотные авиационный комплексы. II. Классификация, основные принципы создания и применения, Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2006. № 3. С. 3–5, ISSN: 0579-2975
4. Рудаков, К. Н. "FEMAP 10.2. 0. Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций." К.: КПИ 317с. (2011): ил.
5. Тахов, Джулиан. D Aerospace is a company based in Sofia, Bulgaria specializing in the design and manufacturing of industrial drones. https://d-aerospace.com/?page_id=32
6. Тахов, Джулиан. Избор и параметри на материалите за конструкцията на хексакоптер и проектиране на неговата рама. Доклади от годишна университетска научна конференция 08–09 юни 2023 година, том 7, Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски”, 2023, ISSN:ISSN 2367-7481, с. 113–121.
7. https://www.simscale.com/docs/simwiki/fea-finite-element-analysis/what-is-von-mises-stress/
8. Тахов, Джулиан. Сравнително изчисление на якост и технология на производство на елементи от конструкцията на хексакоптер. Доклади от годишна университетска научна конференция 08–09 юни 2023 година, том 7, Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски”, 2023, ISSN:ISSN 2367-7481, с. 123–131.
9. Граматиков, Павлин, Джулиан Тахов. Моторно-витлови групи и акумулаторни батерии за хексакоптер. Доклади от годишна университетска научна конференция 08–09 юни 2023 година, том 7, Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски”, 2023, ISSN:ISSN 2367-7481, с. 139–149.

ПРОУЧВАНЕ НА ЗЕМНИТЕ НЕДРА С БЕЗПИЛОТНИ ЛЕТАТЕЛНИ АПАРАТИ

Павлин Граматиков[1], Джулиан Тахов[2]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: pgramatikov@space.bas.bg, juliantahov@gmail.com;
[2]Д Аероспейс https://d-aerospace.com/

Ключови думи: *подповърхностно радиолокационно сондиране, хексакоптер, откриване на близки под повърхността цели, магнитно изследване с безпилотните летателни апарати, безпилотни летателни системи, геофизика*

Резюме: *Изложени са приложения на безпилотните летателни апарати при геоложко проучване и картографиране на земните недра. Разгледани са бордни геофизични сензори като магнитни, електромагнитни, инфрачервени, радарни, сензори за гама-лъчи и други. Обсъдени са тяхното използване и специфични проблеми, предимства и недостатъци. Приложени са графични и таблични данни. Представена е авторска разработка на шесткоптер и е предложена за него бордна апаратура, обезпечаваща проучване на земните недра.*

SUB-SURFACE EXPLORATION WITH UNMANNED AERIAL VEHICLE

Pavlin Gramatikov[1], Dzhulian Tahov[2]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]D Aerospace
e-mail: pgramatikov@space.bas.bg, juliantahov@gmail.com;

Keywords: *ground penetrating radar, hexacopter, near-surface targets detection , UAV-borne magnetic survey , Unmanned Aircraft Systems (UAS), Geophysics*

Abstract: *Applications of UAVs in geological exploration and subsurface mapping are outlined. Airborne geophysical sensors such as magnetic, electromagnetic, infrared, radar, gamma ray sensors and others are discussed. Their use and specific problems, advantages and disadvantages are discussed. Graphical and tabular data are appended. The author's development of a hexacopter and proposed on-board instrumentation for it, providing subsurface exploration, are presented.*

Въведение

Безпилотните летателни системи (БЛС), безпилотните летателни апарати (БЛА) или дистанционно управляемите летателни апарати (RPA), са въздухоплавателни средства без пилот на борда. Понастоящем БЛС са използват за геоложко и топографско картографиране, контрол на крайбрежието, инспекции на свлачища и др. Геофизичните БЛС използват геофизични сензори като магнитни, електромагнитни, инфрачервени, радарни, сензори за гама-лъчи и др. [1, 10].

Поради ограниченията на полезния товар и ограничено времето за полет, геофизичните БЛС използват олекотени сензори. Мултироторните БЛА обикновено имат време на полет до 30 min и полезен товар между 1 и 10 kg [1].

БЛС оборудвани с усъвършенстван софтуер и възможности за изкуствен интелект, могат да анализират геофизични данни в реално време и да предоставят на геолозите и изследователите ценна и полезна информация [1]. Друга област на напредък е интегрирането на различни сензори и технологии в една платформа на БЛС [1]. Например, БЛС могат да бъдат оборудвани едновременно с магнитометри, спектрометри и други геофизични инструменти за

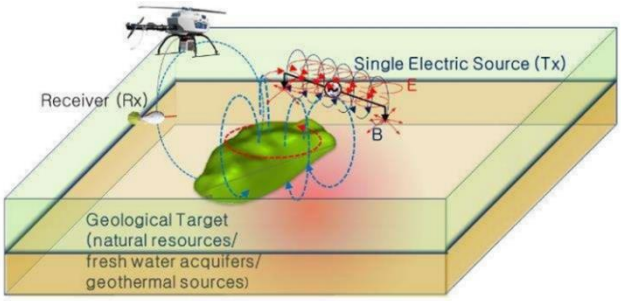
събиране на широк спектър от данни. Този мултисензорен подход осигурява цялостен поглед върху изследвания обект, което позволява на геолозите да разберат по-добре състава на минералите и потенциала на даден район [1].

Една от най-големите пречки при събирането на висококачествени магнитни данни от системата БЛА-магнитометър е интерферентното магнитно поле от БЛА [1]. Системата на БЛА не е немагнитна платформа. Някои модули и конструкции на БЛА са изработени от феромагнитни материали, които влошават точността на измерване на магнитометрите, прикрепени към БЛА. Компенсирането на електромагнитното поле, създадено от полетната платформа е сериозен проблем. Аеромагнитната компенсация е проучена дълбоко при традиционното пилотирано въздушно магнитно изследване. При геофизичните БЛС общата максимална височина на полет е десетки метри, където фоновото магнитно поле е пространствено неравномерно и пречи при изучаването на геоложките структури. Затова сензорите се закрепват към дълго въже или към прът с дължина 3–5 m, под или пред платформата на БЛА (Фиг. 2 и Фиг. 3), с цел намаляване на въздействието на БЛА върху измерванията. Конструкцията с дълъг прът е склонна към ниска стабилност на полета и не е идеално решение. Компенсацията на смущаващите полета на БЛА е нерешен проблем и все още изисква допълнителни изследвания [2].

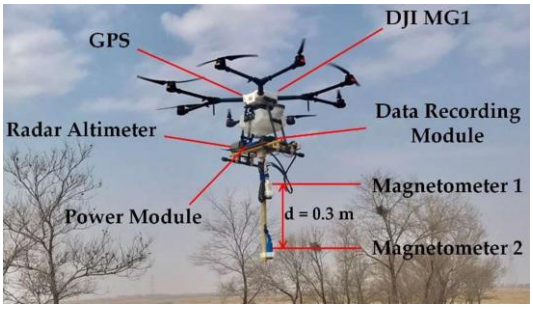
Бордни геофизични сензори и методи на изследване

На Фиг. 1 е показан метод за активни полувъздушни електромагнити изследвания с помощта на БЛА. Характерно за този метод, е че на земната повърхност близо до изследвания подземен обект се монтират излъчвател (Tx) и приемник (Rx). Вторият приемник се намира на борда на БЛА, в случаят това е вертолет, [1, 2].

Разработена е нова система за магнитно измерване на БЛА за откриване на близки до повърхността цели [3]. Системата БЛА-магнитометър се състои от два магнитометъра, радарен висотомер, диференциален GPS модул, модул за записване на данни и захранващ модул, както е показано на Фиг. 2. Летателната платформа е осемроторен БЛА DJI MG1 [2].

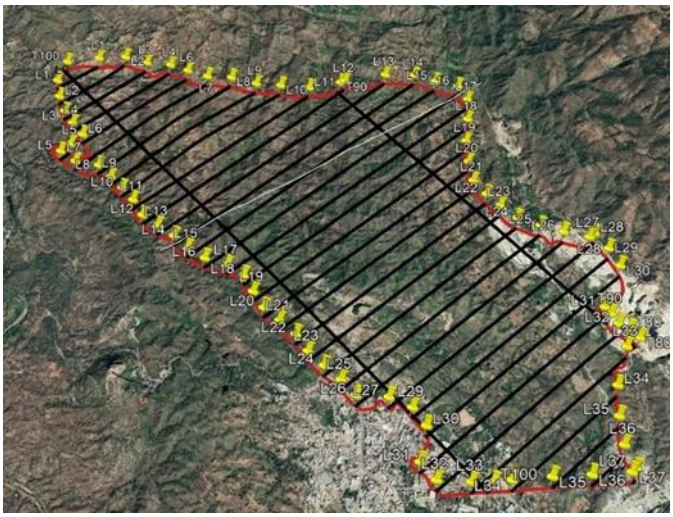


Фиг. 1. Полувъздушни електромагнити изследвания с помощта на БЛА [1]



Фиг. 2. БЛА с два магнитометъра, радарен висотомер, GPS, запис на данни [1, 2, 3]





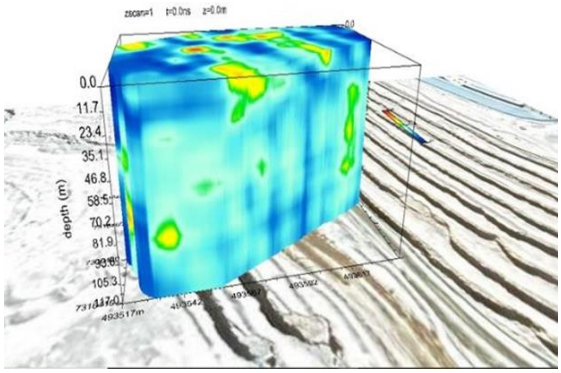
Фиг. 3. Мултикоптер, магнитометър MagArrow, GPR и реализирана траектория на полета [1, 6]

На Фиг. 3 е представена БЛС, в която се използва чувствителен магнитометър MagArrow на базата на цезиеви пари. Вземането на магнитни проби е със скорост 1000 проби за секунда. Методът позволява прецизно идентифициране и разграничаване на руди съдържащи Au, Cu, Li, Ni и Fe при проучване на големи площи.

Анализът в реално време подобрява ефективността на проучването, а комбинирането на георадари с LiDAR създава прецизни 3D карти (Фиг. 4 и Фиг. 5), [1, 4].

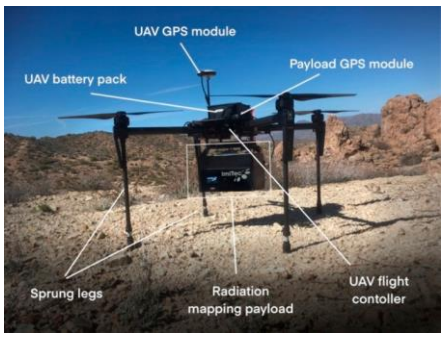


Фиг. 4. Мултикоптер и радар за проникване в земята (GPR) [1, 4]

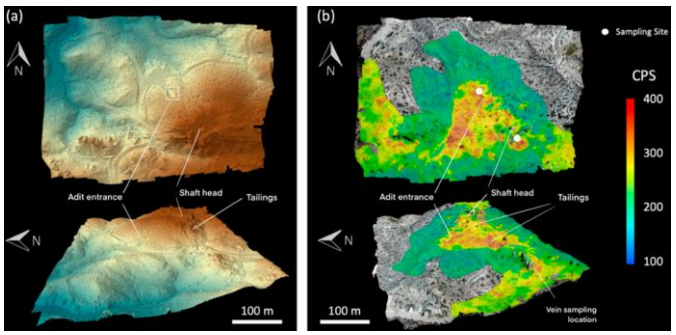


Фиг. 5. Изоповърхности в 3D модел на аномалии в дълбочина със софтуера GPR Slice [1, 4]

В [5] е представена БЛС за радиологична идентификация. Използва се модифицирана платформа за изследване на замърсяването с радиоактивен цезий в префектура Фукушима, Произведена е от Imitec Ltd., с тегло 1 kg и тя заменя старата система Kromek на базата на кадмиев и цинков телурид (CZT) GR1 с по-голям обем и по-чувствителен детектор на базата на полупроводник, легиран с талий. Модулът SIGMA-50, също от Kromek, е (CsI(Tl)) идентифицира области с по-ниска активност на фоновата среда. Въпреки че не притежава толкова висок спектър разделителна способност като GR1 (<7,2 % пълна ширина при половин максимум (FWHM) при 662 keV, вместо <2,5 %). FWHM при 662 keV за GR1) и енергиен диапазон (50 keVз – 1,5 MeV, за разлика от 30 keV до 3.0 MeV за GR1) активният обем на детектора от 32,8 cm^3 на SIGMA-50 е значително по-голям от този на детекторите на GR1, само $1cm^3$. Освен системата за откриване на лъчение има: точков лазерен далекомер (за корекция на данните за височина до 1 m над земята); GPS модул; радиотелеметрия (за предаване на данни в реално време към базова станция). БЛА M100 (Фиг. 6) носи и насочена надолу видеокамера GoPro Hero5 Black за получаване на изображения за създаване на 3D фотограметричен модел (Фиг. 7).



Фиг. 6. БЛС за радиологична идентификация [5]



Фиг. 7. Тримерна фотограметрия реконструкция на рудник (a) и резултати от аеронавигационно картографиране (b) [5]

В [7] е изложена геофизична БЛС на базата на: осмокоптер; MagArrow сензор и векторен магнитометър, използващ сензор SHFT02e за контрол на полета. Характеристиките и състава на MagArrow са: батерия с тегло 1 kg; шум 5 pT/√Hz; честота на вземане на проби 1000 Hz; честотна лента 400 Hz; грешка на измерване 5 nT; жироскоп Bosch BMI160; компас. В [8] е представена геофизична БЛС на базата на: осмокоптер с четири рамена; два сензора MagArrow; три трансмитера Tx; два приемника Rx. Има два различни трансмитера LIAGHigh-power и ZongeGGT-10. Използва се методология на минимизация по Гаус-Нютон с явни Якобиански изчисления.

В [9] е даден метод на анализ на електромагнитни (EM) данни с контролиран източник, записани с полу-въздушни изследователските системи. В метода се използват електромагнитни контролирани източници; електромагнитната теория; обратна теория и числени решения.

В [10], Таблица 1 и Таблица 2 са сравнени съвременни геофизични методи като: дистанционно наблюдение; геоложко и структурно картографиране; геофизично проучване; геохимично проучване; сондиране и др. Широкомащабното картографиране на полезни изкопаеми обикновено се извършва с помощта на наземни геофизични проучвания. Определянето на радиоактивните минерали като уран (U) и торий (Th) е възможно чрез метода на гама-спектрометрията. Различните видове рудни находища (например порфирна мед, епитермално злато, масивни сулфидни находища) имат различни геохимични подписи. Използва се софтуер с отворен код, за обработка на масиви от данни за дистанционно наблюдение; облачни изчисления; Google Earth Engine; Google Colab; jupyter noteboo; python и др. Този софтуер и кодове могат да се използват за обработка и генериране на литологични и минералогични карти [10].



Фиг. 8. Мултироторна платформа Azriel и Salvatore [12]

Хексакоптерът Азриел (Azriel) [11, 12] е авторска разработка на мултироторна платформа за тежки товари, позволяваща разнообразни оперативни възможности. Азриел използва различни модули и дава свобода за монтаж и електрозахранване на полезни товари.

Характеристиките на AZRIEL са:

- възможен борден автопилот; Cube Orange and Cube Blue
- възможност за полет с общо тегло (AUW); 25 kg
- защита от вода и прах (проектиран е съгласно стандарт IP54)
- софтуерната конфигурация е с отворен код, позволена от Ardupilot и Cube
- релси за монтиране на полезен товар и лесен демонтаж на шасито за кацане
- лесен достъп към допълнителни напрежения за периферни устройства, налични на горната рамка, долната рамка и външната страна на Азриел.

Таблица 1. Приложения на различни геофизични методи за проучване на различни неблагородни метали и минерални системи от благородни метали Geological Association (GA) [10]

№	Геофизичен метод	Платформа	Метод определяне на местоположението	Pb-Zn	Порфирна мед	Депозит SEDEX	VMS депозит	Ni-Cu-PGE	Злато	Диамант C
1	Електромагнитен	Въздушна	Пряк	-	-	+	++	++	+	++
			GA	-	-	+	+	++	+	+
		Наземна	Пряк	+	-	+	++	++	-	++
			GA	+	-	+	+	++	+	++
2	Електрически	Наземна	Пряк	++	++	-	++	++	+	+
			GA	+	-	-	+	++	-	-
3	Гравитационен	Въздушна	Пряк	+	-	+	++	++	-	++
			GA	+	+	+	+	++	+	+
		Наземна	Пряк	++	+	++	++	++	-	++
			GA	+	+	+	+	++	+	++
4	Магнитен	Въздушна	Пряк	-	++	+	++	+	-	++
			GA	++	++	++	++	++	++	++

		На-земна	Пряк	-	++	+	++	+	+	++
			GA	+	++	++	++	+	++	++
5	Радио-метричен	Въз-душна	Пряк	-	++	-	+	-	+	-
			GA	+	++	++	++	+	++	+
		На-земна	Пряк	-	++	-	+	-	+	-
			GA	-	++	+	+	+	++	-
6	Сеизми-чен	На-земна	Пряк	+	+	+	+	+	-	+
			GA	+	+	+	+	+	+	+

Таблица 2. Характеристики и свойства на геофизичното проучване и техните приложения в геонауките [10]

№	Геофизичен метод	Физични свойства	Измерено поле	Единици	Дълбочина на изследване	Приложения в науките за Земята
1	Електро-магнитни	Електрическа проводимост и индуктивност	Електри-ческо и магнитно поле	Ω m (ом-метри)		Изкопаеми горива, т.е. газ (нефт), въглища, метални минерални находища, археологически проучвания
2	Гео-термална	Топлинна проводимост	Темпера-тура или топлина	W/mK	30–100 m и дълбочи-ната на източника	Картографиране на геотермална повърхност, идентифициране на зони на геотермални аномалии
3	Гравитацио-нен метод	Плътност	Поле на естестве-ната гравитация	mGal	всички	Сулфиди, включително сфалерит, мед, злато, барит, минно дело, изкопаеми горива, хидрология, тектоника на плочите
4	Радар за проникване в земята (GPR)	Диелектрична константа	Радиовъл-ни	Мегахерц (MHz]) milli Siemens на метър	10 метра (хиляди метри в лед)	Проучване на подземни минерални находища, особено метални минерали, подземни води, проучване на материали на строителна площадка, археологически проучвания, неметални материали за пукнатини или кухини
5	Индуцирана поляри-зация (IP) Метод	Електрически капацитет (зареждане)	Потенциал-на разлика (затихване на напре-жението)	milli Semens	Разстоянието между електродите обуславя дълбочината	Метални минерални находища, сулфидни минерали (масивни и разпръснати), богати на глини материали и графит.
6	Магнитен метод	Магнитна чувствителност	Naturl магия fd	nT	До изотерма на кюри	Магнетит, ултрамафити, богати на желязо скали, метални минерални находища, анализ на басейни, изкопаеми горива, тектоника на плочите, злато и порфирна мед
7	Радио-активен метод	Радио-активност	Гама лъчение	eTh (еквива-лентен торий в ppm) и eU (еквива-лентен уран в ppm)	Няколко cm (скали) до стотици метри (въздух)	Уран, торий и калий
8	Съпротив-ление	Електрическо съпротивление	Привидно съпротивле-ние	Ω m	Разстоянието между електродите обуславя дълбочината	Проучване на подземни води, метални минерални находища,
9	Сеизмичен метод	Скорост на еластична вълна	скорости на сеизмични вълни	m/s		Изкопаеми горива, насипни минерални находища, т.е. чакъл и пясък, проучване на подземни води, археологически проучвания
10	Метод на собствен потенциал (SP)	Електрическа проводимост	Естествен телуричен ток	mV	Няколко стотици метри	Метални сулфиди, серпентинит, графит, кухини напълнени с вода, солена вода

Литература:

1. Moezzi Nasab, Reza, Abolghasem Kamkar-Rouhani, Ali Reza Arab-Amiri. Development of Drone-Borne Geophysical Surveys for Mineral Exploration, Journal of Environment and Sustainable Mining 1.2 (2023), ISSN: 3041-900X, pp. 41–47.
10.22111/jesm.2024.47109.1009,
https://jesm.usb.ac.ir/article_8155_1d0a05f85c6592b417a0272444c93abc.pdf.usb.ac.ir/article_8155_cf3434771c45e18590d206e0e8de6c27.pdf
2. Y Mu, X Zhang, W Xie, Y Zheng. Automatic detection of near-surface targets for unmanned aerial vehicle (UAV) magnetic survey, Remote Sensing 12.3 (2020): 452., ISSN: 2072-4292, pp. 1–19.
https://doi.org/10.3390/rs12030452
https://www.mdpi.com/2072-4292/12/3/452/pdf
3. Mu, Yaxin, Wupeng Xie, and Xiaojuan Zhang. The joint UAV-borne magnetic detection system and cart-mounted time domain electromagnetic system for UXO detection, Remote Sensing 13.12 (2021): 2343., ISSN: 2072-4292, pp. 1–20.
https://doi.org/10.3390/rs13122343
https://www.mdpi.com/2072-4292/13/12/2343/pdf
4. Junaid M., Abdullah R. A., Sa'ari R., Ali, W., Islam A., & Sari M. (2022). 3D modelling and feasibility assessment of granite deposit using 2D electrical resistivity tomography, borehole, and unmanned aerial vehicle survey, Journal of Mining and Environment, 13(4), Print ISSN:2251-8592, Online ISSN:2251-8606, pp. 929–942.
https://doi.org/10.22044/jme.2022.11938.2189 ,
https://jme.shahroodut.ac.ir/article_2530_91b9b42a5a74d0c30ed73ff37574ba0b.pdf
5. Martin, P. G., Connor, D. T., Estrada, N., El-Turke, A., Megson-Smith, D., Jones, C. P., ... & Scott, T. B. (2020). Radiological identification of near-surface mineralogical deposits using low-altitude unmanned aerial vehicle, Remote Sensing, 12(21), 3562, ISSN: 2072-4292, pp. 1–17.
https://doi.org/10.3390/rs12213562
https://www.mdpi.com/2072-4292/12/21/3562/pdf?version=1604281392
6. Cyriac, J., Kumare, D., & Balooni, S. P. (2023). Exploring the Potential of Drone-Based Geophysical Survey, In 2nd EAGE/Aqua Foundation Indian Near Surface Geophysics Conference & Exhibition Vol. 2023, No. 1, European Association of Geoscientists & Engineers, pp. 1–5.
DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.202375017
https://www.researchgate.net/profile/Darshana-Kumare/publication/375598977_EXPLORING_THE_POTENTIAL_OF_DRONE-BASED_GEOPHYSICAL_SURVEY_USING_MAGARROW_AND_GROUND_PENETRATING_RADAR_GPR_FOR_CRITICAL_MINERAL_EXPLORATION/links/655212bf3fa26f66f4fdcd95/EXPLORING-THE-POTENTIAL-OF-DRONE-BASED-GEOPHYSICAL-SURVEY-USING-MAGARROW-AND-GROUND-PENETRATING-RADAR-GPR-FOR-CRITICAL-MINERAL-EXPLORATION.pdf
7. Becken, M., Schmalzl, J., Schmidt, V., Kotowski, P., & WG, D. (2022). Testing a scalar magnetometer for airborne EM applications, In 29. Schmucker-Weidelt-Kolloquium für Elektromagnetische Tiefenforschung, Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e. V.., ISSN: 0947-1944, pp. 126–126.
https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/rest/items/item_5010190/component/file_5010192/content
8. Rochlitz, R., Kotowski, P., Becken, M., Schmalzl, J., Ronczka, M., Günther, T., ... & Vazquez, J. C. (2024). Joint inversion of drone-based semi-airborne data measured in two frequency ranges with scalar and vector magnetometers, In 30. Schmucker-Weidelt-Kolloquium für Elektromagnetische Tiefenforschung, Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e. V.., ISSN: 0947-1944, pp. 107–121.
https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/rest/items/item_5026147_3/component/file_5026149/content.
9. Rochlitz, R., Becken, M., & Günther, T., (2023). Three-dimensional inversion of semi-airborne electromagnetic data with a second-order finite-element forward solver, Geophysical Journal International, 234(1), ISSN: 1365-246X, pp. 528–545.
https://doi.org/10.1093/gji/ggad056
https://academic.oup.com/gji/article-pdf/234/1/528/49532791/ggad056.pdf
10. Jain, R., Bhu, H., Pandey, A. K., & Pour, A. B. (2024). Base-metal Exploration by using remote sensing, geology, geophysical, and geochemical datasets with clues from Ancient Mining: A Comprehensive Review on Aravalli-Delhi Fold Belt, Rajasthan, India, Advances in Space Research, ISSN: 1879-1948, pp. 1–85.
https://doi.org/10.1016/j.asr.2024.09.038
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117724009724/pdfft?md5=b7213a95d1130900a6e142d6f73b19e9&pid=1-s2.0-S0273117724009724-main.pdf
11. Stoll, J. B. (2021). Advances and future trends in drone-borne geophysics, In First International Meeting for Applied Geoscience & Energy Society of Exploration Geophysicists, ISSN (print): 1052-3812 ISSN (online): 1949-4645, pp. 3053–3057.
https://doi.org/10.1190/segam2021-3594442.1
12. Павлин Граматиков, Джулиан Тахов. Моторно-витлови групи и акумулаторни батерии за хексакоптер. Доклади от годишна университетска научна конференция 08–09 юни 2023 година, том 7, Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски”, 2023, ISSN:ISSN 2367-7481, с. 139–149.
13. https://d-aerospace.com/

SYNTHESIS OF A UNIFIED INFORMATION SPACE FOR CRITICAL INFRASTRUCTURE MONITORING

Zoya Chiflidzhanova, Evgeni Hubenov, Georgi Sotirov

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

Keywords: *information space, communication-information system, service-oriented architecture*

Abstract: *An approach for synthesizing a unified information space to support critical infrastructure management in a network-centric environment is presented. Information from a sensor network structured into information objects is provided within a communication-information system. The system is structured in mobile information-communication clusters. Aggregation of information in clusters and centralized processing of information objects flows is provided by a service-oriented architecture.*

СИНТЕЗ НА ЕДИННО ИНФОРМАЦИОННО ПРОСТРАНСТВО ЗА МОНИТОРИНГ НА КРИТИЧНА ИНФРАСТРУКТУРА

Зоя Чифлиджанова, Евгени Хубенов, Георги Сотиров

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

Ключови думи: *информационно пространство, комуникационно-информационна система, ориентирана към услуги архитектура*

Резюме: *Представен е подход за синтез на единно информационно пространство за подпомагане на управлението на критична инфраструктура в мрежово-центрична среда. Информацията от сензорна мрежа, структуриране в информационни обекти се осигурява в рамките на комуникационно-информационна система. Системата е структурирана в мобилни информационни-комуникационни клъстери. Агрегирането на информацията в клъстерите и централизираната обработка на потоци от информационни обекти е в ориентирана към услуги архитектура.*

Introduction

Critical Infrastructure (CI), considered as a complex hierarchical system structured in elements, connections and relationships between them, has a system goal (desired system property, result) of building and improving its management and protection [1]. The three main components of CI management are: organization, communication and information support, and information. The main objective of CI management information support is to improve the ability to make and implement informed decisions. The CI protection and management system operates as multiple subsystems with unified management, providing specific objectives with their own unified information space (UIS) [2]. The UIS is a collection of information resources and information access systems with structuring, navigation, and transport capabilities. For the purpose of the analysis, we assume a definition of the UIS as a communication environment in the form of a system with complex links between information sources, in which aggregated (clustered) sets of similar subject matter are formed and transformed as a result of information messages between them. If we accept the hypothesis of defining CI as a system or the effectiveness of protection as a result of the actions of multiple stakeholders united in a system of systems [1], then monitoring should be included in them in a common infrastructure (framework) [3,4]. The objectives of monitoring in the Critical Infrastructure Monitoring Information System (CIMIS) do not imply the management of processes related to CI protection, but only information for decision support and situational awareness.

Requirements for operation in a network-centric environment

The Net-Centric Environment (NCE) [5,6] is a framework for full human and technical connectivity and interoperability that enables real-time information assurance for all users of the CIMIS. The existing networks and systems that form the NCE provide a wide range of information services and functional capabilities within each of the Information and Communication Clusters (ICCs) for CI management and protection operations. The system architecture uses common services and architectures that have the following characteristics:

- The use of a common set of standards and rules is supported to provide a common, shared and secure infrastructure;
- Information services with the required level of protection can be used in any area of activity to provide situational awareness, regardless of which partner provided the information;
- Management of access to information resources is centralized and provides the ability to efficiently reuse information.

The NCE systems approach defines specific information structure characteristics of the CIMIS [7]. They should provide UIS and information awareness to all teams and structures that are involved in CI and emergency management:

- It is a system of systems in and of itself and as a subsystem within the overall CI protection tasks. The subsystems within the CIMIS are the communication subsystem (common transport network environment), the sensor area (sensors for converting of physical parameters into data and sensor access network), the control area of the technical means for sensor data collection including unmanned aerial vehicles (UAVs) and unmanned aerial systems (UAS). A subsystem for managing and monitoring of CIMIS networks and services is mandatory. All subsystems shall be accessible through the common transport environment. The monitoring system shall provide services for remote access to information and management of system functionalities, including system management.
- The services of the CIMIS are defined and described with the access method and user rights and can be used at any point in the address space of a communication environment. For each service, the service registry must specify the access method, the service provider, the processes that create the service and the information objects (IOs) on which it is based. An Information Object (IO) is a structure of single or composite data, positioned at different locations in the information space, in a volume and organization sufficient for their interpretation and processing. IOs can be divided by classes, subclasses, and subjects. Metadata or data about the data can serve to discover and identify information resources, to describe the structure, other attributes - origin, time of creation. IO is a data and metadata structure that does not require additional information for its processing and use.
- The information structures used by service providers must be built according to common rules and standards and allow reuse in other information systems or processes as "building blocks" [5], Fig. 1.
- Users of the system should be able to use services from the registry and developers of the services should have access to the IO.
- An information security system must be defined and operational in the system [4].

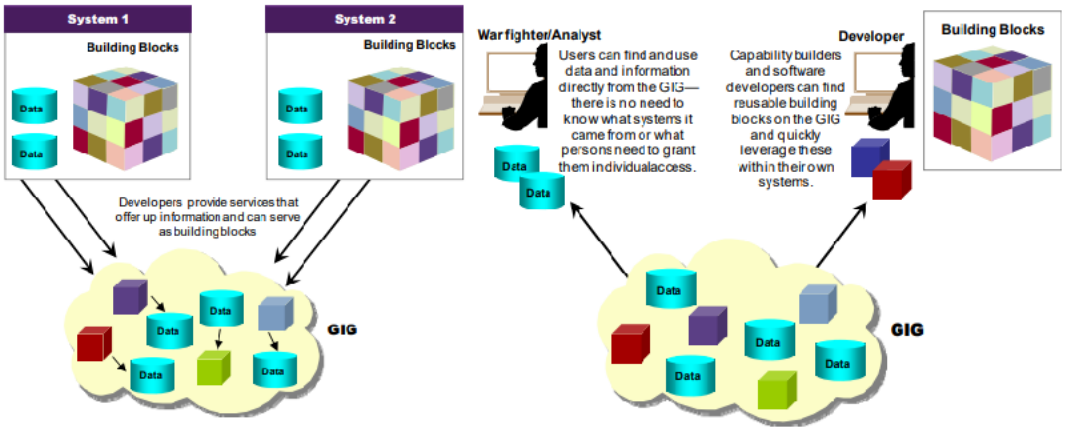


Fig. 1. Information objects in the terminology of network-centric architecture [4]

Structure and topology of a communication-information system

A communication-information system (CIS) is defined as a collection of technical (including communication facilities, security devices, cryptographic facilities and signal distribution media) and software facilities, methods, procedures and personnel. The elements of a CIS are organized to perform one or more of the functions of creating, processing, using, storing and exchanging (classified) information in electronic form [1]. A CIS is a complex distributed spatio-temporal discrete-event system that includes in its structure two interconnected subsystems (communication and information) that are designed for the purpose of transporting and processing flows of IOs [7].

The communication environment is based on a Virtual Private Network (VPN). OpenVPN technology provides encryption of traffic with a high level of protection and OpenVPN clients' access to it based on generated certificates. The OpenVPN client certificate can be considered as a group single-factor authentication and authorization for the users whose work is provided by the router (e.g., operators and personnel in a mobile UAV control workstation). The structure allows for a centralized management based on the ICCs, which are OpenVPN clients in the network plan structure.

The communication architecture of VPN ensures the operation of mobile and stationary information clusters, integration with other information systems (space segment, national networks related to CI protection), and provides an ability to present the results on the Internet. The requirements for NCE require the use of virtual private network technologies and transport through the Internet. For mobile ICC, transport is via Internet protocols over public mobile data networks (5G/4G/3G/2G). In geographic areas where there is no national mobile coverage from national mobile operators, satellite Internet can be used or Internet Protocol (IP) transport can be built on a radio channel. It is a prerequisite that all ICCs are connected to the IP backbone and operate in a network-centric environment.

Unified Information Space of the Monitoring System

The IOs streams have different topics and arrive at the CIS from different sources within or related to the CI domains. The purpose of CI monitoring is to detect, classify, identify, and monitor events in a timely manner and provide real-time situational awareness to support CI protection decision making. An event is defined as a change of system state in the discrete state space.

Monitoring and CIMIS processes are associated with a class of applications that continuously and indefinitely process CI from one or more sources. The sequence of data generated by the sources is called a data stream, which after transformation and processing is converted into a stream of information objects. An IO is a structure which contains data (from sensors), information (data) about the structure, context data (sensor, geographic coordinates and time of the notification), data about the data (metadata) - e.g. about variations of physical quantities, representation format.

For data in CIMIS, we take information from sensors that convert physical quantities - temperature, gas concentration, or radiation intensity. The context is information about how we can use this data - what quantities it reflects, what its source is. The data is transformed within the context and used as information.

The system objective of the CIMIS is to support critical CI event management decisions by providing information in an appropriate format and to different classes of users. For some of the users operating in the ICC area, the information is directly related to the performance of their functions and implies information interaction - the generation and use of real-time IO (sensor information) or objects entered into the information space by an operator. An exemplary scenario is the operation on CI elements in fire conditions and the generation of objects related to the extent and locations of the fire areas by both a UAV operator and sensors in real time. The computing resources in the ICC domain must provide information and network connectivity to users in the area locally without the need for an Internet connection. Decision support should also be available within a defined scope defined by user functions and artificial intelligence elements should also be available and accessible. This requirement follows directly from the NCE approach adopted for the construction of building ICCs.

The development of SOA in CIMIS as a network-centric environment defines how information and functionality will be shared. Shared services means that information sources and service providers make them available in the IO in a format suitable for reuse.

In SOA architectures, the integration between different applications evolves from point-to-point and applications connected to their own specific database in the pre-SOA architecture to a distinct integration and service layer. As a result of the transition to SOA, redundant functions and data are consistently reduced because all services are involved and all systems use the same data sources. The integration platform serves as an intermediate layer that provides data transformation and interaction between services from different subsystems within the UIS.

The integration platform uses an Enterprise Service Bus (ESB), which is a software framework for centralized and unified event-driven exchange of information objects between information subsystems. In a general sense, the ESB is also an element of the SOA architecture and as such is a distributed subsystem.

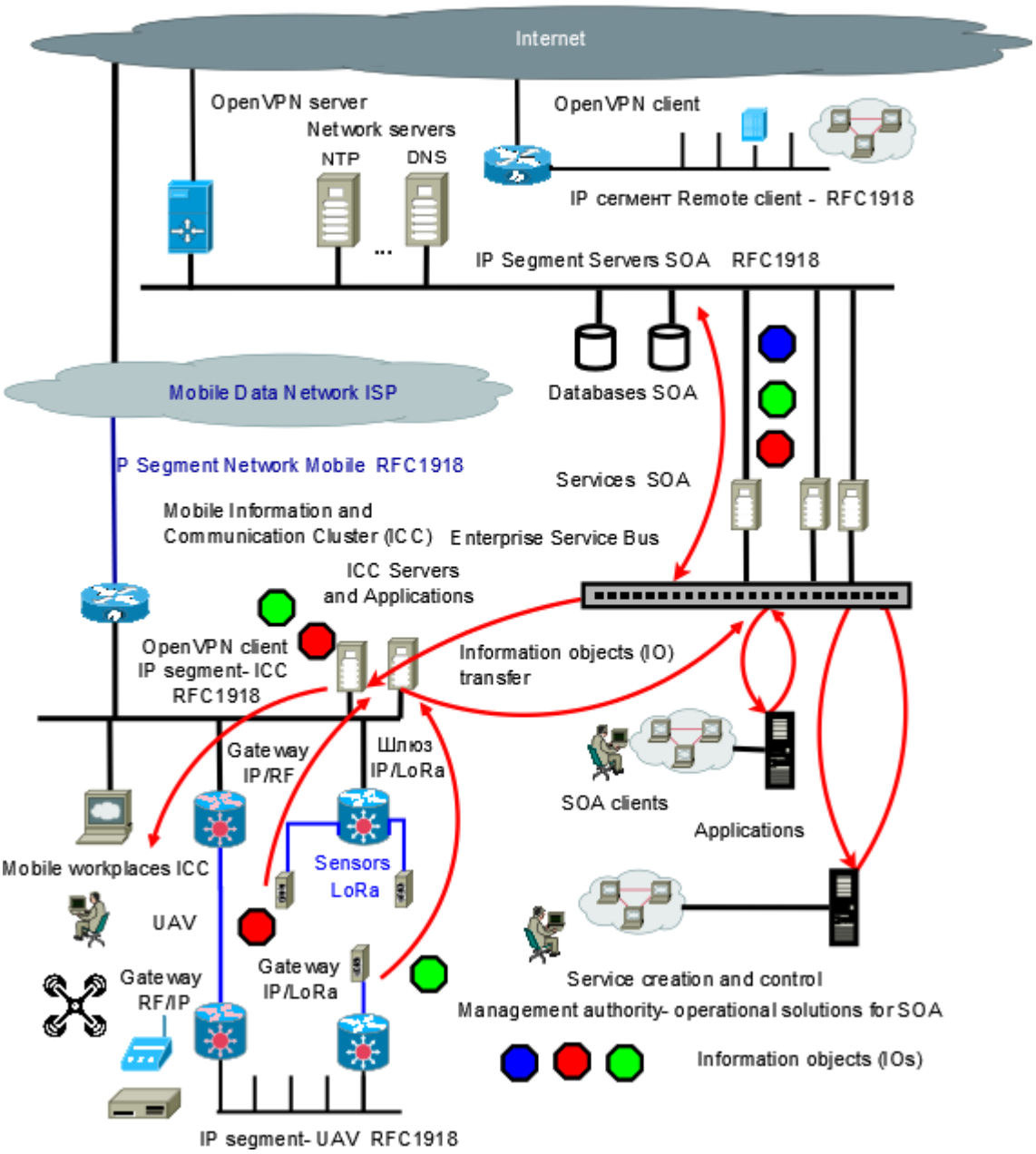


Fig. 2. Structure of CIMIS with mobile ICC and SOA for processing and representing IO flows

The Enterprise Service Bus (ESB) provides collaborative and interoperable capabilities with the following features:

- Multiprotocol. This is a solution to the problem of data exchange when different services need to exchange information using different protocols, making it easier to integrate different services into the system;
- Data transformations. Different data formats are possible within a protocol and must be transformed by the ESB for service interaction;
- Routing. This is a core part of the ESB. When something needs to be sent from one service to another, the bus provides the routing to the correct recipient;
- Routing logic, or conditional routing policy. Ensures that the routing of the message changes based on its content;
- Multiplexing. Sending the message to a list of recipients.

The UIS in the CIMIS structure provides situational awareness to decision makers in the handling and protection of CI. Based on the monitoring, IOs are created, processed and presented to create mental models for easy perception and interpretation of the results obtained in real time in the ICC. The aggregation and processing of information in SOA enables aggregated assessment with event correlation and prediction of CI protection processes. SOA's ability to create new IOs facilitates the integration of other information systems and provides the ability to develop new applications based on existing sites.

Conclusions

The structure of a mobile information system for critical infrastructure monitoring that provides a unified information space for real-time monitoring is discussed. The functions of the system include monitoring, detecting, classifying, recognizing, and tracking events related to critical infrastructure, forming and processing streams of information objects.

The communication environment is a virtual private network with IP address space and is protected by traffic encryption and certificate access. The system is implemented as a communication-information in mobile information-communication clusters and servers in the composition of a service-oriented architecture for centralized information processing.

The presence of processing and presentation information objects in the composition of each cluster provides situational awareness for field teams. The aggregation and service-oriented information processing architecture provides models for prediction and analysis. The structure provides a network-centric environment and a unified information space with reuse of information objects and procedures, and the ability to develop new applications.

Acknowledgments

This article was prepared within the framework of project p.1.1.6 and 3.1.7 of the National Science Program “Security and Defense” (adopted with № 731 of 21.10.2021) and according to Agreement № 01-74/ 19.05.2022 between the Ministry of Education and Science and Defense Institute “Professor Tsvetan Lazarov”.

References:

1. Димитров, Н., ВВМУ “Н. Й. Вапцаров“ Системен подход към критичната инфраструктура, Варна, 2019
2. Додонов, А. Г., Д. В. Ландэ. Живучесть информационных систем. К.: Наук. думка, 2011. — 256 с.
3. Department of Defense Standard Department of Defense Trusted Computer System Evaluation Criteria December, l985 DoD 5200.28-STD Supersedes CSC-STD-00l-83, dtd l5 Aug 83 Library No. S225,7ll
4. Evaluation criteria for IT security, ISO/IEC 15408, Third edition 2009-12-15, Corrected version 2014-01-15
5. Department of Defense Net-Centric Services Strategy Strategy for a Net-Centric, Service Oriented DoD Enterprise March, 2007, Prepared by the DoD CIO
6. Net-Centric Environment Joint Functional Concept Department of Defence USA, version 1.0 2005
7. Hubenov, E., Z. Chiflidjanova, Intelligent Monitoring and Protection System of Critical Infrastructure Based on Mobile Communication-Information System With Elements of Artificial Intelligence, Aerospace Research in Bulgaria. Vol. 36, 2024, Sofia, pp. 131–146.

МУЛТИМОДАЛНА БИОСЕНЗОРНА ЛАБОРАТОРИЯ ЗА ОЦЕНКА НА ОПЕРАТОРИ, РАБОТЕЩИ В ЕКСТРЕМНИ УСЛОВИЯ

Зоя Хубенова[1], Георги Сотиров[1], Любомир Алексиев[2], Деанна Александрова[2], Даниела Иванова[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: *БЛА, човешкия фактор, човек-оператор, екстремни ситуации*

Резюме: *Статията е свързана с изследване и оптимизиране на човешкия фактор при управление на безпилотни летателни апарати, приложими за мониторинг на значими за националната сигурност обекти с използването на иновативни методи за оценка на когнитивното и психоемоционално състояние на човека-оператор, работещ в екстремни ситуации. В предложената нова мултимодална биосензорна лаборатория ще се изследват оперативните качества на човека-оператор в ситуации с голямо работно натоварване и стрес. Целта е разработване на концепция и методика за работа на човека-оператор при управление на безпилотен летателен апарат, работещи в критични ситуации, свързана с подбора, обучението и тренировките на кадри за безпилотната авиация.*

HUMAN FACTOR RESEARCH IN UNMANNED AIRCRAFT MONITORING SYSTEMS OF CRITICAL SITUATIONS

Zoya Hubenova[1], Georgi Sotirov[1], Liubomir Alexiev[2], Deanna Aleksandrova[2], Daniela Ivanova[2]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]Military Medical Academy – Sofia
e-mail: zhubenova@space.bas.bg

Keywords: *UAV, human factor, human operator, extreme/critical situations*

Abstract*: The article is related to the study and optimization of the human factor in the control of unmanned aerial vehicles (UAVs), applicable for monitoring of significant for national security objects using innovative methods for assessing the cognitive and psycho-emotional state of the human operator (HO) working in extreme situations. The proposed new Multimodal Biosensor Laboratory (MBSL) will examine the operational qualities of the HO in high workload and stress situations. The objective is to develop a concept and methodology for the operation of the HO in the control of UAVs operating in critical situations related to the selection, training and training of personnel for unmanned aviation.*

Въведение

В съвременното техногенно общество важна роля играят ергатичните системи за управление на движещи се обекти, т.е. целенасочени системи „човек-машина-среда” [1]. В тези системи човекът-оператор (ЧО), взаимодействащ с технически средства, изпълнява целеполагащи функции, като контролира движението на обекта в ръчен, полуавтоматичен режим или като супервайзор. Към такъв клас автоматизирани системи могат да се причислят и безпилотните авиационни системи (БАС), които от системна гледна точка могат да се представят като йерархия от три нива [2]: на най-ниското ниво са сложните технически системи с БЛА, на второто – наземен комплекс, а на третото – техническото звено се обединява в ергатично с включен тренажор за обучение. Някои от съвременните проблемни области, свързани с развитието на тези системи са: увеличаване на степента на сложност при

управлението, повишаване степента на потенциални опасности от външната среда, увеличаване на обема на обработваната информация, намаляване на времето за вземане на решения, увеличаване на цената на грешките и др.

Работата на оператора в тези условия е изпълнена със сензорно, емоционално и интелектуално претоварване. Независимо, че тази техника е „безпилотна", то влиянието на човешкия фактор остава негативното в повечето случаи на катастрофи с БЛА. Въобще взаимодействието "оператор - БЛА" е различно за различните системи. При безпилотни системи с автоматичен полет по маршрут и кацане операторът само определя маршрута, като по време на полета не се намесва в управлението, а само контролира полета и дава команда за аварийно кацане. За безпилотни системи с възможност за ръчно управление операторът може да изменя маршрута по време на полета и да извършва различни маневри, да излита и да каца. В първия случай безопасността зависи от надеждността на всички части на системата, а при втория се добавя и квалификацията на оператора [3].

Формализацията, моделирането и изследването на човека в сложните ергатични системи се оказва важен интердисциплинарен научен проблем, изискващ използване на теория и методи от различни области на науката: кибернетика, когнитология, физиология, ергономия, системен анализ, биомеханика, компютърни науки и т.н. Цялостното решение на проблема с отчитането на човешкия фактор включва провеждането на инженерни и психологически изследвания, включващи задачи за изграждане на информационен модел на системата, избор на вида и характеристиките на контролите, организиране на работното място и много други задачи, важни за осигуряване на висока ефективност на системата човек-машина.

Професионален подбор и тренажорна подготовка на оператори на БЛА

Изследванията, свързани с комплексната оценка на оператори на дронове, обхващат различни аспекти, включително психофизиологични и професионални качества, както и използването на симулатори за обучение. Ето някои ключови области:

1. Психофизиологични качества: Изследванията разглеждат важни качества като възприятие и обработка на информация, концентрация и разпределение на вниманието, реакция на стрес, координация и др. Тези качества са критични за ефективното управление на дронове.

2. Професионални умения: Оценяват се техническите умения на операторите, включително способността им да управляват дронове в различни условия и да използват специализиран софтуер.

3. Използване на симулатори: Симулатори се използват за обучение и оценка на операторите. Те предоставят реалистични сценарии, които помагат на дистанционните пилоти да развият и усъвършенстват своите умения.

4. Обучение и сертификация: В България и други страни се предлагат сертифицирани курсове за обучение на оператори на дронове, които включват както теоретични, така и практически занятия.

5. Регулации и безопасност: Изследванията също така разглеждат как операторите спазват регулациите и процедурите за безопасност, за да се гарантира безопасна експлоатация на дроновете.

Устройства, оръжия и системи, които се управляват с помощта на дистанционно управление или компютър, създават не само нови възможности, но и нови проблеми - психологически, социални и правни. Особено внимание в света се отделя на различните аспекти на човешкия фактор (ЧФ) и ролята му в БАС за безопасността на полетите. Съвременният процес на обучение на тренажор се опира на понятието когнитивна обучаваща/образователна технология, свързана с целенасочено управление на когнитивните функции на обучаемия оператор (стажант) – висши мозъчни функции, такива като памет, внимание, психомоторна координация, реч, мислене, ориентация, планиране и контрол на висшата психическа дейност [4]. Когнитивната функция характеризира способността на човека към възприятие и преработка на информация, а също използването й за координация на неговите действия.

Подготовката на операторите за работа с БЛА – това е поетапен, управляем и контролиран процес, включващ двете основни функции, реализирани във всеки тренажор [5]: 1) възпроизвеждане условията на работа и 2) управление на това възпроизвеждане на реалните условия на функциониране от страна на инструктора със съпътстващ контрол над действията на оператора. В процеса на обучение на тренажор се решат следните задачи: подготовка на оператора; поддържане на навиците; професионален подбор на оператори за решаване на конкретни задачи; преподготовка на оператори; обработка на методики и програми за обучение. Тренажорите представляват модел на реални ергатични системи, предназначени за развиване

на навици за управление на сложна техника. В задачите на тренажора влизат създаване в оператора на илюзията за управление на обекта за сметка на възпроизвеждане на условията, в които той работи. Това възпроизвеждане на условията може да се планира предварително, като се отчитат психофизиологичните особености на отделните оператори и реалните ситуации, възникващи в процеса на функциониране на обекта. Това на свой ред позволява да се решават широк кръг задачи на професионалната подготовка, от първоначалното запознанство с БАС до създаване на навици за вземане и изпълняване на решения в сложни, в това число и извънредни екстремни ситуации [6].

Комплексно изследване на човешкия фактор в БАС чрез мултимодална биосензорна лаборатория

Управлението на БАС е комплексна и динамична дейност, изискваща технически умения, интегриране на различни умствени ресурси като памет, внимание и вземане на решения, както и адаптивност и стресоустойчивост. От друга страна, тази дейност е свързана с редица предизвикателства, които лесно могат да нарушат ефективното и безопасно представяне на човешкия фактор по време на полета.

В авиацията стресова ситуация може да възникне във всеки един момент от полета, като индивидуалната реакция към стресора е ключова по отношение на професионалното представяне на човека в летателната дейност, като неговото функционално състояние и психично здраве до голяма степен осигуряват безопасността на полета.

От една страна, работната станция за контрол и управление на БЛА като високотехнологично среда с множеството дигитални устройства, дисплеи и навигационно-пилотажни прибори, предоставя огромно количество данни за движението на летателния апарат и за състоянието на полетните системи в реално време. Информационното претоварване на човешкия фактор от източниците на полетна информация при пилотиране на БЛА се явяват предпоставка за възникване на грешки във възприятието, обработката на информацията и при вземането на решения, които са честа причина за инциденти с дронове, водещи до тежки материални щети, отнемане на човешки живот и с негативен ефект върху изхода на мисията. Повишеният риск от допускане на човешка грешка при пилотиране на дронове налага задълбочено изследване *на физиологичното и когнитивно състояние на пилота-оператор* по време на полет с неговите възможности и ограничения, поносимост към работно натоварване, устойчивост към стрес и умора – фактори, които повлияват изпълнението на летателните задачи.

От друга страна, изучаването и разбирането на личностните характеристики позволява да се оптимизира индивидуалното и екипното представяне и дава възможност да се управлява риска, като се идентифицират хора с личностни черти, благоприятни за безопасното и ефективно управление на БЛА. В тази връзка, при изследването на човека-оператор следва да се имат предвид както физиологичните параметри, така и личностните характеристики на операторите.

Предлаганата от нас концепция за създаване на *Мултимодална биосензорна лаборатория (МБСЛ)* към съществуващата „Лаборатория за подбор, обучение и контрол на оператори на безпилотни летателни апарати“ в ИКИТ-БАН включва комбинирано използване на неинвазивни физиологични и психологични методи за изследване на човека-оператор на БАС в сложна високотехнологична работна среда при кризисни ситуации [7]. В тази връзка се предвижда да се разширят нейните възможности, като се закупи допълнителна апаратура и съответстващ софтуер (Фиг. 1, 2).

<table>
<tr><th colspan="5">Налична апаратура</th></tr>
<tr>
<td>Тренажор C-Star, [SimLat]
  </td>
<td>Окулограф: Мобилен: Pupil Labs Core
  </td>
<td colspan="2">Окулограф: Стационарен: GazePoint GP3HD
  </td>
<td>ЕЕГ: каска Emotiv Epoc X
  </td>
<td>БЛА: E-flite Apprentice STS 1.5 m
  </td>
</tr>
<tr>
<td>Провеждат се курсове за обучение на кандидати за оператори на БЛА</td>
<td colspan="2">Записват се данни за окуломоторната активност в реално време. Изучава се разпределението на вниманието на оператора по време на полет.</td>
<td>Изследване на мозъчните функции чрез регистриране на ЕЕГ</td>
<td>БЛА за провеждане на полигонни изследвания</td>
</tr>
</table>

Фиг. 1. Налична апаратура в Лабораторията за подбор, обучение и контрол на оператори на БЛА

Предвидена за закупуване			
Безжичен ЕМГ апарат **ROAM Wireless EMG system** (едноканален) 	Мобилен окулограф: бинокулярен окулограф **Pupil Labs Neon Bundle** 	Настолен окулограф **Tobii 5** 	Система **за анализ на невропатия**: **VNS-Микро** 
Осигуряване на осем-часов запис на моторни/ /мускулни движения	Подобрена технология на Neon с възможност да работи във всяка среда (от слънчев ден до тъмнина) и при различни дейности.	Следващото поколение проследяване на очите и главата, проектирано за работа и игри на компютърни флайт симулатори.	Анализира се автономна нервна система на човек, като се регистрира вариабилност на сърдечната честота.
Батерия тестове **Vienna Test System** на д-р Шуфрид 	Дрон/коптер**: Matrice 30T Worry-Free Basic Combo** 	RealFlight **Evolution RC Flight Simulator with InterLink DX Controller** 	**Flight Simulator x-Plane 12, DVD Set** 
Широко гама от психо-логически тестове с възможност за адаптиране към разнообразни индивидуални изисквания	Коптер с тренажор за провеждане на лабораторни и полигонни изследвания	Полетен симулатор с повече от 300 различни самолета за летене (самолети, хеликоптери, дронове и др.) и с над 75 различни места за летене.	Нова версия от серията летателни симулатори за Windows и Linux. Съдържа реалистични пейзажи, детайлни пилотски кабини и е с възможности за аеродинамично моделиране

Фиг. 2. Допълнителна апаратура за дооборудване на Лабораторията

Физиологични изследвания

Използването на специфични инструменти и биосензори за мултимодално изследване на човешкия фактор дава възможност да направим обективни измервания и оценка на определени физиологични параметри, както преди и след изпълнението на полета, така и да бъде проследено и анализирано представянето на човека-оператор при управление на БЛА.

➢ **Преди полета:** Физиологично изследване на ЧФ за оценка на *функционалното състояние на организма* преди полета (входно ниво):

а) Оценка на зрително-моторно време на реакция на избор на оператора – регистрира се времето между разпознаването на зрителен стимул и началото на моторния отговор при подаване на последователност от зрителни стимули [8].

б) Компютърна стабилография (постурография) – неинвазивен метод за регистриране и анализ на постуралните колебания при изправен стоеж. Изследването включва оценка на статичното и динамично равновесие на човека при изправен стоеж, както и приносът на всяка от трите сензорни системи (зрителна, вестибуларна и проприоцептивна) в поддържане на равновесието [9].

в) Оценка на функционалното състояние на сърдечно съдова система (ССС) преди полета – ЕКГ метод на измерване на вариабилността на сърдечната честота (HRV). HRV е показател за вариациите във времевите интервали между последователни сърдечни удари (RR интервалите). Изследването ще се извърши с новозакупена по настоящия проект VNS micro апаратура (апаратура закупена от основния бюджет предвиден за Института по невробиология) с цел обективизиране на нивото на стрес на оператора.

➢ **По време на полета:** Физиологични изследвания при изпълнение на полета:

а) *Eye tracking* – окулографски метод за регистриране движенията на очите, измерване на диаметъра на зениците и честота на миганията за изследване на зрителното внимание и когнитивното натоварване на ЧО при управление на БЛА;

б) *ЕЕГ метод* (иновативна безжична система Emotiv), който позволява софтуерна обработка на ЕЕГ данните с изчисляване на т.нар. Показатели за ефективност (Performance metrics) – за определяне на когнитивното натоварване и ниво на стрес;
в) *HRV (Heart rate variability*) - Оценка на функционалното състояние на ССС по време на полета. Измерва се HRV през време на целия полет.
г) *ЕМГ* - за изследване на време на реакция
д) *FPV* (First person View) head tracker.

- **След полета:** Физиологични изследвания при изпълнение на полета**:**

а) Постурография;
б) Вариабилността на сърдечната честота (HRV) – измерва се по аналогичен начин, както преди полет.

Психометрични изследвания:

- **Психометрични изследвания преди полета:**

а) Short Stress Questionnaire (SSSQ) даващ оценка на субективните нива на напрежение или стрес, свързани с текуща задача, ситуация или опит.
б) Използване на батерия от Психометрични тестове на д-р Шуфрид ще предостави информация и персонализирана обратна връзка на операторите за техните нива на стрес, внимание и фокус, поносимост към умствено натоварване, стрес и умора: как тези фактори повлияват изпълнението на летателната дейност, повишават риска от човешка грешка, и по какъв начин операторите могат активно да работят за подобряване на своите умения и представяне.

Психологичните тестове предлагани от Vienna Test System (VTS) на д-р Шуфрид [10] са подходящ метод за изследване на *оперативните качества* на участниците, включително и на тяхното поведение в ситуации на голямо работно натоварване и стрес.

Чрез горепосочената тестова система предвиждаме да се направи оценка на: тридименсионалната пространствена ориентация - пространствена ориентация и мислене на операторите, необходима за ефективното и безопасно управлението на БЛА; тяхната стресоустойчивост - реакцията към бързо променящите се стимули и възможностите на авиатора да се справи с изпълнението на задачата при сложни условия; нивото на 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. [11]

Резултатите от психометричните тестове ще бъдат използвани като *предиктор за индивидуалните умения* и 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.

1. Тридименсионалната пространствена ориентация чрез тест „Adaptive 3-Dimensional Block Test (A3DW)“. Пространствената ориентация и мислене са необходими за ефективното и безопасно изпълнение на полетната задача, особено при управлението на БЛА, където пространствената отдалеченост на оператора и БЛА води до сензорна депривация и невъзможност да се почувстват въздействията на външната среда върху летателния апарат и неговия оператор.

2. Сензомоторни функции чрез тест „Sensorimotor coordination“. Този тест позволява да се направи оценка на координацията око-ръка, ръка-ръка, око-ръка-крак в тридименсионалното пространство, подходящ за използване при подбор на летателен състав, включително оператори на БЛА.

3. Бдителност чрез тест ”Vigilance (VIGIL)“. Тестът се използва за оценка на вниманието при изпълнение на продължителни и монотонни задачи, при които може да настъпи умора и влошаване на професионалното представяне. Умението на човек да поддържа оптимални нива на внимание и бдителност при липса на външни стимули е от изключително значение за ефективното и безопасно управление на БЛА.

4. Стресоустойчивост чрез тест “Determination test (DT)”. Стресът възниква като резултат от трудността на задачата, необходимостта да се поддържа вниманието и нуждата от реакция към бързо променящите се стимули. Тестът позволява да се направи оценка на стресоустойчивостта на човека-оператор и неговите възможности да се справи с изпълнението на задачата в динамични и сложни условия. Тестът може да бъде използван за оценка на поведението на ЧФ при различни нива на натоварване и стрес, и да бъде полезен при създаване и актуализиране на критерии за подбор на оператори на БЛА, където безопасността на полета играе ключова роля.

5. Петфакторен модел на личността (Big Five Structure Inventory). Тестът е предназначен за оценка на личността, чрез измерване на пет основни характеристики - емоционална стабилност, екстраверсия, отвореност за опит, съвестност и сговорчивост.

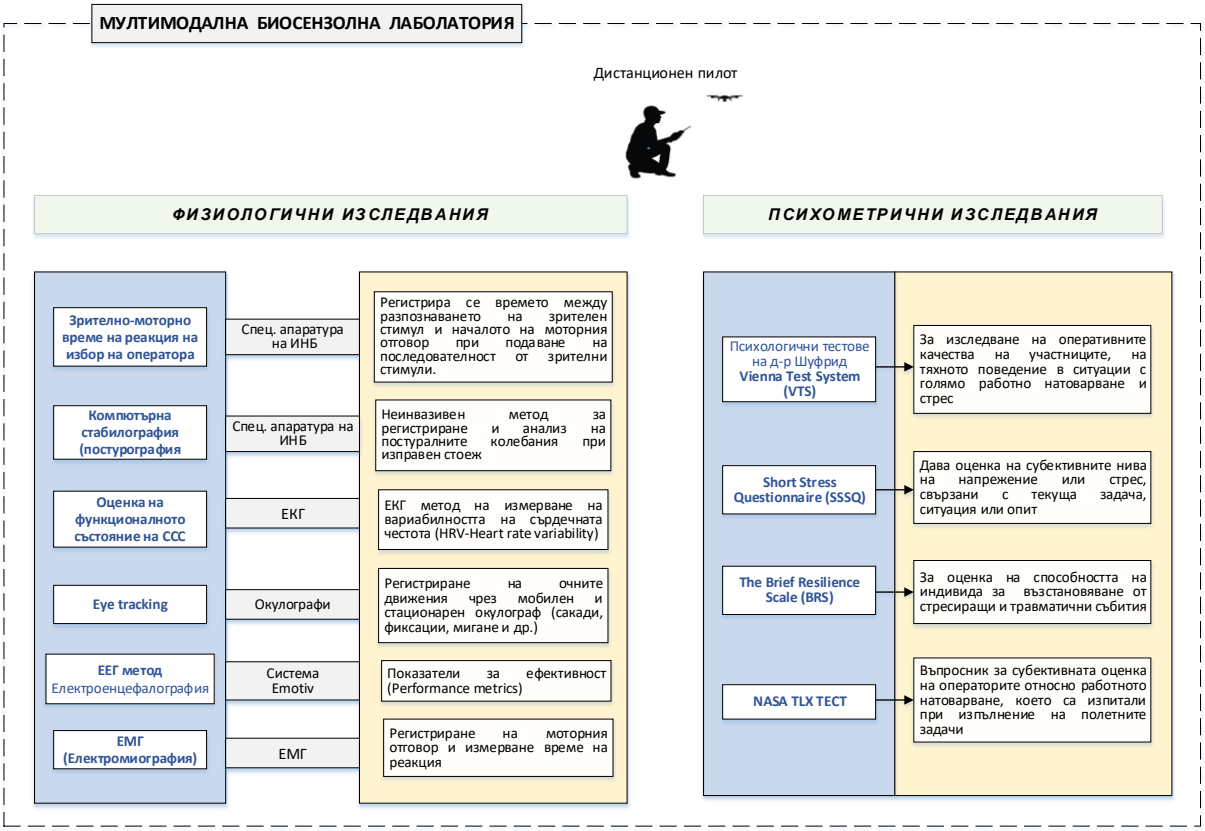
6. Multi-Motive Grid (MMG) – Тестът се използва за оценка на мотивите за постижения, власт и принадлежност, както и компонентите на мотива за постижения – надежда за успех и страх от провал.

Мотивацията е важен елемент от подбора на летателния състав, в това число и операторите на БЛА, тъй като тя оформя поведението на човека, и има въздействие върху комуникацията, вземането на решения, както и цялостното представяне.

➢ **Психометрични изследвания след полета:**

а) NASA TLX ТЕСТ – след полета попълване на въпросник за субективната оценка на операторите относно *работното натоварване, преживения стрес и затруднения,* които са изпитали при изпълнение на полетните задачи - тяхната субективна оценка след изпълнението на полета Изпълнител: авиационни психолози от ВМА

б) Short Stress Questionnaire (SSSQ) и The brief resilience scale (BRS) – за оценка на способността на индивида за възстановяване от стресиращи и травматични събития. Тези два инструмента позволяват да се оценят субективните възприятия за психическата устойчивост на оператора и могат да бъдат полезни при оценка на успеваемостта на начинаещи пилоти при многократни симулационни тренировки на кризисни ситуации.



Фиг. 3. Методи, апаратура и изследователски техники за МБСЛ

Ролята на човешкия фактор в осигуряване на авиационната безопасност е определяща, тъй като всички процеси по организирането, осигуряването и осъществяването на летателната дейност на БАС се осъществява от специалисти с различен профил и дейност. Високото психологическо натоварване, голямото количество актуална информация, недостатъчното съответствие между уменията на дистанционния пилот и характеристиките на БЛА и сложността на изпълняваните задачи, могат съществено да понижават надеждността на БАС.

Заключение

На настоящия етап използването на БЛА е едно от най-перспективните направления в областта на новите технологии. Все повече се разширяват техните приложения в гражданската област за наблюдение, прогнозиране, откриване и оценка на щетите при бедствия, аварии,

техногенни катастрофи; патрулиране на държавната граница, изследване на замърсявания във почвата, водите и атмосферата; проследяване на състоянието на растителността; аерофотограметрия; управление на трафика и т.н. България като член на ЕС и НАТО има ангажимента и възможностите да осъществява изследвания в областта на БАС, да провежда обучение на екипи (екипажи) на БЛА, както за военни, така и за граждански нужди, което ще бъде в съответствие с разработваната от Евроконтрол концепция за използване на БЛА.

Целта на МБСЛ е да покажат ролята на човека в осигуряване функционирането на БАС като основен фактор за безопасността и ефективността на БЛА. Интердисциплинарният характер на предлаганото проучване определя голямото разнообразие и обхват на различните методи и подходи, които обединяват усилията на специалисти от различни сфери на авиационното познание и безопасност: инженери, авиационни лекари, психолози, физиолози. Това непосредствено се свързва със следните насоки и задачи в изследванията на ЧФ:

– Изследване и моделиране на човека-оператор като компонент на сложна информационно-управляваща система (в частност БАС);

– Разработване на методика за комплексна оценка на ЧО при управление на БЛА, включително в критични ситуации;

– Създаване на експериментална БАС с работно място за дистанционен пилот;

– Изграждане на мултимодална биосензорна лабораторна станция с многопластов анализ на данни за изследване на функционалното и психо-емоционалното състояние на ЧО;

– Прилагане на съвременни неинвазивни физиологични методи за създаване на методика за комплексна оценка на функционалното състояние и оперативните качества на оператори при управление на БЛА;

– Изследване на оперативните качества на ЧО и анализ на неговото поведение в ситуации с голямо работно натоварване и стрес с използване на психологичните тестове;

– Създаване на сценарии за аварийни ситуации в полет с различни нива на трудност на полетната задача в полетен симулатор;

– Разработване на концепция и методика за работа на ЧО при управление на БЛА, работещи в критични ситуации, свързана с подбор, обучение, тренировки;

– Прилагане на практика резултатите във военната и гражданската безпилотна авиация.

Благодарности: *Настоящият доклад е изготвен в рамките на задача.* 1.1.6 *от ННП „Сигурност и отбрана" (приета с ПМС №731 от 21.10.21 г.) и съгласно Споразумение № Д01-74/19.05.2022 г. между МОН и Институт по отбрана „Проф. Цв. Лазаров".*

Литература:

1. Wickens, C., Helton W., Hollands J., Banbury S., Engineering Psychology and Human Performance, Copyright 2022
2. Getzov, P., Z. Hubenova, D. Yordanov, W. Popov, Modeling of the Human – Operator in A Complex System Functioning Under Extreme Conditions, Journal Aerospace Research in Bulgaria, V. 25, pp. 206–227
3. Wiener, E. L., & Nagel, D. C. (Eds). Human factors in aviation. California: Academic Press Inc, 1988, 684 p.
4. Сотиров, Г., З. В. Хубенова, П. Гецов, Анализ и оценка на човешкия фактор при експлоатация на безпилотни летателни системи, HEMUS 2018, И-во: Институт по отбрана „Проф. Ц. Лазаров"
5. Rasmussen, J. 1986. Information Processing and Human-machine Interaction: an approach to cognitive engineering. New York. Elsevier Science Ltd.
6. Metodiev, K., Unmanned Aerial Vehicle Mission Simulation in Flightgear, Nineteenth International Scientific Conference, SES-2023, Proceeding, pp. 113–118
7. Хубенова, З., К. Методиев, Г. Сотиров, Л. Алексиев, Изследване на човешкия фактор в безпилотните авиационни системи за мониторинг в критични ситуации, SES`2023, PROCEEDINGS SES 2023, ИКИТ-БАН, 2023 Стр.130–136
8. Yordanova, Y., T. Pulev, K. Kirilova, M.Ruteva, K. Stambolieva „Sport experience and visual motor reaction time of boxers". Journal of Physical Education and Sport, 23, 5, Art.146, 2023, ISSN:2247806X, DOI:10.7752/jpes.2023.05146, pp. 1176–1181
9. Христова, Л., К. Стамболиева, В. Бачев, А. Косев "Неинвазивен метод за анализ и оценка на двигателната активност на периферни мускули" Сп. Медицина и спорт, 7 (2), pp. 20–25, 2011.
10. Vienna Test System, SCHUHFRIED, https://www.schuhfried.com/vienna-test-system/
11. Aleksandrova, D., L. Aleksiev, D. Ivanova, Sotirov G., Z. Hubenova, K. Metodiev, Contemporary Methods for Assessing the Cognitive Load and Psycho-emotional State of Operators of Unmanned Aerial Vehicles: a Pilot Study, Official Journal of the Bulgarian Societyof Neurosonology and CerebralHemodynamics, Volume 20, Number 1, 2024, pp.15–26

S E S 2 0 2 4
Twentieth Anniversary International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
22 – 25 October 2024, Sofia, Bulgaria

НОВИ ФУНКЦИИ НА РАЗУЗНАВАТЕЛНИТЕ КОСМИЧЕСКИ ЛЕТАТЕЛНИ АПАРАТИ

Павел Пенев

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

***Ключови думи*:** *Космос, спътникови разузнавателни системи, аерокосмически системи, спътници-инспектори, маневриране, ситуационна осведоменост, безпилотна минисовалка „X-37B“*

Резюме: *Предложени са дефиниции на спътниковите разузнавателни системи и на аерокосмическите системи. Формулирани са традиционните функции на разузнавателните спътници. Дефинирано е предназначението на спътниците-инспектори, като използването им е показано с характерни примери. Обосновани са две нови функции, съответно свързани с инспектирането на спътници в Космоса и специализираното използване на безпилотната минисовалка „X-37B OTV“.*

NEW FEATURES OF RECONNAISSANCE SPACE VEHICLES

Pavel Penev

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

Keywords: *Space, satellite reconnaissance systems, aerospace systems, inspector satellites, maneuvering, situational awareness, unmanned shuttle X-37B*

Abstract: *There are proposed definitions of satellite intelligence systems and aerospace systems. The traditional functions of reconnaissance satellites are formulated. The purpose of reconnaissance satellites is defined and their use is illustrated with typical examples. Two new functions are justified, respectively related to the inspection of satellites in space and the specialized use of the unmanned minishuttle "X-37B OTV".*

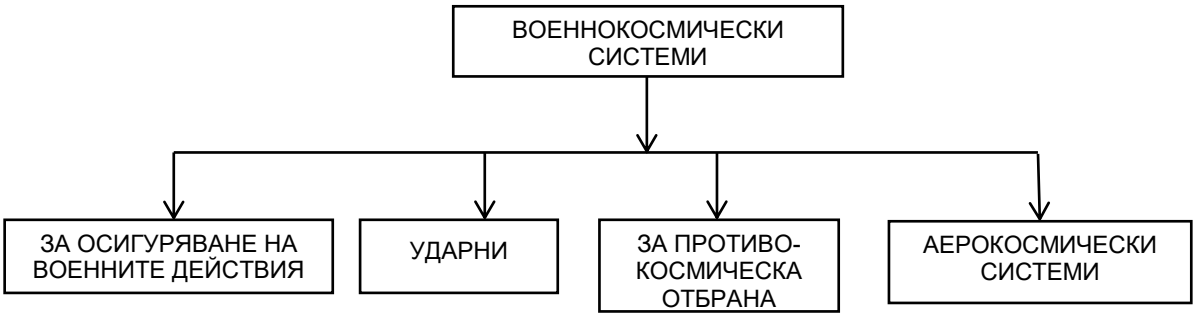
Космическото разузнаване е важно средство за формиране на външната и военната политика на държавата, като се осъществява с помощта на космически летателни апарати (КЛА).

Под названието КЛА се разбира летателен апарат (ЛА), предназначен за изпълнение на целеви задачи в Космоса. Наименованието КЛА е общо и включва широк клас от апарати, създадени през десетилетията на космическата ера на човечеството – от изкуствените спътници на Земята (ИСЗ), наричани още сателити, до космическите кораби, т. нар. „космически совалки“ и орбиталните станции.

Използването на Космоса за целите на разузнаването стартира в края на 50-те години и началото на 60-те години на XX век от страна на двете космически суперсили чрез използване на спътници за фоторазузнаване (ФР).

Паралелно със създаването и използването на ИСЗ и космически системи в началото на космическата ера възникват военнокосмическите системи (ВКС) представляващи големи (сложни) системи, които непрекъснато се усъвършенстват [1, 4]. Техните основни подсистеми на съвременния етап [3] са показани на Фиг. 1, като всяка от тях е с относителна самостоятелност и представлява система от системи (SoS).

Спътниковите разузнавателни системи (СРзС) са подсистеми на първия компонент на ВКС - за осигуряване на военните действия. С развитието на космическата техника и технологии във втората половина на 70-те години на XX век, за смяна на спътниците за ФР в САЩ поетапно започва въвеждането на спътници за оптикоелектронно разузнаване (ОЕР), а по-късно и за радиолокационно разузнаване (РЛР) и на съответните системи за ОЕР и РЛР.



Фиг. 1. Видове военнокосмически системи

През този период окончателно се очертава и конфигурацията на СРзС, представляващи съвкупност от функционално взаимосвързани и съгласувано действащи космически и наземен сегменти (за някои СРзС - и морски сегмент), предназначени за решаване на различни разузнавателни задачи от и в Космоса.

Според функционалното си предназначение СРзС се подразделят на три групи - за наблюдение, за електронно разузнаване (ЕР) и за ранно предупреждение старта на балистични ракети и ядрени взривове [1].

Съгласно класификацията на СРзС за наблюдение тези системи използват военни КЛА и ИСЗ с двойно предназначение, т. е. граждански спътници с възможности за решаване на специални (разузнавателни) задачи.

Анализът на горепосочените три групи системи, влизащи в състава на СРзС , позволява да се формулират четири функции на традиционните разузнавателни спътници.

Първата функция на разузнавателните спътници произтича от СРзС за наблюдение и може да се формулира като „получаване на изображения с висока (1–10 m) и свръхвисока пространствена разделителна способност (до 1 m) на разузнаваните обекти“. Понастоящем тази функция се реализира, както от спътниковите системи за ОЕР и РЛР, така и от редица комерсиални спътникови системи за оптикоелектронно и радилокационно наблюдение с двойно предназначение.

Втората функция на разузнавателните спътници произтича от СРзС за ЕР и може да е с формулировката „разкриване на комуникационните, радиолокационните и радионавигационните средства на други държави, на режимите им на работа и на местоположението им“.

Третата и четвъртата функции произтичат от третата група СРзС - за ранно откриване старта на балистични ракети и ядрени взривове. По-конкретно, третата функция на съответните разузнавателни спътници може да придобие формулировката: „ранно откриване старта на различни класове балистични ракети в мащаб на времето близък до реалния и определяне на траекторията им“, а четвъртата функция - формулировката: „следене за изпълнение на забраната за ядрени изпитания“ [8].

Наред с гореразгледаните четири традиционни функции, които се реализират от десетилетия от водещите космически държави, с развитието на СРзС и появата на по-модерни ВКС възникват и нови функции на разузнавателните КЛА.

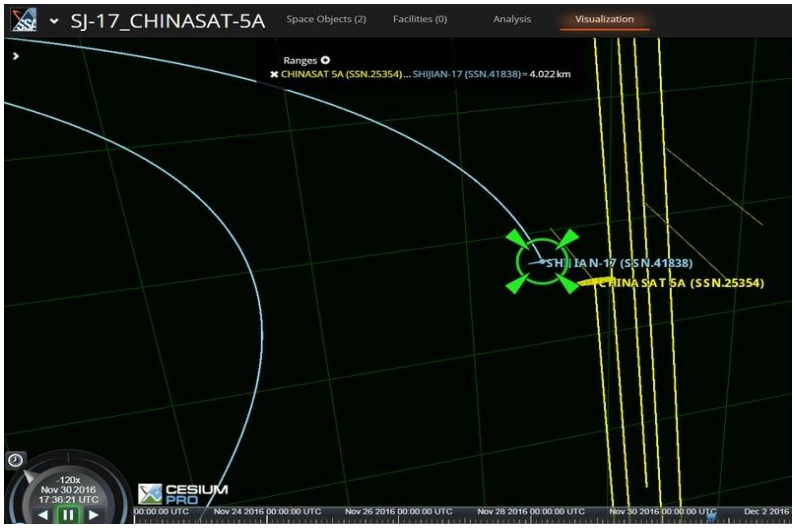
През второто десетилетие на XXI век стартира активно перспективно направление в развитието на ВКС - инспекционната дейност в Космоса с нов вид КЛА – спътници-инспектори (СИ), осъществяващи контрол на обстановката в Космоса за идентифициране на различни КЛА, намиращи се на околоземна орбита. Спътниците-инспектори са предназначени за следене и инспектиране на чуждестранни КЛА (т. е. за наблюдение, обследване, проверка, заснемане, дори „извличане“ на информация) с последващо предаване на получената информация в наземен център.

Информацията за инспекционните възможности и за конкретните характеристики на тези специализирани КЛА е класифицирана.

Според някои информационни източници СИ могат да осъществяват след съответно решение от наземен център и последващо въздействие върху инспектираните спътници (електронно, лазерно, огнево и др.) с цел извеждането им от строя (неутрализирането им).

Спътниците-инспектори на съвременния етап са обикновено малки КЛА (МКЛА), които имат способността да маневрират в Космоса, да променят параметрите на орбитите си и да се

сближават с други космически обекти на достатъчно разстояние с цел тяхното наблюдение и изучаване (Фиг. 2).



Фиг. 2. Маневриране и сближаване на китайския спътник-инспектор „Shiyan 17” с космическия летателен апарат „ChinaSat-5A“

На фигурата е изобразено, преместването по геостационарна орбита (ГСО) на китайският сателит „Shiyan 17” и сближението му до 100 km с китайския сателит „ChinaSat-5A“.

От началото на XXI век министерството на отбраната (МО) на САЩ успешно развива програми за създаване на СИ, носещи наименованието на секретните сателити „MiTEx“ и „PAN“, изведени на ГСО, съответно през 2006 г. и 2009 г. Според някои анализатори китайския спътник „Shiyan 17” (фиг. 2) е аналог на американския сателит „PAN” или на съвременния руски спътник „Луч/Олимп”.

Създаването на СИ за контрол на космическото пространство в интерес на американските ВВС по Програмата „GSSAP“ (Geosynchronous Space Situational Awareness Program - Програма за осведоменост за ситуацията на ГСО) стартира през 2014 г. За изпълнението ѝ в периода 2014 – 2016 г. са изведени четири сателита от серията „GSSAP”, които „дрейфуват” по-високо или по-ниско от пояса на ГСО, маневрират и вероятно заснемат спътници и други космически обекти. Програмата за ситуационна осведоменост „GSSAP” осигурява точно проследяване и определяне на характеристиките на определени КЛА, представляващи спътници-цели (СЦ).

На съвременния етап фотографирането на чуждестранни спътници не нарушава международното законодателство.

По-конкретно, през 2017 г. сателити-инспектори „GSSAP” са се сближавали на разстояния до 10–15 km до руския граждански спътник „Экспрес-АМ8” и руските военни ИСЗ „Луч” и „Благовест”, а в периода 2017 – 2018 г. – и до руските спътници „Радуга 1М”№3 и „Радуга 1М”№2.

На 21.01.2022 г. САЩ извежда на околоземна орбита следващите СИ „GSSAP-5” и „GSSAP-6”, които са способни да правят едромащабни снимки на други спътници.

Активна дейност по т. нар. „ситуационна осведоменост” се провежда и от Русия, като от 2013 г. се реализира програма „Нивелир” за СИ с няколко типа микроспътници и наноспътници. При това тези МКЛА, с използване на спътниковите платформи „Навигатор“ и „Карат-200“, могат да функционират на ниски кръгови и елиптични орбити, на високи елиптични и геостационарни орбити. Според руските схващания сближаването на СИ до 10 km спрямо СЦ е достатъчно за да се разгледа съответния противников КЛА в детайли, като получената информация се предава в наземен център за съответен анализ.

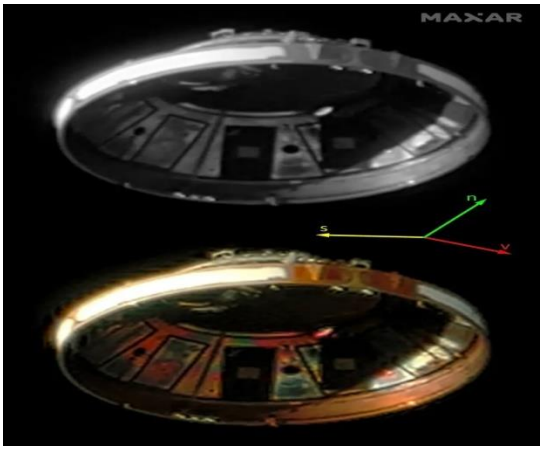
След 2015 г. в САЩ, в резултат на системно наблюдение на КЛА, се оформя предположение, че Русия използва периодично спътници-ретранслатори (СР) от многофункционалната космическа система за ретранслация „Луч“ с двойно предназначение като

спътници-инспектори на ГСО за прослушване на информацията от определени сателити. В тази връзка СР „Луч-5В“ (Олимп), от извеждането му на ГСО през 2014 г. в периода до 2023 г., регулярно се сближава и разполага около комерсиални комуникационни сателита с вероятната задача за подслушване на дейността им. За отбелязване е, че този СР се сближава и разполага до съответния СЦ на разстояние около 70 km (примерно 0,1°), което е значително по-близо от разстоянието, което се поддържа между съседните спътници на ГСО.

На 23.06.2017 г. от космодрума „Плесецк“ в околоземна орбита е изведен СИ „Космос-2519”, който е четвъртия маневриращ руски спътник по програмата „Нивелир“ за последните четири години. За този КЛА официално се обявява, че е предназначен за заснемане на Земята и космически обекти, като лети на височина от 600 до 650 km. От СИ „Космос-2519” месец след изстрелването му, по подобие на руска „Матрьошка” (сателит в сателита), се отделят два дъщерни спътника - отначало „Космос-2521”, за който официално се обявява, че е СИ, като от него по-късно се отделя „Космос-2523”. Единият от горепосочените дъщерни спътници - „Космос-2521”, се е сближил с КЛА „Космос-2486“, който е руският спътник за ОЕР „Персона № 2“ и извършва маневриране пред и зад него. Подобна схема (сателит в сателита) се повтаря през 2019 г., когато спътникът „Космос-2542” се оказва на същата орбита, на която лети разузнавателния сателит USA-245 за ОЕР „КН-11”. Това принуждава американският КЛА да промени параметрите на орбитата си. По-късно, на 06.12.2019 г. от „Космос-2542” се отделя дъщерният спътник (малък субспътник) „Космос-2543”, който прави опит за сближение с американския сателит за ОЕР „КН-11”, като извършва не по-малко от шест маневрирания и се сближава с този КЛА на разстояние, не по-малко от 100 метра.

Според американски източници на 01.08.2022 г. от космодрума „Плесецк“ с ракета-носител (РН) „Союз-2.1в“ е изведен в ССО СИ „Космос-2558” в момент, когато американският разузнавателен сателит „NROL-87“ („USA-326“) преминава над космодрума „Плесецк“. При това руският СИ заема почти същата орбита, като тази на „NROL-87“. Най-вероятно спътникът „Космос-2558” е СИ от противоспътниковата система „Нивелир“, който наблюдава поведението на новия американския сателит „USA-326“, като регулярно преминава под него и извършва периодично сближения на достатъчно близко разстояние, за да се получат (вероятно) подробни снимки на този СЦ.

За да се добие представа какво се наблюдава на снимките на СЦ (направени например от СИ „Космос-2558”), за съпоставка може да се използва изображение, получено от американския сателит „Maxar“ на отломки от японска ракета в околоземна орбита, до които прелита този КЛА (Фиг. 3). Предвид остоятелството, че сателитът „Maxar“ е предназначен да получава изображения на Земята, според астрофизика Макдеул, разгледал изображенията на фиг. 3, вероятно снимките на СЦ от СИ „Космос-2558” са още по-детайлни и качествени.



Фиг. 3. Изображение от сателита „Maxar“ на отломки на японска ракета в околоземна орбита

На 12.03.2023 г. от космодрума „Байконур“ е изведен на ГСО спътникът „Луч-5Х“, предназначен за тестване на върхови технологии за ретранслация и комуникация. Анализът на орбитата на спътника „Луч-5Х“ (Енисей-2) показва, че негов СЦ в този случай е сателита „Eutelsat-

9А“. Според някои оценки на КЛА „Луч-5Х“ предстои дълго придвижване през геостационарния пояс за среща с други сателити през следващите години. По мнение на космически експерти, спътникът „Луч-5Х“ е спътник-побратим на „Луч-5В“, но е модифициран както в платформата си, така и в полезния товар [5, 6].

По информация на МО на РФ на 17.05. 2024 г. от космодрума „Плесецк“ с РН „Союз-2.1б“ е изведен в ниска околоземна орбита) спътника „Космос-2576”. Според Пентагона този КЛА е СИ, способен не само да инспектира, но и да атакува и въздейства върху други спътници. Два месеца по-късно (на 15.07.2024 г.) в Русия са проведени изпитания на нов СИ с използване на специализирана апаратура на МКЛА.

На основание на гореизложеното може да се направи заключението, че първичната основна дейност на СИ е активното разузнаване на различни КЛА. В съответствие с формулираното предназначение на СИ и изложеното по-горе може да се дефинира нова пета функция на разузнавателните спътници – инспектиране на чуждестранни КЛА в полет с последващо предаване на получената информация в наземен център.

Представените на Фиг. 1 видове ВКС непрекъснато се развиват, като най-новият вид сред тях са аерокосмическите системи (АКС). *М*оже да се предложи следната дефиниция на АКС: „Съвкупността от функционално взаимосвързани и съгласувано действащи РН и въздушно-космически летателен апарат; самолет-носител, авиационна РН и спътник (противоспътникова ракета); самолет-носител и въздушно-космически самолет от една страна, както и наземен команден център, космическа и летищна инфраструктура от друга страна, предназначени за решаване на различни целеви задачи в Космоса, формира аерокосмическа система“.

На съвременния етап типичен представител на АКС [2], е секретният въздушнокосмическия кораб (ВКК) за многократно използване „Х-37В OTV“ (Orbital Test Vehicle - орбитален изпитателен апарат) - Фиг. 4, известен и като „безпилотна минисовалка“. Този КЛА по своята същност е орбитален самолет или ракетоплан с излетна маса над 5 тона и полезен товар (ПТ) до 900 kg, който стартира от Земята към Космоса с двустепенна ракета-носител „Atlas V“ (по-късно – с РН „Falcon-9“), а снижението и кацането му на писта на летище извършва в автоматичен режим като самолет.



Фиг. 4. Безпилотната минисовалка „Х-37В OTV“ по време на орбитален полет

Предвид високата характеристична скорост (ΔV) на ракетоплана „Х-37В OTV“ (3100 m/s) този орбитален самолет е в състояние активно да маневрира, да променя орбитата си от 200 до 750 km, да се сближава и отдалечава от КЛА, което осигурява изпълнението на прехват, контрол и овладяване на спътници.

Безпилотната минисовалка по способността да маневрира в Космоса и да променя параметрите на орбитата си напомня за съответните способности на СИ. Нейният ПТ позволява включването на борда й на разузнавателно оборудване за наблюдение на спътници. По такъв начин според космически анализатори ракетопланът „Х-37В OTV“ (фиг. 4) изпълнява и задачи на

космически инспектор. С отчитане на големия вътрешен обем на тази безпилотна минисовалка на борда й могат да се разполагат МКЛА, позволяващи експериментиране на ново разузнавателно оборудване.

На основата на опита от проведените шест мисии има основание да се предполага, че чрез този ракетоплан се извеждат в Космоса и се пускат в околоземна орбита разузнавателни МКЛА.

В съответствие със свойството на ВКС „многоцелевост и многофункционалност“ [4] безпилотният ВКК „X-37B OTV“ може да решава следните разузнавателни задачи: да изпълнява ролята на тежък спътник за разузнаване на земни (морски) обекти и за комуникация; да изпълнява ролята на СИ, осъществяващ прехвати на чуждестранни КЛА; да бъде носител на МКЛА, с последващото им извеждане на околоземна орбита за изпълнение на разузнавателни дейности. На основание на гореизложеното може да се направи заключението, че АКС „X-37B OTV“ по време на мисиите си изпълнява нова шеста функция на разузнавателните спътници – комплексно разузнаване чрез безпилотни минисовалки на чуждестранни КЛА и на обекти от земната или морската повърхност.

Реализирането на разгледаните функции на разузнавателните КЛА способства, както за подобряване на ситуационната осведоменост в Космоса, така и за постигане на информационно превъзходство в мирно време, при кризи и конфликти.

Литература:

1. Пенев, П. Космос и сигурност, С., ВИТАЛ, 2014, 390 стр.
2. Пенев, П., Загорски, Н. Аерокосмическите системи „Въздушен старт“ на съвременния етап, Aerospace Research in Bulgaria, 2022, p. 80–94.
3. Пенев, П. Влияние на първия полет на човек в космоса върху военните аспекти на използването на космическото пространство, МНК „Космос. Екология. Сигурност.“, 2021, стр. 101–107.
4. Пенев, П. Нови направления в развитието на военнокосмическите системи, МНК „Космос. Екология. Сигурност.“, 2022, стр. 100–107.
5. Hendrickx B. Olimp and Yenisei-2: Russia**,**s secretive, November 20, 2023.
6. Hendrickx B. Olimp and Yenisei-2: Russia**,**s secretive, November 27, 2023.
7. AVIATION WEEK & SPACE TECHNOLOGY, 2022-2024.
8. https://ru.wikipedia.org/wiki/
9. https://aboutspacejornal.net

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА СЪЗДАВАНЕ НА ПРОМИШЛЕНОСТ ИЗВЪН ЗЕМЯТА

Павел Синилков

Институт по роботика – Българска академия на науките
e-mail: sinilkov@mail.com

Ключови думи: *космическа промишленост, астероиди, метали, полезни изкопаеми*

Резюме: *Създаването на промишленост в космическото пространство е една от големите цели за прогреса на човечеството. В доклада са разгледани някои основни въпроси, свързани с възможността за добива на полезни изкопаеми от космически обекти и конкретно на редки метали от астероиди. Особен интерес представляват полиметалните астероиди с размери до около 0,1 km, които е възможно да бъдат транспортирани до орбита около Земята (или Луната), след което да бъдат доставени на земната или лунната повърхност за добив на метали от тях. Тези астероиди имат аналогично съдържание на материя, каквото е съдържанието на ядрото на нашата планета. Така вместо да сондираме на големи дълбочини за добив на руда с ниско съдържание на ценни метали от земните недра, то може тези метали да извлечем от руда от астероиди, в които концентрацията е значително по висока.*

Условията на микрогравитация и физико-химичните процеси във вакумната среда на космоса, също позволяват да се произвеждат материали с уникални физико-механични характеристики, различни от тези, получени в земни условия.

OPPORTUNITIES FOR CREATING INDUSTRY OUTSIDE EARTH

Pavel Sinilkov

Institute of Robotics – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: sinilkov@mail.com

Keywords: *space industry, asteroids, metals, minerals*

Abstract: *The creation of industry in outer space is one of the great goals for the progress of mankind. The paper examines some basic issues related to the possibility of extracting minerals from space objects, and specifically rare metals from asteroids. Of particular interest are polymetallic asteroids with sizes up to about 0.1 km, that can be transported to orbit around the Earth (or the Moon), and then delivered to the Earth or Moon surface for the extraction of metals from them. These asteroids have a similar content of matter to the content of the core of our planet. So instead of drilling at great depths to extract ore with a low content of valuable metals from the Earth's interior, we can extract these metals from asteroid ore, in which the concentration is significantly higher.*

The conditions of microgravity and physico-chemical processes in the vacuum environment of space also allow producing materials with unique physico-mechanical characteristics different from those obtained in terrestrial conditions.

Въведение

Овладяването на космическото пространство не е самоцел за човечеството. Космическото пространство предлага несметни богатства. Думата „богатство“ е земното отношение на хората към определени предмети и вещества. В космическото пространство, това биха били материали, с уникални характеристики, които са създадени благодарение на специфичните космически условия и които не е възможно да бъдат синтезирани в земни условия. Същото „богатство“ се отнася и за добива на редки за Земята метали, като злато, кобалт, никел и тези от платиновата група, например, добивът им от астероиди [1], а също добивът на гориво за космическите кораби и на енергия в космически условия.

Досега са осъществени само три мисии за вземане на проби от астероиди и връщането на пробите на Земята. Данните, оповестени за тези мисии в различните източници силно се различават, както за количеството проби, върнато на Земята, така и за стойностите на самите мисии. Това са мисиите:

- Hayabusa – около 100 mg астероиден прах е доставен на Земята (в някои източници се говори за 1500 прашинки с диаметър 10–100 μm, от които само 26 броя са предадени за изследване) [2];
- Hayabusa 2 – доставена проба от 5 g астероиден прах (5 g фрагменти от астероида Рюгу) [3];
- OSIRIS-REx – доставена проба от 121,6 g астероиден прах (проба от астероид Бену) [4].

Съществуващата понастоящем технология за пътуване в космическото пространство е основния фактор, който оскъпява мисиите. Икономически погледнато, от една страна стоят похарчените пари за тези мисии ($200 милиона за Hayabusa [5], $800 милиона за Hayabusa 2 и $1,16 милиарда за OSIRIS-REx, стойността е приблизителна, защото мажоритарно е финансирана от фирмата Локхийд Мартин), а от друга страна резултата е само общо около 127g астероиден материал, т.е. изключително скъпо и неоправдаващо похарчените средства начинание. Тези три мисии показват, че съществуващите технологии за транспорт в космоса не могат да се използват за промишлен добив на полезни изкопаеми от Космоса, поради нерентабилност.

В космическото пространство съществуват три вида астероиди, в зависимост от материята, от която са образувани:

- астероиди с преобладаващо въглеродно съдържание. Те са най-голямата група и съставляват около 75-80% от всички астероиди в Слънчевата ни система;
- астероиди с преобладаващо силикатно съдържание. Те се срещат значително по-рядко от въглеродосъдържащите астероиди;
- третата и най-малка група астероиди са полиметалните. Те са около 7,5–8% от всички срещани астероиди. Те предизвикват най-голям интерес сред хората, тъй като тяхното съдържание е най-ценно за нас.

Срещат се астероиди и с друго съдържание на материята, като пример може да бъдат посочени астероиди със съдържание на вода (лед), астероиди със смесено съдържание (вода и силикати), и други. Към настоящия момент интересът на човечеството е насочен изцяло към полиметалните астероиди и тяхната преработка в космически условия.

В последно време астероидът Психея стана изключително интересен от гледна точка на добива на ценни метали от небесни тела, намиращи се край Слънцето, което е от решаващо значение за бъдещето на нашата цивилизация. Този астероид е един от най-големите и богати на метал в Слънчевата система. [6]



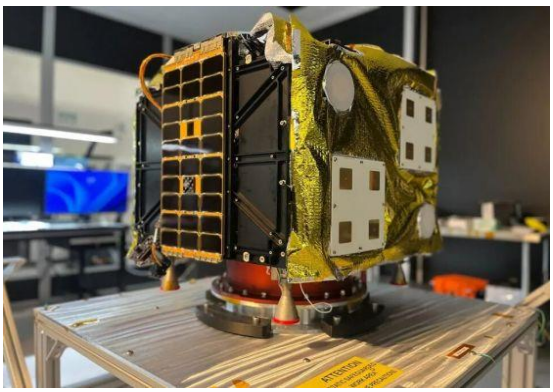
Фиг. 1. Астероидът Психея

Астероидът Психея се намира в основния пояс на астероидите, разположен между Марс и Юпитер с орбита 2,5–3,3 астрономични единици (АЕ) от Слънцето. Интересът към този астероид се подхранва от факта, че той е полиметален, като е богат на злато, платина, никел, желязо и др. Стойноста на златото на астероида е оценено на повече от 4 квадрилиона долара ($\$4.10^{15}$), а на желязото – над 100 квадрилиона долара ($\$100.10^{15}$) [7].

Досега космически апарати не са били изпращани към астероида Психея. Мисията се подготвя от 2014 г. и NASA има договор със SpaceX за изстрелване с Falcon Heavy, космическият апарат “Психея” трябва да навлезе в орбитата около астероида през януари 2026 г., като по време на полета ще се използва и гравитацията на Марс. Предвижда се апаратурата, монтирана

на борда на космическия кораб, да изучава характеристиките на астероида най-малко 21 месеца. Корабът ще се доближи най-близо до 85 km от повърхността на астероида, с цел да съберат данни за магнитното поле, да направят снимки на повърхността и да измерят гама-лъчението и потока неутрони.

След изследването на астероида Психея, отново се заговори за възможността за добив на полезни изкопаеми от космическите тела, намиращи се в слънчевата система [8]. Калифорнийската стартъп компания AstroForge ще даде своя принос за комерсиализиране на минното дело в космоса с първата частна мисия Odin за кацане на друго тяло извън системата Земя-Луна. Тя има предишни мисии, като първата демонстрационна мисия на компанията през април 2023 г., Brokkr-1, мисия на стойност 10 милиона долара, която тества технологията за извличане и рафиниране на платина от астероид с помощта на слънчева енергия [9].



Фиг. 2 Космическият кораб Odin на AstroForge

AstroForge се стреми да стане първата фирма, която ще добие метали от астероид. Компанията обяви две мисии, свързани с добив на метали от небесно тяло, които са планирани да стартират в рамките на една календарна година. Компанията си партнира с други фирми, включително OrbAstro, Dawn Aerospace и Intuitive Machines.

В космоса има милиони или милиарди подобни метеорити с различен размер и различен състав на метално съдържание. Както беше отбелязано вече, достигането до космическото пространство, само по себе си е скъп процес. Все още извеждането на космически кораб в околоземна орбита е сложен и скъп процес. Известните досега технологии не са в състояние да осигурят ефективен транспорт при евентуално начинание за създаване на промишленост за добив на метали и други полезни изкопаеми от астероиди и други небесни тела. През последните години обаче все повече се публикуват изследванията, свързани с предлагането на ракетни двигатели, работещи на нови физически принципи, на усъвършенствани методи на филтриране на метали в условията на космоса, на нови методи за скачване с астероиди и т.н.

Транспортна дейност между Земята, Луната и космически обекти

Когато става въпрос за транспортна дейност, която да обслужва космическа промишленост на извънземни обекти, преимуществено астероиди, то трябва да се има предвид, че това не са екстремни машини по смисъла на [10]. Тук става въпрос за космически кораби, които да се използват многократно, като стартират от Земята или Луната и имат възможност да излитат и кацат от и на различни космически обекти, които да могат да преодоляват огромни разстояния и да са енергийно ефективни. Транспортната дейност не трябва да изисква използването на огромни и скъпо струващи космодруми, обслужвани от голям персонал и скъпа обслужваща техника.

Космическите кораби, когато кацат на космическо тяло където няма създадена база, независимо дали е изследователска или промишлена, е необходимо да имат битово-команден модул с неголями размери, подходящ за ограничена по време работа на космонавтите, които ще извършват подготвителна дейност за добив на метали и други полезни изкопаеми, след което тази работа се поема от роботи. При решаването на тази задача се изхожда от нужното пространство с което трябва да се увеличи обема на космическия летателен апарат, кацайки върху грунда на космическото тяло и начина на увеличение. При необходимост за по-продължително пребиваване на космонавтите, то е необходимо да бъде създадена постоянно обитаема база на космическия обект.

Промишлена дейност на космическия обект

Промишлената дейност се осъществява на съответното космическо тяло (астероид, луна на планета и др.) на определен участък. Когато се говори за промишлена дейност, то се има предвид преди всичко за промишленост без участието на космонавти, т.е. цялата дейност да се извършва автоматично, с използването на роботи. Присъствие на космонавти се предполага да има само на първоначалните етапи по подготовката на самото производство (добив на полезни изкопаеми), а също в пилотираните космическите кораби, които осъществяват доставката на добитите материалите до Земята.

Гравитационните сили, както и атмосферното налягане, играят ключово значение при добива на метали и други полезни изкопаеми, особено на транспортната дейност върху космическия обект. В условията на астероид с незначителна гравитация, където силата на тежестта е незначителна, не биха могли да се използват транспортни средства от втори клас на контакт с грунда [11], тоест колесно или верижно движение. Трябва да се има предвид, че най-големият наблюдаван досега астерод Психея, има гравитация от 0,06 m/s², т.е. 6 хиляди пъти по-малка от тази на Земята. Незначителна гравитация изключва възможността за стабилна нормална реакция, а от там и така нужните сили на триене. Тази разлика в силите на триене е само един от аспектите, с които условията на астероид се различават от тези при земните условия.

В Роботиката се застъпва идеята, че роботите са транспортни средства. Тяхната основна задача е да манипулират материали в пространството. Разбира се съществуват промишлени роботи, които изпълняват и технологични задачи, но такива, че тези технологични задачи пак са пречупени през призмата на манипулацията. В космическата промишлена дейност манипулацията на материали е широко застъпена. Като се започне от захващането на малки космически обекти, премине се през позициониране на технологична техника и подготовка и складиране на готовата продукция за транспорт, и се стигне до проучвателни действия на нови терени.

По-конкретно, при задълбочен конструктивен анализ се забелязва, че крачното мобилно движение е универсално движение за реализиране на локомоция на различни космически тела за места без пътища [12]. Съществува и още едно предимство на крачното мобилно движение – устройствата, с които се осъществява, така наречените манипулатори (крака), могат да осъществяват и други функции [13]. Това са:

- някои обслужващи функции на корпуса на транспортното средство;
- стабилно и надеждно закрепване към грунда;
- подбор на точка за контакт с грунда;
- омекотяващ контакт и т.н.

Развитието на роботиката в последните години [14] изведе този отрасъл на много високо ниво. Въведоха се много нови материали, технологии и методи на управление. Докато преди около тридесет години един промишлен робот се управляваше от електроника поместена в табла с огромни размери, то днес управляващата електроника се помества обикновено в някое от механичните звена на самия робот. Математическото управление се свежда до промяна на стойностите на Трансформационни матрици, което занижава значително изискванията към хардуера и дава възможност за пресмятане в реално време. С помощта на роботиката могат да се решават редица задачи в космонавтиката и конкретно в промишлената дейност на космически обекти.

Друга възможност е производството на материали с уникални качества в космически условия, които е невъзможно да бъдат ситезирани в земни условия. Това е възможно поради специфичните условия в Космоса - микрогравитация и отсъствието на атмосферно налягане.

На „лов“ за астероиди

Астероидите са сравнително малките космически тела с размери до 1 000 km. Интерес представляват тези, с размери до около 0.1 km, които е възможно да бъдат транспортирани до орбита около Земята (или Луната), след което да бъдат доставени на земната или лунната повърхност за добив на полезни изкопаеми от тях.

Както бе отбелязано по-горе, особен интерес представляват полиметалните астероиди. Предполага се, че този тип астероиди са късове материя, обособили се в космическото пространство след сблъсък или поредица от сблъсъци на големи космически обекти. По този начин много от астероидите имат аналогично съдържание на материята, каквото е съдържанието на ядрото на нашата планета. Така вместо да сондираме на големи дълбочини за добив на руда с ниско съдържание на ценни метали от земните недра, то може тези метали да бъдат извлечени от руда от астероиди, в които концентрацията е значително по-висока.

Космическата промишленост на първо място се нуждае от база. Това е място, където да се осъществява самата дейност. Мястото се подбира в зависимост от редица критерии и обикновено то не съвпада с местонахождението на източника на материала (астероида). Всичко това показва, че за да съществува космическа промишленост е необходимо да съществува надеждна логистична система, надеждно технологично оборудване и надежден енергиен източник.

В космическото пространство съществуват огромен брой и различни по размери астероиди. Много от тях са с малки размери и могат да бъдат захванати и складирани в товарния отсек на космическия кораб, след което тези астероиди могат да бъдат транспортирани до:

- Земята, за извличане на полезните вещества от тях;
- околоземна орбита, като вид складово стопанство, в контейнери, преди да бъдат спуснати на Земята за обработка;
- Луната, където да бъдат обработени и само полезните елементи да бъдат доставени на Земята, а отпадъците да останат на повърхността на Луната;
- хелиоцентрична орбита, където да има изградена орбитална преработвателна промишленост, използвайки безграничната енергия на Слънцето за рафиниране на полиметалното съдържание.

Заключение

Към момента изключителен интерес представлява добивът на метали от астероиди, като злато, кобалт, никел, както и метали от платиновата група. Както вече бе споменато, логистиката играе важна роля в реализирането на тази дейност. Връзката на космонавтиката с роботиката, двигателостроенето, ядрената физика и други науки, ще даде нов облик на конструкциите на космическите кораби, които ще бъдат използвани за космическо прозводство на метали и на други материали. Ще се промени напълно начина им на излитане и кацане при значително съкращение на разходите. Космодрумите ще се променят инфраструктурно и функционално. Бъдещите космически технологии ще позволят да бъдат снижени значително разходите за пътуване в космическото пространство. Това ще позволи да бъдат добивани ценни редки метали и други суровини, които са необходими на дейността на човека.

Започналата дейност по създаване на компактни рафинерии за метали в космическото пространство, води началото към една нова индустрия. Това е индустрия за създаване на технологично оборудване за условията на Вселената. По-точно за конкретните условия на избраното място за създаване на космическа промишленост.

Освен добива на метали от астероиди, нужно е и производството на горива и енергия за добива, логистиката и за промишлената преработка на полезните изкопаеми от астероидите. Тук слънчевата енергия е на първо място, като източник на енергия, а също и водата на космически обекти, която да се използва за добива на кислород и водород. Тези нови разработки ще допринесат за заместване на земните източници на енергия с космически такива. Така логистиката в космическото пространство няма да се налага да се реализира с заредени горивни резервоари от началната точка на старта и да приключи с връщане обратно без презареждане.

Литература:

1. Mining asteroids: A new method to extract metals from asteroids https://phys.org/news/2023-10-asteroids-method-metals.html#google_vignette
2. Surfaces of Small Particles Preserved over the Four-billion-year History of Asteroid Itokawa, https://www.isas.jaxa.jp/en/topics/000546.html
3. Проби от астероида Рюгу хвърлят нова светлина върху историята на Слънчевата система, https://nauka.offnews.bg/kosmos/probi-ot-asteroida-riugu-hvarliat-nova-svetlina-varhu-istoriata-na-sla-193518.html
4. Surprising Phosphate Finding in NASA's OSIRIS-REx Asteroid Sample https://www.nasa.gov/missions/osiris-rex/surprising-phosphate-finding-in-nasas-osiris-rex-asteroid-sample/
5. Hayabusa asteroid-sample capsule recovered in Outback, https://www.bbc.co.uk/news/10307048
6. Asteroid Psyche. A Unique, Metal Rich World https://science.nasa.gov/solar-system/asteroids/16-psyche/
7. Залог за квадрилиони долари: Компанията, която иска да извлича метали от астероиди, https://www.economic.bg/bg/a/view/zalog-za-kvadrilioni-dolari-kompanijata-kojato-iska-da-izvlicha-metali-ot-asteroidi- (достъп на 20.10.2024 г.);
8. Наблизо има астероид на стойност 100 000 квадрилиона долара. Защо не го експлоатираме, https://hicomm.bg/news/nablizo-ima-asteroid-na-stoinost-100-000-kvadriliona-dolara-zashcho-ne-go-eksploatirame.html
9. Първата частна мисия до астероид ще бъде на стартъп за добив на ценни метали https://nauka.offnews.bg/kosmos/parvata-chastna-misia-do-asteroid-shte-bade-na-startap-za-dobiv-na-tce-200701.html

10. Синилков, П., Екстремните машини като част от роботиката, Международна научна конференция “Роботика и Мехатроника 2024”, София, 2024 г.
11. Синилков П., Някои възможности на транспортните средства при добива на полезни изкопаеми от космически тела, 66-та Международна конференция на МГУ, София, 2023.
12. Синилков, П., Необходимостта от връзка на космонавтиката и роботиката при добива на полезни изкопаеми от космически тела, Международна научна конференция “Роботика и Мехатроника 2024”, София, 29–30 Октомври 2024.
13. Синилков, П., Аналитичен синтез на механизми за крайници на крачещи мобилни роботи, Научни известия на научно-техническия съвет по машиностроене, XXI Международна Конференция Роботика и Мехатроника, 2011, ISSN 1310–3946, гр.Варна 19–21 Септември, 2011.
14. Синилков, П., Аналитичен синтез на механизми за крайници на крачещи мобилни роботи, Научни известия на научно-техническия съвет по машиностроене XXI Международна Конференция Роботика и Мехатроника, 2011, ISSN 1310–3946, гр.Варна 19–21 Септември, 2011.

IS DIGITAL HEALTH COST EFFECTIVE

Malina Jordanova[1], Todor Uzunov[2], Frank Lievens[3]

[1]Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria
[2]Medical Park Bad Camberg, Bad Camberg, Germany
[3]LIEVENS-LANCKMAN BV, Belgium & AKROMED FRANCE Sarl, France
e-mail: mjordan@bas.bg

Keywords: *Digital health, cost effectiveness, digital health economics*

Abstract: *The goal of this paper is to outline in brief the achievements in the field of digital health economics and answer two questions: 1. Is digital health cost effective? 2. Is it possible to evaluate the potential monetary effect of digital health application priory its implementation?*

ИКОНОМИЧЕСКИ ЕФЕКТИВНО ЛИ Е ЕЛЕКТРОННОТО ЗДРАВЕОПАЗВАНЕ

Малина Йорданова[1], Тодор Узунов[2], Франк Ливенс[3]

[1]Институт за космически изследвания и технологии, Българска академия на науките
[2]Vitos, Germany
[3]LIEVENS-LANCKMAN BV, Белгия & AKROMED, Франция
e-mail: mjordan@bas.bg

Ключови думи: *електронно здравеопазване, ефективност на разходите, икономика на електронно здравеопазване*

Резюме: *Целта на статията е да обобщи постижения в областта на икономика на електронно здравеопазване и да се опита да отговори на два въпроса: 1. Икономически ефективно ли е електронното здравеопазване? 2. Възможно ли е предварително да се оцени потенциалният финансов ефект от въвеждането на електронно здравеопазване преди внедряването му?*

Introduction

The total health expenditure, i.e. the sum of public and private health expenditures of all countries, as a percentage of their Gross Domestic Product, varies from country to country reaching ~12% in some countries. Globally the total health expenditures have gradually but steadily increased during last decades and soon will reach the level when the burden of these costs will be no more bearable.

One of the strategic promises of digital health is to increase the efficiency in health care, i.e. to ensure high quality medical care 24 hours a day, 7 days a week to all citizens, no matter where they are and at the same time decreasing the total health expenditure.

The wide application of digital health solutions, especially during and after the COVID pandemic, is advertised as the way to achieve better healthcare for all citizens and to approach the Universal health coverage goal. Yet, before applying digital health more widely, politicians and decision makers would like to know whether this is economically feasible.

The debate whether digital health applications are cost effective or not is of high importance as digital health developments and widespread applications are part of the strategy of many local governments as well as international bodies such as WHO, ITU, the European Union. The issue of cost effectiveness is vital. A correct, non-biased answer will allow the decision makers to make a final choice in favor or not of a digital health implementation.

The Goal

The goal of this paper is to summarize in brief the latest achievements in the field of digital health economics and to answers two questions:

- Is cost effectiveness a specific characteristic of digital health?
- Is it possible to evaluate the potential monetary effect of digital health application priory to its implementation?

Digital Health Economics

The role of digital health economics is to assess the costs and benefits of digital health initiatives over time and for several stakeholders, including citizens, patients, careers, healthcare professionals and other workers, healthcare provider organizations and payers.

The cost effectiveness is evaluated in two ways.

The first method is by applying modeling. Usually, the modeling steps on an evaluation of the effects of already performed patients' studies. The economic effects are calculated as disability adjusted life years (DALYs). There are many doubts about this approach despite of the fact that the authors recommend to assess the uncertainties using probabilistic sensitivity analyses with Monte Carlo simulation [1–2]. At present, this method is not widely used.

The second way to access the economic effects of digital health is based on evaluation of real applications of digital health services. The limitation of this method is that the analysis of data, especially if the sample size of patients is big, needs lots of efforts, time and staff. Yet, this is the most reliable approach in digital health economics. The examples and the discussion below is based on this method.

Initial studies on cost effectiveness [3–4] were quite conclusive: there is no good evidence that digital health is a cost effective way to deliver healthcare. Some authors are even underlining that the costs are greater for remote consultations than for conventional outpatient appointments, although they supported the hypothesis that losses in productivity are lower.

Data from more recent publications focusing on large-scale studies (i.e., based either on a large number of consultations or years of experience), although very rare, are just the opposite, to cite some:

- In India, the incremental cost per DALY is evaluated comparing the application of the Reducing Maternal and Newborn Deaths (ReMiND) intervention to routine maternal and child health programs. The enormous benefit of this study is that its sample size exceeded 317,000 patients and covers a period of 10 years, i.e. 2011–2020 [5]. The findings of the study suggest strongly that the digital mHealth intervention, as part of the ReMiND program, is cost saving from a societal perspective. The implementation of the ReMiND intervention resulted in a reduction of 312 maternal and 149,468 neonatal deaths. From a health system perspective, ReMiND incurs an incremental cost of 12,993 Indian rupee (INR), i.e. about USD 205 per DALY averted and INR 371,577 (USD 5865) per death averted. The authors concluded that the ReMiND intervention is definitely cost effective and should be considered for replication elsewhere.
- A Japanese study, examined the long-term effects of the use of digital health on the residents of Nishi-aizu Town, Fukushima, Japan for a period of eight years. The authors compared medical expenditure and days of treatment between telecare users and non-users when chronic diseases (stroke, hypertension, heart failure and diabetes) are concerned. Applying rigorous statistical methods, including system generalized method of moments, they have revealed that digital health users require fewer days of treatment and lower medical expenditure than non-users [6].
- A detailed survey revealed the outcome of a five-year period of tele-pediatric consultations. The authors underlined that the total cost of providing 1,499 consultations was $ 955,996 (Australian dollars). The estimated potential cost of providing an outpatient service to the same number of patients at the Royal Children's Hospital in Brisbane was $ 1,553,264; thus, digital pediatric services resulted in a net saving of approximately $ 600,000 to the health service provider [7].
- A strong evidence for the efficacy of digital health in clinical outcomes comes from home-based monitoring of chronic disease management, hypertension and diabetes. There is also reasonable evidence that digital health is cost saving and with an equal quality to face-to-face care in emergency medicine, and is beneficial in surgical and neonatal intensive care units, as well as patient transfer in neurosurgery [8–10].

Why are there such contrasting views of digital health cost effectiveness? The answers are:

- Limited data or analyses based on articles published predominantly in English and based on studies of the English speaking communities;
- Small sample sizes – the majority of the studies are based on samples with less than 100 participants;
- Less than 30 % of the studies reported the time frame, which is an essential parameter in determining long-term cost benefits;
- Poor evaluation tools and lack of well accepted methodology;
- Long time to breakeven point;
- Constant technology and cost changes.

How to Evaluate the Economic Effect

It is necessary to underline that there is no a well-accepted and recognized methodology to estimate the economic effect of digital health implementation [8].

One of the easiest ways is to calculate the return of investment (ROI). ROI is a performance measure used to evaluate the efficiency of an investment or to compare the efficiency of a number of different investments. To calculate ROI, the benefit (return) of an investment is divided by the cost of the investment; the result is expressed as a percentage or a ratio.

Another, and probably a better way to judge the economic efficiency, especially in the most widespread cases – those of introducing distant consultations and/support, is by taking into consideration:

- The number and distance for referrals, personal and transportation costs, depreciation, taxes and insurance of vehicles and communication costs;
- The additional administration, technical, clinical staff and communication costs;
- Considering in addition all costs to operate the system plus depreciation and capital ones and dividing this sum by the number of activities developed.

Thus, it is possible to calculate the digital health unitary activity cost.

In addition, the digital health activity efficiency, defined as the percentage of avoided referrals thanks to the use of digital health application in relation to the total number of referrals, can also be calculated.

While comparing costs to benefits, it is possible to establish the minimum number of digital health activities (breakeven point) needed for the system to become economically viable and to evaluate the savings [11].

Yet another relatively easy way of estimating the economic effect is proposed in Brazil [12]. The method is derived from enormous pool of digital health interventions – over 33 000 teleconsultations and 850 000 distant ECG analyses provided in 86 municipalities during a period of 5 years. The authors take into consideration the unitary referral variable cost (RVC) and referral distance (D):

(1) $RVC = a.D,$

where “a” represents transportation cost per kilometer.

It is necessary to underline that only the variable cost is applied in this analysis. The reason is simple – digital health applications do not reduce 100% of the referrals and consequently the fixed costs, such as personal and depreciation, are kept and the savings are based only on variable cost.

The saving (S) of digital health, applications have to be calculated as:

(2) $S = \eta . RVC = \eta . a.D,$

where η is the digital health activity efficiency which is the percentage of avoided referrals thanks to the use of digital health in relation to the total number of referrals. Thus, for a unitary digital health activity (UAC) to be economically efficient its cost has to be at least equal to the saving (S) or

(3) $UAC = \eta . a.D$

Based on this simple equation, the minimum distance for cost effectiveness has to be:

(4) $D_{min} = UAC/\eta.a$

If the referral distance for a specific city/medical practice/municipality, calculated as weighted average of number and distance of referrals, is greater than D_{min} the implementation of the system will result in savings for that particular city/medical practice/municipality.

Based on their experience, the authors had calculated that the minimal distance for economic feasibility is 20 km, i.e. introduction of digital health applications that will reduce referrals further than

20 km is economically feasible. In addition, it has to be noted that as the activity efficiency increases or the unitary activity cost decreases even short references distances makes the system economically acceptable.

The authors continue their cost evaluation studies [13–15], designed especially for municipalities in low resource areas in order to allow their health managers to evaluate in advance the effect of digital health application on municipal health budget.

They underline that as most of the referral costs, especially in the field are of digital health consultations, are related to patient transportation, knowing (a) the distance to the referral centers and (b) the average number of patients referred from one city is possible to pre-calculate the economic aspects of introducing specific digital health applications in every single case.

Conclusions

Today, many countries are facing serious problems in adapting the health care system and securing adequate health service for all, 24/7. Digital health care becomes paramount.

Unfortunately, most of digital health studies reported findings that are skewed towards improving the effectiveness of the intervention via digital applications. There are considerable gaps on evidence on digital health cost efficiency. That is why it is essential to pay special attention to the available large-scale studies, no matter from which part of the world they originate.

References:

1. Jo, Y, A. E. LeFevre, K. Healy, N. Singh et al. Costs and cost-effectiveness analyses of mCARE strategies for promoting care seeking of maternal and newborn health services in rural Bangladesh. PLoS ONE 14(10): e0223004, 2019, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223004
2. Cleghorn, C., N. Wilson, N. Nair et al. Health Benefits and Cost-Effectiveness From Promoting Smartphone Apps for Weight Loss: Multistate Life Table Modeling. JMIR Mhealth Uhealth. Jan 15;7(1): e11118, 2019.
3. Whitten, P. S, F. S. Mair, A. Haycox et al. Systematic review of cost effectiveness studies of telemedicine interventions. British Medical Journal, 324, 1434–1437, 2002.
4. Black, A. D., J. Car, C. Pagliari et al. The Impact of eHealth on the Quality and Safety of Health Care: A Systematic Overview. PLoS Med 8, (1), 2011: e1000387. doi:10.1371/journal.pmed.1000387.
5. Prinja, S., P. Bahuguna, A. Gupta et al. Cost effectiveness of mHealth intervention by community health workers for reducing maternal and newborn mortality in rural Uttar Pradesh, India. Cost Eff Resour Alloc 16, 25, 2018, https://doi.org/10.1186/s12962-018-0110-2.
6. Akematsu, Y., S. Nitta, K. Morita, M. Tsuji Economics of eHealth: Measuring the Long-term Effect of Telecare,, In M. Jordanova & F. Lievens (Eds.), Global Telemedicine/eHealth Updates: Knowledge Resources, Publ. ISfTeH, Luxembourg, Vol. 6, 256–259, 2013.
7. Smit, A., P. Scuffham, R. Wootton. The costs and potential savings of a novel telepaediatric service in Queensland. BioMed Centra Health Service Research, 7, 35, 2007, https://bmchealthservres.biomedcentral.com/articles/10.1186/1472-6963-7-35.
8. Khan, Z. A., K. Kidholm, S. A. Pedersen et al. Developing a Program Costs Checklist of Digital Health Interventions: A Scoping Review and Empirical Case Study. Pharmacoeconomics. Jun; 42(6) 663–678, 2024, https://link.springer.com/article/10.1007/s40273-024-01366-y
9. Gentili, A., G. Failla, A. Melnyk et al. The cost-effectiveness of digital health interventions: A systematic review of the literature. Front. Public Health 10:787135, 2022, https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2022.787135/full
10. Stanic, T., T. Saygin Avsar, M. Gomes. Economic Evaluations of Digital Health Interventions for Children and Adolescents: Systematic Review. J Med Internet Res. Nov 3, 25:e45958, 2023, https://www.jmir.org/2023/1/e45958/.
11. Figueira, R. M., M. B. M. Alkmim, M. P. Abreu et al. Operational Costs in a Large Scale Telehealth Service, In M. Jordanova & F. Lievens (Eds.), Global Telemedicine/eHealth Updates: Knowledge Resources, Publ. ISfTeH, Luxembourg Vol. 4, 98–103, 2011.
12. Figueira, R. M., M. B. M. Alkmim, M. P. Abreu et al. Introducing Economical Criteria for Telehealth Implementation: An Application at the Telehealth Network of Minas Gerais, In M. Jordanova & F. Lievens (Eds.), Global Telemedicine/eHealth Updates: Knowledge Resources, Publ. ISfTeH, Luxembourg Vol. 5, 184–190, 2012.
13. Oliveira, C. R. A., A. P. B. D. S. Etges, M. S. Marcolino et al. COVID-19 Telehealth Service Can Increase Access to the Health Care System and Become a Cost-Saving Strategy. Telemed J E Heal h. Nov 23, 2022.
14. Souza, G. F., R. M. Figueira, M. B. Alkmim et al. Teleophthalmology Screening for Diabetic Retinopathy in Brazil: Applicability and Economic Assessment. Telemed J E Health. Mar; 26(3):341–346, 2020.
15. Etges, A. P. B. D. S., B. S. Zanotto, K. B..Ruschel et al. Telemedicine Versus Face-to-Face Care in Ophthalmology: Costs and Utility Measures in a Real-World Setting. Value Health Reg Issues. Mar; 28: 46–53, 2022. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212109921001023.

Session 3

Remote Sensing and Geoinformation Systems

Chairman: Prof. Lachezar Filchev
Secretary: Chief Assistant Dessislava Ganeva

MAPPING URBAN HEAT ISLAND INTENSITY IN GREEK REGIONAL UNITS: A REMOTE SENSING APPROACH USING THE UTFVI INDEX ON GOOGLE EARTH ENGINE

Paraskevi E. Gkatzioura, Konstantinos Perakis

Department of Planning and Regional Development, School of Engineering,
University of Thessaly
e-mail: pgkatzioura@uth.gr

Keywords: *Urban Heat Island; Google Earth Engine; Land Surface Temperature; Landsat; Sustainable Development Goals;*

Abstract: *The Urban Heat Island (UHI) phenomenon is a significant environmental issue, due to rapid urbanization and affecting many Greek regional units, where the replacement of natural areas with urban structures leads to increased land surface temperatures. This rise in various temperature impacts like the microclimate, quality of life, and public health.*

In this study, the intensity and extent of the UHI phenomenon, were analyzed in selected Greek regional units for the period 2019-2023. The analysis conducted in the present research, utilizing the Google Earth Engine platform and Landsat 8 satellite data, combined with the Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI), generated multitemporal assessment of UHI trends. The results revealed an increased land surface temperature in urban areas compared to surrounding rural regions, according to UHI intensity classification levels.

The present research, highlights the importance of using cloud-based geospatial tools like Google Earth Engine, in order to monitor urban temperature, increase over time and underscores the need for sustainable development strategies to mitigate heat stress to improve living conditions in urban areas.

Introduction

The increase in atmospheric temperature, combined with the Land Surface Temperature (LST), plays a decisive role in the climate crisis (Mustafa et al., 2020). Since the second half of the 20th century, the rapid urbanization of cities, together with technological advancement, human activities, and the general increase in population, has been directly linked to the economic development and urban sustainability of cities (Filho et al., 2017).

The intensification of this phenomenon has become the most critical challenge of the 21st century globally, as dramatic changes in land cover were made to address issues related to urban economic growth and residents' needs (Rimal et al., 2018).

The Urban Heat Island (UHI) phenomenon is inextricably linked to both human activity within cities and productive activities, and it has been extensively studied across a wide geographic range (Kim and Brown, 2021). The existence of the phenomenon became noticeable in the 19th century when major urban centers in northern Europe began to take shape. The intensity of the phenomenon is influenced and co-shaped by a set of factors (economic, social, topographical) (Nuruzzaman, 2015), making its long-term study crucial for mitigating its impacts across various sectors and achieving environmental restoration.

The thermal effects have a direct economic impact on each society, highlighting the necessity of quantitatively assessing the UHI phenomenon in order to adopt the best practices for mitigating and addressing it.

In this paper, we have developed a Google Earth Engine (GEE) algorithm for determining Land Surface Temperature and analyzing the Urban Heat Island effect at 30 m spatial resolution using Landsat 8 images. Our analysis also incorporates the Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI), which provides insight into the thermal stress experienced by urban areas.

All processes are developed within the cloud computing platform of Google Earth Engine (GEE), which facilitates large-scale geospatial data analysis (Gorelick et al., 2017). GEE allows users to access vast repositories of satellite imagery and other spatial datasets, while taking advantage of the platform's computational infrastructure to perform complex spatial and temporal analyses efficiently (Kumar & Mutanga, 2018).

This cloud-based architecture eliminates the need for extensive local computing resources, enabling the processing of global-scale datasets in near real-time. The scalability of GEE supports a wide range of applications, including environmental monitoring, land use and land cover analysis, climate change assessment, disaster management, and urban planning (Amani et al., 2020).

Study Area and Data

UHI and UTFVI estimation was carried out for three Regional Units in the center part of Greece. Specifically, this study concerns the Regional Units of Magnesia, Larissa, and Phiotis. The first two administratively belong to the Region of Thessaly, while the Regional Unit of Phiotis belongs to the Region of Central Greece.

Table 1. GDP and Population Data for Selected Regional Units of Greece (2020-2021)

Regional Unit	GDP (2020)	Population (2021)
Larissa	3,864.93	305,979.00
Heraklion	3,782.01	305,017.00
Achaïa	3,661.82	268,963.00
Boeotia	3,005.32	210,778.00
Euboea	2,853.49	206,831.00
Magnesia	2,354.66	177,448.00
Aetolia-Acarnania	2,223.00	156,706.00
Chania	2,026.39	151,317.00
Phiotis	2,017.77	149,896.00
Korinthia	1,942.16	146,080.00

The aforementioned regional units are among the ten urban areas with the highest population density and economic activity, based on Gross Domestic Product (GDP) and data from the 2021 Census[1] regarding population distribution. In determining these areas, spatial parameters were also considered, such as the identity of the regions and their degree of polycentricity. The regions of Attica and Thessaloniki were excluded from the analysis due to their polycentric nature, which significantly affects Urban Heat Island phenomenon, as well as most island regions, with the exception of Crete and Euboea, due to their high population concentration (Papadam, 2015).

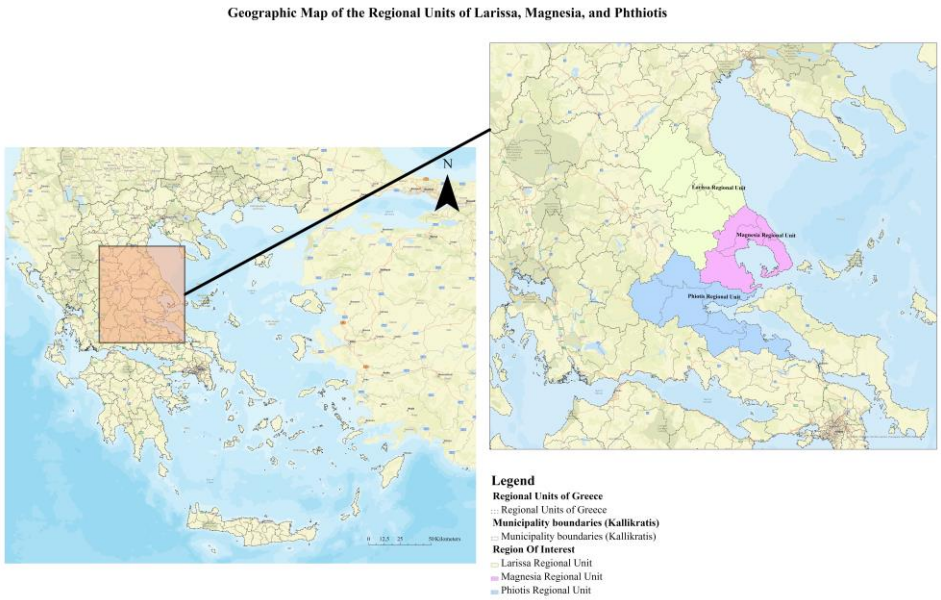


Fig. 1. Location map of the Regions of Interest

Methodology

The methodology section will describe the stages of image processing, retrieval LST, estimation of SUHI magnitude and UTFVI, and the relationship between SUHI and UTFVI.

[1]Hellenic Statistical Authority: https://elstat-outsourcers.statistics.gr/census_results_2022_en.pdf

Specifically:

- The annual median Land Surface Temperature (LST) was computed using Google Earth Engine (GEE), processing data from the Landsat 8 Collection 2 Level 2 for the years 2019 to 2023. This approach allows for precise temporal analysis of thermal changes across the regions of interest, utilizing the computational power of GEE to efficiently manage and analyze large-scale datasets
- The annual mean LST for our ROI in order to compute the UHI and UTFVI

UHI effect during the daytime was derived based on daily average temperatures. The UHI phenomenon occurs when the temperature in an urban center exceeds that of its surrounding areas. In order to compare UHI variations across different years, normalization was carried out using (1) as described by (Naim & Kafy, 2021):

(1)

$$SUHI = \frac{LST - LSTmean}{STD}$$

Where LST is the land surface temperature, LSTmean is the mean land surface temperature, and STD is the standard deviation.

Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI) is applied in this study using (2) given by (Liu & Zhang, 2011).

(2)

$$UTFVI = \frac{Ts - Tm}{Tm}$$

Where Ts is the land surface temperature, Tm is the mean LST of the area.

Urban Thermal Field Variance Index is used to quantify the thermal homogeneity in urban areas, contributing to the assessment of prevailing environmental conditions. Depending on the intensity of the UHI phenomenon, it is classified into six levels for evaluating thermal differences and environmental stress (Renard et al., 2019).

Table 2. Threshold values of Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI) and ecological evaluation index

Urban Thermal Field Variation Index	Urban Heat Island Phenomenon	Ecological Evaluation Index
<0	None	Excellent
0-0,0005	Weak	Good
0,0005-0,010	Middle	Normal
0,010-0,015	Strong	Bad
0,015-0,020	Stronger	Worse
>0,020	Strongest	Worst

UTFVI values reflect different levels of environmental quality, determined by thermal dispersion and temperature distribution within an area. These metrics provide critical insights into the region's thermal dynamics and potential ecological impacts, enabling the evaluation of environmental stress and sustainability challenges in urban ecosystems.

Results

Figure 2 illustrates the trends of mean temperature, UHI, and UTFVI across the studied regions, providing a clear comparison of thermal conditions and Urban Heat Island intensity. Specifically, analyzing the results we noticed that the Regional Unit of Larissa, due to its inland location and lack of proximity to the sea, experiences more intense Urban Heat Island effects, driven by high population density, lack of green spaces, and extensive urbanization.

In contrast, coastal areas such as Magnesia and Phiotis have milder thermal conditions due to the influence of sea breezes and the cooling effect of water bodies. The recent reduction in UHI and UTFVI indices in Volos, linked to heavy rainfall, highlights the temporary cooling effect of water on the local climate and emphasizes the importance of proper environmental management in urban planning.

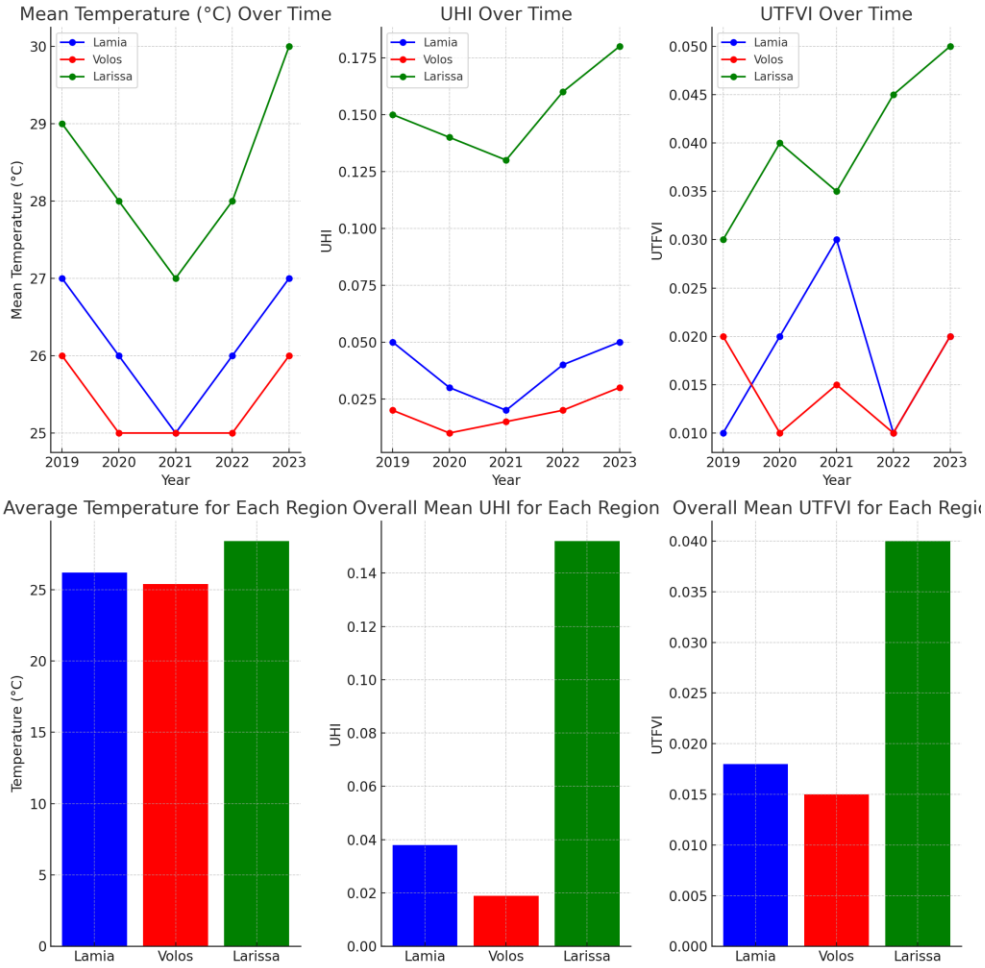


Fig. 2. Mean temperature, UHI, and UTFVI trends (2019–2023)
for Regional Units of Phiotis, Magnesia and Larissa

For each of the three regions of interest, the Pearson correlation coefficient was calculated between Land surface temperature (LST), the Urban Heat Island (UHI) phenomenon, and the Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI). The results derived from these correlations are presented in the Table 3.

Table 3. Pearson correlation coefficients between UHI, LST, and UTFVI for the regions of Lamia, Larisa, and Volos

Regional Unit	UHI vs LST	UHI vs UTFVI	UTFVI vs LST
Lamia	-0.30	0.98	-0.40
Larisa	-0.67	0.99	-0.63
Volos	0.12	0.97	-0.05

The results reveal strong positive correlations between the UHI intensity and UTFVI across all regions, indicating that urbanization is directly linked to increased thermal heterogeneity, particularly in inland areas like Regional Unit of Larissa. However, the correlations between LST and UHI are varied: they are negative in Regional Units of Larissa and Phiotis but positive in Regional Unit of Volos, indicating a distinct impact of surface temperature on UHI intensity, influenced by the unique local characteristics of each region.

Conclusions

In this work, a methodology was developed to investigate the behavior of the UHI phenomenon, based on the large-scale analysis capabilities of GEE. Specifically, the promising results regarding the three ROIs were presented: they clearly show how urbanization influenced the UHI magnitude according to the LST changes. The findings reveal a strong correlation between increased urbanization and elevated UHI intensity, highlighting the role of land surface changes in amplifying heat stress in urban areas.

Moreover, these results underscore the importance of incorporating sustainable urban planning practices to mitigate the environmental and social costs associated with UHI effects. As UHI contributes to higher energy

consumption, increased cooling costs, and deteriorating public health outcomes, understanding and addressing this phenomenon is crucial for minimizing long-term economic and societal impacts.

The study emphasizes that adopting green infrastructure, such as expanding green spaces and improving urban design, can significantly reduce the economic burden of managing heat-related stress in urban environments, thus contributing to more sustainable and cost-effective urban development strategies.

References:

1. Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Moghaddam, S. H. A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *13*, 5326–5350. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052
2. Filho, W. L., Icaza, L. E., Emanche, V. O., & Al-Amin, A. Q. (2017). An evidence-based review of impacts, strategies and tools to mitigate urban heat islands. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *14*(12). https://doi.org/10.3390/ijerph14121600
3. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, *202*, 18–27. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031
4. Kim, S. W., & Brown, R. D. (2021). Urban heat island (UHI) intensity and magnitude estimations: A systematic literature review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 779). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146389
5. Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, *10*(10). https://doi.org/10.3390/rs10101509
6. Liu, L., & Zhang, Y. (2011). Urban heat island analysis using the landsat TM data and ASTER Data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*, *3*(7), 1535–1552. https://doi.org/10.3390/rs3071535
7. Mustafa, E. K., Co, Y., Liu, G., Kaloop, M. R., Beshr, A. A., Zarzoura, F., & Sadek, M. (2020). Study for Predicting Land Surface Temperature (LST) Using Landsat Data: A Comparison of Four Algorithms. *Advances in Civil Engineering*, *2020*. https://doi.org/10.1155/2020/7363546
8. Naim, M. N. H., & Kafy, A. A. (2021). Assessment of urban thermal field variance index and defining the relationship between land cover and surface temperature in Chattogram city: A remote sensing and statistical approach. *Environmental Challenges*, *4*. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100107
9. Nuruzzaman, Md. (2015). Urban Heat Island: Causes, Effects and Mitigation Measures - A Review. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, *3*(2), 67–73. https://doi.org/10.11648/j.ijema.20150302.15
10. Papadam, M. (2015). *ΑΣΤΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ και ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ: ΑΘΗΝΑ - ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ - ΠΑΤΡΑ*.
11. Renard, F., Alonso, L., Fitts, Y., Hadjiosif, A., & Comby, J. (2019). Evaluation of the effect of urban redevelopment on surface urban heat islands. *Remote Sensing*, *11*(3). https://doi.org/10.3390/rs11030299
12. Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Haack, B. N., Rijal, S., & Zhang, P. (2018). Land use/land cover dynamics and modeling of urban land expansion by the integration of cellular automata and markov chain. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *7*(4). https://doi.org/10.3390/ijgi7040154

КАРТИРАНЕ НА ЕКОСИСТЕМИТЕ ЗА НУЖДИТЕ НА БАСЕЙНОВОТО УПРАВЛЕНИЕ НА ВОДИТЕ

Христина Проданова, Ивайло Ананиев, Стоян Недков

Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките
e-mail: hristina.zh.prodanova@gmail.com, snedkov@abv.bg, IvayloAnaniev213@gmail.com

Ключови думи: *екосистемни услуги, пространствени данни, интеграция*

Резюме: *Методическата рамка за картографиране на екосистемите и услугите, които те предоставят, е разработена от работната група MAES (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services). Методиката за България е разработена в рамките на проекта MetEcosMap (Methodological assistance for ecosystems assessment and biophysical valuation) и включва девет отделни методики, всяка от които обхваща определен тип екосистема според типологията на MAES. При последващото картографиране бяха разработени девет отделни бази данни за всеки тип екосистема. В настоящото изследване анализирахме типологията на екосистемите за България и коригирахме установените недостатъци. Подходът на интегрирано картиране на екосистемите, който съчетава деветте типологии, беше доразвит, за да се улесни по-точното очертаване на сладководните екосистеми. Подходът беше приложен за горната част на басейна на река Огоста и резултатът е под формата на топологично коректен единен слой пространствени данни и карти на екосистемите.*

MAPPING OF ECOSYSTEMS FOR THE NEEDS OF INTEGRATED RIVER BASIN MANAGEMENT

Hristina Prodanova, Ivaylo Ananiev, Stoyan Nedkov

National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: hristina.zh.prodanova@gmail.com, snedkov@abv.bg,IvayloAnaniev213@gmail.com

Keywords: *ecosystem services, spatial data, integration*

Abstract: *The methodological framework for mapping of ecosystems and the services they provide has been developed by MAES (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services) working group. The methodology for Bulgaria was developed under the MetEcosMap project (Methodological assistance for ecosystems assessment and biophysical valuation) and it includes nine separate methodologies, each of which covers a specific ecosystem type according to the MAES typology. In the follow-up mapping, nine separate databases were developed for each ecosystem type. In this study, we analyzed the ecosystem typology for Bulgaria and corrected the established shortcomings. The approach of integrated mapping of ecosystems that combines the nine typologies was further developed to facilitate more precise delineation of the freshwater ecosystems. The approach has been applied to the upper part of the Ogosta River basin and the results are in the form of a topologically correct and uniform spatial data layer and maps of the ecosystems.*

1. Въведение

Според приетия през тази година Европейски закон за възстановяване на природата (Nature Restoration Law) до 2030 трябва да бъдат възстановени минимум 20% от нарушените природни местообитания със специално внимание върху тези, които имат потенциал за задържане на въглероден диоксид и намаляване на глобалното затопляне. Възстановяването на свободно течащите води, влажните зони и сладководните местообитания са сред приоритетните в това отношение. Всичко това има пряко отношение към басейновото управление на водите, в рамките на което се осъществява координацията и планирането на разнообразни дейности, насочени към осигуряване на речни басейни с добро качество на

водите, което е жизненоважно за здравето и оцеляването на човечеството и живите организми. Оценката на състоянието на екосистемите и картирането на свързаните с водите екосистемни услуги са от ключово значение за подобряване на знанията, мониторинга и управлението на речните басейни. Интегрирането на екосистемните услуги в плановете за управление на речните басейни е особено важно във връзка с прилагането на Рамковата директива за водите на ЕС [1].

Европейската методическа рамка за оценка и картиране на екосистемите и услугите които те предоставят е разработена от MAES и е публикувана в серия от доклади касаещи различните аспекти на картирането [1, 2, 3, 4]. В тях са заложени основните подходи и методи за оценка и картиране на Европейско ниво и общи препоръки за тяхното прилагане на национално ниво от страните членки. Тези подходи и методи са доразвити в рамките на проект ESMERALDA (Enhancing ecoSysteM sERvices mApping for poLicy and Decision mAking) и публикувани в серия от статии, касаещи етапите на методическата рамка [5], методите за биофизична оценка [6], приложните аспекти на картирането с примери от отделните страни [7] и др.

Методическата рамка за България е разработена под формата на девет отделни документа, всеки от които обхваща по един от деветте основни екосистемни типа: урбанизирани, земеделски, горски, тревни, храстови, площи с рядка растителност, сладководни, влажни зони и морски. Те имат обща структура, която следва Европейската рамка MAES и включва типология и картиране на екосистемите, оценка на състоянието на екосистемите и оценка на екосистемните услуги [8]. Типологията на екосистемите в България е развита като трето ниво на типологията на MAES, като за всеки тип екосистема са оформени определен брой подтипове в зависимост от специфичните условия в страната. При картирането, извършено в последващата дейност в рамките на седем проекта, са разработени девет отделни бази данни за всеки тип екосистема. Те обхващат част от територията на страната и по-конкретно територииите извън обхвата на защитените зони по НАТУРА 2000. Приложението на тези данни за дейности свързани с управлението на водите би създало поне два сериозно проблема. Първо, раздробеността на пространствените единици в девет отделни ГИС слоя и свързаните с това несъответствия между тях под формата на празнини и припокривания. Второ, липсата на картиране за големи части на страната, което прави невъзможно да се покрие с данни цял водосборен басейн.

В България досега не са правени опити да се направи интегриране на типологиите от деветте методики. В края на 2022 г. е публикувано сравнително изследване на данните от отделните картиращи проекти за басейна на р. Огоста [9]. В него се установяват редица несъответствия, част от които произтичат от различия между типологиите, а други от различия между отделните бази данни. По важните от тях са: 1) за някои типове типологията е развита до четвърто ниво, а за други е до трето ниво; 2) в някои от типовете екосистеми, особено в сладководните, различни категории се смесват в рамките на едно йерархично ниво; 3) има дублирани цифрови обозначения между тревните и горските екосистеми. Това налага преразглеждане на типологията и разработване на единна класификация, която да се използва за нуждите на интегрираната оценка на екосистемите. Топологичните анализи на обединените данни показват изключително голям брой празнини и припокривания. Основната причина е използването на различни източници за картографиране на различни типове екосистеми. Основният извод от разработката е, че е практически невъзможно да се генерират топологично коректни интегрирани ГИС слоеве от отделните бази данни, което налага да се разработи нов подход за картографиране на всички типове екосистеми в единна база данни. Такъв подход е представен през 2023 г. [10], който залага на използването на единна пространствена основа с последователно актуализиране на данните за отделните екосистемни типове.

Целта на настоящият доклад е да се представят резултатите от интегрирането на типологиите от деветте методики за картиране на екосистемите в единна класификация и развитието на подхода за интегрирано картиране на екосистемите чрез актуализация на данните за сладководните екосистеми.

2. Материали и методи

2.1. Концепция за интегрирана оценка на екосистемите за нуждите на басейновото управление на водите

Оценката, картирането и картографирането на ЕУ са взаимосвързани дейности, чието осъществяване е изисква координация между различни подходи и методи, прилагането на интегрирани подходи или методически рамки. Методическата рамка за картиране на екосистемите и услугите, които те предоставят се състои от три основни научни компонента (картиране на екосистемите; оценка на състоянието на екосистемите; оценка, картиране и

картографиране на екосистемните услуги) тясно обвързани приложните им аспекти [5, 11]. Ключово за разбирането на методическата рамка е, че прилагането ѝ е специфично във връзка с темата и целта на разработката. Басейновото управление на водите е една такава тема и при разработки целящи конкретни дейности от управлението на водите е важно да се развие версия на методическата рамка по тази конкретна тема. В методическата рамка условно може да се разграничат три компонента: подготвителен, научен и консултативен. Първият и третият са пряко свързани с приложните аспекти и задават рамката в която ще се извършва научната част. Водещ принцип при басейновото управление на водите е ясната териториална обособеност произтичаща от поставянето на речния басейн във фокуса на всички дейности. По тази причина като водещ принцип при интегрираната оценка на екосистемите следва да бъде изграждането на единна типология и интегриране на пространствените данни по екосистемни типове.

2.2. Интегриране на типологията на екосистемите

За интегрирането на типологията на екосистемите е създадена сравнителна таблица, чрез която да се провери степента на съответствие между националната класификация по MAES и разработената по нея база данни за екосистемите в България. Проверката на атрибутивните данни е извършена паралелно на две места: 1) в Excel, където от една страна са въведени всички налични данни за класификацията от методиките, за базата данни, и за названията по EUNIS; и 2) в ArcMap и ArcCatalog, където са проверени и отстранени несъответствията и попълнени липсващите записи в съответствие с разписаните в методиките таблици.

Сравнителната таблица на екосистемните типове в Excel съдържа по хоризонтала всички нива от класификацията на национално ниво (колони A до C) и колона D, която съдържа пълните наименования от методиките. В допълнение на наличната информация от методиките бяха създадени две нови колони (E и F), в които в последствие да се добави информация относно съответното наименование в други класификации. Колона E съдържа наименованието на екосистемните типове според базата данни в ГИС, а колона F съдържа наименованието според EUNIS (European Nature Information System).

Попълването започна с колона D, съдържаща описанието на екосистемите от методиките „Методологична рамка за оценка и картиране на състоянието на екосистемите и екосистемните услуги в България“ на всичките 8, налични в района на р. Огоста, екосистемни типове (урбанизирани, земеделски, тревни, горски, храстови и ерикоидни, земи с рядка растителност, влажни зони и сладководни). Попълването на колона E включва наименованията на екосистемните типове и подтипове от официалната база данни за деветте картиращи проекта. Базата бе предоставена за целите на проекта INES от МОСВ чрез ИАОС (поискани с писмо с Вх. № 33-00-150/20.06.2022 г. на Министерство на околната среда и водите). За да се извърши проверката, данните бяха заредени в ArcCatalog, версия 10.6.1. Един по един слоевете са сравнени и преписани наименования на типовете и подтиповете от базата в таблицата в Excel с водещ критерий – смисловото им съвпадение. В последната колона F бяха добавени наименованията на екосистемните типове по EUNIS. За целта бе използван официалният сайт (https://eunis.eea.europa.eu/habitats-code-browser.jsp?expand=182#level_182) на Европейската агенция по околна среда. При попълването на тази колона бяха установени няколко пропуска и/или разминавания, сред които: 1) в земеделските екосистеми в подтип „Ферми за добитък за големи и малки животни, включително пчели“, по класификацията на EUNIS не се открива съвпадение с никое от българските наименования; 2) В урбанизираните екосистеми в подтип „Зелени зони в населените места (вкл. зони за спорт и атракции)” по класификацията на EUNIS не се открива съвпадение с никое от българските наименования.

При извършената първична проверка в Excel и ГИС се установиха няколко генерални проблема, свързани с определени екосистемни типове, най-съществените от които са свързани с горските, тревните и сладководните екосистеми. Проблемните места, търпящи корекция, бяха отстранени, а липсващата информация допълнена.

Деветте типологии на екосистемите според рамката MAES съдържат три нива в класификацията. При анализа на системата за кодиране използвана в националната методика на България бяха установени два съществени проблема. Първият е свързан с наличието на четвърто ниво в типологията на горските екосистеми, което при съществуващата система за кодиране се отразява на трето ниво, а второто ниво на практика отсъства. Вторият е при сладководните екосистеми, където са дадени множество подтипове на трето ниво, но някои от тях са съподчинени един на друг. Например C.1 Езера и C1.3. Постоянни еутрофни езера и водоеми са в едно таксономично ниво, което е некоректно от гледна точка на принципите за класификация. Затова за сладководните екосистеми беше въведено четвърто ниво и типологията беше преработена във вида представен на таблица 1.

Дублиране на кодовете в базата данни между тревните и горски екосистеми се появява при опит да се обединят всички налични слоеве от осемте методики в един общ слой. При тяхното класифициране спрямо цифровите записи от атрибутивно поле “EcosystemT” на пръв поглед изглежда, че в района на басейна на р. Огоста липсват горски екосистеми, което е невярно. При последващата детайлна проверка се установи, че и в двата слоя цифрените означения започват с код 301+. Този код според MAES принадлежи на тревните екосистеми, а горските са разписани да започват с 401+. Ето защо предприехме преименуване на всички кодове на горските екосистеми започващи с „3“ на „4“. По този начин осигурихме: 1) съответствие с номерацията от ниво 2 на класификацията; и 2) възможност двата слоя да бъдат впоследствие обединени без риск от загуба на записи и невъзможност да се класифицират (разграничат) един от друг. Извършените промени по атрибутивните таблици на ГИС слоевете отразихме и в колона “C” от таблицата CLC_MAES_class_work.xlsx, съдържаща кодовете на отделните екосистемни подтипове.

2.3. Интегриране на пространствената информация в единна база данни и картиране на сладководните екосистеми

Слоят с пространствена информация за нуждите от интегрираното картиране на екосистемите на ниво водосборен басейн и създаване на единна база данни, се базира на информация от базата данни Физически блокове (Physical Blocks) на Министерство на земеделието и храните (МЗХ). Информацията отговаря на изискванията за национално картиране, резолюция на данните и връзка с типологията MAES.

Процедурата по интегрирането на сладководните екосистеми включва използването на наличните пространствени данни за сладководните екосистеми и тяхното обединение с нови генерирани данни с помощта на набор от хидроложки инструменти в ArcGIS Pro. Тези данни представляват различните течения на реките според техния ранг, разделени за целите на настоящата работа на четири ранга. За целта е нужен надежден DEM (Digital Elevation Model) модел. След генерирането на теченията и техните нива са създадени буфери с различна големина за различните нива. Определянето на големината на буферите следва логиката, че размера на буферите нараства според ранга на течението – съответно от 1-ви към 4-ти. Генерирани са четири отделни слоя за четирите вида буфери. Накрая всички те са обединени в един слой, който е интегриран с данните за останалите сладководни екосистеми.

3. Резултати

3.1. Интегрирана типология на екосистемите

Интегрираната типология на екосистемите (Табл.1) е получена в резултата на ревизията и актуализацията на типологиите от деветте методики и последващото им обединяване в логически коректна класификационна система с нова унифицирана схема от цифрови кодове. Нива 1 и 2 отговарят изцяло на съответните нива (категория и тип) от типологията на MAES (Maes et al., 2013) [1].

Таблица 1. Рамка за интегрирана типология на екосистемите в България – синтезирана версия

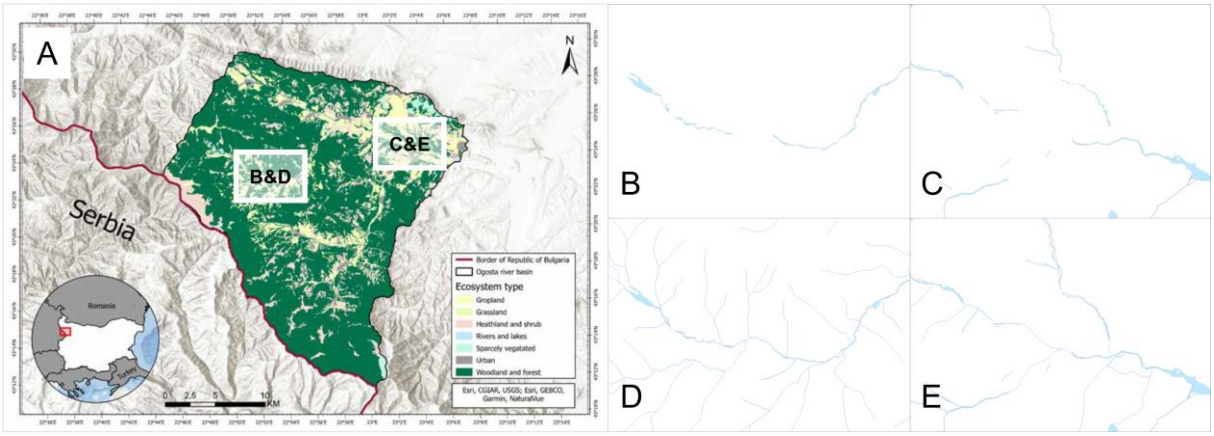
Идентифицирани нива спрямо класификацията				**ГИС**	**Нови унифицирани ГИС кодове**			
Ниво 1	**Ниво 2**	**Ниво 3**	**Ниво 4**	**Код от базата данни**	**Код 1**	**Код 2**	**Код 3**	**Код 4**
1 категория - Сухоземни	7 типа (означени от 1 до 7)	35 подтипа (означени от J.1 до D.5)	27 горски (означени от G1.0 до G4.F)	101 до 703	1	11–17	111–173	1411–1444
1 категория - Сладководни	1 тип (означен с 8)	5 подтипа (означени от C.1. до 8.5)	14 сладководни (означени от C1.1 до J5.4)	811 до 856	2	21	211–215	2111–2156
1 категория - Морски	1 тип (означен с 9)	8 подтипа (означени от A.1 до X.2)	-	902 до 911	3	31	311–318	-

Номерацията на типовете е въведена за по-голяма яснота с оглед обвързването със следващите нива. Ниво 3 е развито на базата на типологиите от деветте методики след съответните корекции и актуализация, като са запазени буквено-цифровите кодове указващи връзката с класификацията на хабитатите по EUNIS. След актуализацията в нея се получават общо 48 подтипа, което е с 10 по-малко от заложените в националната методическа рамка. Разликата е в следствие на трансформацията на подтиповете сладководни екосистеми, част от които са преместени на ниво 4. Последното ниво от типологията е непълно, тъй като само в два от екосистемните типове има диференциация на ниво 4. В това отношение типологията следва да се разглежда като отворена за по-нататъшно развитие с цел по-детайлна класификация на всички екосистемни типове. Новата схема с унифицирани кодове за използване при създаване на база данни в ГИС е разработена така, че на всяко ниво от типологията да отговаря съответния цифров код. Броя на цифрите в кода отговаря на номера на съответното ниво, една цифра за ниво 1, две цифри за ниво 2 и т.н.

3.2. Картиране на екосистемите в басейна на река Огоста

Актуализацията на пространствените данни за сладководните екосистеми е вторият основен резултат от това изследване. В процеса на картиране са обновени наличните полигони за сладководните екосистеми (реки и езера). В началото на процеса и преди обновяването техният брой е 76 с обща площ от 2.5 km^2. След процеса на обновяване с по-точни данни за пространственото разпределение на сладководните екосистеми, броят полигони възлиза на 622 с обща площ от 5.24 km^2.

В по-голямата си част, промените се касаят за появата на линейни обекти в горните течения на притоците, които преди обновяване на практика липсват в данните (Фиг. 1 - B и C). Детайлните изображения на фиг. 1 (D и E) ясно показват тези подобрения и по-добрата свързаност на притоците в басейна на р. Огоста.



Фиг. 1. Пространствено разпределение на екосистемите в горната част на басейна на р. Огоста. A - Карта на екосистемните типове, B и C - Приближен изглед на данните преди актуализацията в два участъка от района, D и E Приближен изглед на данните след промените.

4. Изводи

Интегрираното картиране на екосистемите чрез използване на единна пространствена рамка предлага решение на проблемите, свързани с различните източници на информация и несъответствията между типовете екосистеми от отделните методики [10]. Представената в този доклад интегрирана типология на екосистемите осигурява солидна основа за по-нататъшно развитие на интегрираното картиране на екосистемите, което е от особена важност за приложението му в басейновото управление на водите поради териториална обособеност на всички дейности. Типологията е развита изцяло до ниво 3 (подтип) и е отворена на ниво 4 за по-нататъшно развитие към по-детайлна класификация на всички екосистемни типове. Унифицираната система за кодиране дава възможност за по-удобна работа при разработване на пространствената основа за екосистемите в ГИС. Тестовото интегрирано картиране на екосистемите в басейна на р. Огоста дава обнадеждаващи резултати и може да се използва като пример за други подобни райони. То е приложено до ниво 3 от типологията, като предстои да се разработят подходи за картиране в по-голяма степен на детайлност на ниво 4 за сладководните и горските екосистеми.

Благодарности: Това изследване е проведено в рамките на проект INES (Интегрирана оценка и картиране на свързани с водите екосистемни услуги подпомагащи природно-базирани решения в управлението на речните басейни), финансиран от Национален фонд научни изследвания на Министерство на образованието и науката с договор № КП-06-Н-54/4.

Литература:

1. Maes, J, Teller A, Erhard M, et al. (2013) Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020. Publications office of the European Union, Luxembourg. https://doi.org/10.2779/12398
2. Maes, J, Teller A, Erhard M, et al. (2014) Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. Indicators for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020. Publications office of the European Union, Luxembourg. https://doi.org/10.2779/75203
3. Erhard, M, Teller A, Maes J, Meiner A, et al. (2016) Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. Mapping and assessing the condition of Europe's ecosystems: Progress and challenges. Publications office of the European Union, Luxembourg. https://doi.org/10.2779/351581
4. Maes, J, Teller A, Erhard et al. (2020) Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An EU ecosystem assessment. EUR30161 EN, Publications Office of the European Union, Ispra. ISBN 978-92-76-17833-0. https://doi.org/10.2760/757183
5. Burkhard, B, Santos-Martin F, Nedkov S, Maes J (2018) An operational framework for integrated Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services (MAES). One Ecosystem 3: e22831. https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e22831
6. Vihervaara, P, Viinikka A, Brander L, Santos-Martín F, Poikolainen L, Nedkov S (2019) Methodological interlinkages for mapping ecosystem services – from data to analysis and decision-support. One Ecosystem 4: e26368. https://doi.org/10.3897/oneeco.4.e26368
7. Geneletti, D, Adem Esmail B, Cortinovis C, Arany I, Balzan M, van Beukering P, Bicking S, Borges PA, Borisova B, Broekx S, Burkhard B, Gil A, Inghe O, Kopperoinen L, Kruse M, Liekens I, Lowicki D, Mizgajski A, Mulder S, Nedkov S, Ostergard H, Picanço A, Ruskule A, Santos-Martín F, Sieber IM, Svensson J, Vačkářů D, Veidemane K (2020) Ecosystem services mapping and assessment for policy- and decision-making: Lessons learned from a comparative analysis of European case studies. One Ecosystem 5: e53111. https://doi.org/10.3897/oneeco.5.e53111
8. Bratanova-Doncheva, S, Chipev N, Gocheva K, Vergiev S, Fikova R. (2017) Methodological framework for assessment and mapping of ecosystem condition and ecosystem services in Bulgaria. Conceptual basis and principles of application. Clorind, Sofia, 48 pp.
9. Petkova, G, Prodanova H, Stoycheva V (2022) Analysis of the national ecosystem database of Bulgaria: (Mis)matches with the MAES framework. Journal of the Bulgarian Geographical Society 47: 73–82. https://doi.org/10.3897/jbgs.e99268
10. Nedkov, S, Ananiev I, Prodanova H, Stoycheva V (2023) Integrated mapping of ecosystems and assessment of forest ecosystem services at river basin scale. Silva Balcanica 24(3): 43–60. https://doi.org/10.3897/silvabalcanica.24.e115856
11. Brown, C, Burns A, Arnell A (2018) A Conceptual Framework for Integrated Ecosystem Assessment. One Ecosystem 3: e25482. https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e25482

OPTICAL REMOTE SENSING IN PRECISION FIELD PLANT BREEDING. A REVIEW

Dessislava Ganeva

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

Keywords: *Plant Phenotyping, Phenomic traits, Phenotypic traits*

Abstract: *Remote sensing in precision plant breeding involves using advanced technologies, such as drones, satellites, and sensors, to collect detailed data on plant traits and environmental conditions. These tools capture information on crop health, growth, stress responses, and other vital parameters through non-destructive methods like multispectral and hyperspectral imaging. This data helps plant breeders make informed decisions on selecting and developing crops with desirable traits, improving breeding efficiency, and accelerating the development of resilient, high-yield varieties tailored to specific environments. The equipment and characteristics of remote sensing used to date, as well as directions for the future development of these studies.*

ОПТИЧНИ ДИСТАНЦИОННИ МЕТОДИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ПОЛЕВА ПРЕЦИЗНА РАСТИТЕЛНА СЕЛЕКЦИЯ. ОБЗОР

Десислава Ганева

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

Ключови думи: *Фенотипиране, Феномни признаци, Фенотипни признаци*

Резюме: *Дистанционните методи за наблюдение на Земята в прецизното растително селектиране включва използването на съвременни технологии, като дронове, сателити и сензори, за събиране на подробни данни за растителните характеристики и условията на околната среда. Тези инструменти улавят информация за здравето на културите, растежа, реакциите на стрес и други важни параметри чрез дистанционни методи като мултиспектрални и хиперспектрални изображения. Тези данни помагат на селекционерите да вземат информирани решения при избора и разработването на култури с желани характеристики, като подобряват ефективността на селекцията и ускоряват създаването на устойчиви, високодобивни сортове, пригодени за конкретни условия. Разгледани са оборудването и характеристиките на дистанционното наблюдение, които са използвани до сега, както и насоките за бъдещото развитие на тези изследвания.*

Introduction

Humanity faces an unparalleled challenge to meet the coming decades' growing food demands, population growth, rising per capita consumption, shifting climate conditions, limited arable land, and increasing pressure on water and resources. To boost crop productivity, one key strategy is enhancing crop genetics for greater efficiency and resilience [1].

Plant phenotypic traits are the observable characteristics of an organism, such as its appearance, behaviour, or physiology. They directly result from the interaction between an organism's genetic makeup (genotype) and its environment. [2]. The selection of cultivars is increasingly dependent on yield-related indicators, chosen either directly or through marker-assisted selection once the quantitative trait loci (QTLs) responsible for the trait's variability have been identified [3]. While genotyping technologies have advanced rapidly, phenotyping technologies have lagged [1, 3, 4]. Plant phenotyping is a transdisciplinary field of research that employs non-invasive imaging and sensor-based time-series data, frequently integrated with high-throughput measurements, to study

plant anatomy, physiology, and biochemistry [4]. Phenomic traits are a subset of phenotypic traits measured using high-throughput technologies, often quantitative and automated. They emphasise the systematic and large-scale measurement of phenotypes.

In recent decades, plant phenotyping has rapidly evolved, creating numerous opportunities to address agriculture's increasing and diverse demands. However, research in remote sensing for plant phenotyping is primarily concentrated within the EU, with countries like Germany, France, and the United Kingdom leading the way [5]. In Bulgaria, this field remains relatively new and is still in early development [6–8]. The progress in phenotyping must continue in tandem with the integration of innovative technologies, data standardisation [9–11], and multidisciplinary research efforts [2, 5, 9].

In field crops, grain yield is the most critical phenotypic trait for breeders, as it serves as a comprehensive indicator that reflects the combined influence of key characteristics and genes, making it biologically and economically significant. Beyond yield, there is a range of secondary traits that, while theoretical in some instances, have been demonstrated to contribute to overall crop performance in several cases [12].

To accurately capture these traits, remote sensing phenotyping has developed techniques that offer a top-of-canopy perspective, enabling accurate assessments of visible plant organs known as aboveground traits. However, this approach has clear limitations when assessing roots, lower leaves, or fruits obscured from the sensor's view.

Aboveground phenomic traits include plant development and biophysical and biochemical properties, photosynthetic efficiency in utilising solar energy during the primary growth phase, plant phenology, plant stress evaluation, and yield and quality assessment.

Selecting root phenomic traits for crop improvement is more challenging than aboveground traits because roots cannot be directly observed through remote sensing technologies. However, using remote sensing, root traits can still be characterized by analyzing how root processes influence crop productivity under specific field conditions. Moreover, targeted physiological approaches can help identify proxy traits that serve as indicators of root function, aiding in the selection and improvement of root-related traits [13].

Phenotyping efforts are often focused on specific critical stages of plant development, but there is growing anticipation that field phenotyping will evolve toward continuous, whole-season monitoring. This approach would enable the identification of critical time windows in crop growth and provide a deeper understanding of interactions between genetics, environment, and management practices (G×E×M) [13].

This review explores current efforts, offers insights, and highlights potential research directions for utilising optical remote sensing in field-based plant phenotyping. The focus is on vital phenotyping tasks, particularly those related to plant stress and growth.

This review mainly concentrates on studies that meet the following criteria: (1) published in peer-reviewed or open-reviewed journals and conferences; (2) published within the past seven years (2018 to 2024); and (3) focused on the application of optical remote sensing for field plant phenotyping. The literature was sourced primarily from Google Scholar, using keyword combinations such as "phenotyping plant review" for the search.

Aboveground phenotypic traits

Unmanned aerial vehicles (UAVs) are among the most widely used tools in field phenotyping due to their relatively low cost and ability to capture high-resolution images with fine temporal and spatial detail. UAVs equipped with RGB, multispectral, or hyperspectral cameras have been utilised to capture a wide range of phenotypic traits, including geometry-related (canopy height, LAI, biomass, plant density); physiological (chlorophyll and other pigments); stress detection (weed, water, disease); and nutrition status [14,15].

Numerous studies have explored the application of imaging sensors and artificial intelligence (AI) in detecting plant stress [16–19]. AI refers to systems that mimic human intelligence, allowing machines to engage in tasks such as reasoning, learning, perception, and decision-making [20]. AI encompasses various subfields, including machine learning (ML), deep learning (DL), natural language processing, and computer vision. Although AI has only recently been applied to plant stress detection, its adoption has accelerated rapidly since 2019. However, much of the research focuses on biotic stress, as it is easier to detect due to the visible symptoms, such as necrotic and chlorotic lesions caused by disease. This emphasis is likely due to the widespread use of RGB sensors, particularly suited to capturing these visual cues. Deep learning is currently the most popular AI methods, followed by machine learning algorithms like support vector machines (SVM), artificial neural networks (ANN), and random forests.

Hyperspectral data with nonparametric models is mainly used in plant stress phenotyping [18], such as disease severity assessment [6]. A notable development is the custom-supervised 3D

Convolutional Neural Network architecture, designed to directly process spatial and spectral information within hypercubes using 3D convolutional operations. This neural network was recently applied in research to detect plant diseases from hyperspectral images, demonstrating its potential in plant phenotyping [21].

The rapid advancement of smartphones with high-resolution RGB cameras and powerful computing capabilities has created highly versatile applications. Building on this progress, the development of next-generation portable or wearable phenotyping tools has the potential to be a disruptive technology, dramatically transforming and accelerating the phenotyping process [9].

High-resolution optical satellite imagery has also been employed for field phenotyping, offering valuable data on crop traits at both spatial and temporal scales [22]. However, the high cost of such imagery remains a significant barrier to its widespread, practical application.

Root system phenotyping

Roots are vital organs responsible for regulating water and nutrient uptake in crops, playing a pivotal role in drought tolerance and significantly influencing both yield and quality. However, since roots function below ground, direct observation is challenging. While significant progress has been made in controlled root phenotyping studies [9]Translating these findings to real-world field conditions remains uncertain.

In the field, direct root evaluation, or in-situ root phenotyping, is not feasible with traditional optical remote sensing techniques [13,23,24]. Nonetheless, indirect indicators, or proxies, offer a valuable alternative. Canopy temperature (CT), for example, can serve as a reliable proxy for assessing root capacity under hot and dry conditions [25]. Cooler canopy temperatures suggest a more extensive, more efficient root system, as greater root mass allows for better water uptake, enabling crops to maintain cooler canopies under drought and heat stress [24].

Data standardisation, uncertainty analysis and propagation

Phenotyping technologies generate large volumes of diverse data from remote sensing, imaging, and sensor-based platforms. Standardisation ensures that this data can be effectively compared, shared, and utilised across studies and platforms [26].

Standardising phenomic data involves establishing common protocols and formats for data collection, processing, and reporting. This allows for consistency across experiments and makes data more reusable in larger multi-omics and multi-site research efforts. It includes standardising units of measurement, trait definitions, data storage formats, and metadata documentation. Without these standards, it becomes difficult to integrate phenotypic data into larger datasets for comparative studies, limiting the potential of high-throughput phenotyping technologies.

Uncertainty analysis in phenotyping quantifies potential errors or variations in data collection and interpretation. Variability can arise due to differences in environmental conditions, measurement technologies, or biological factors. By identifying and understanding these uncertainties, researchers can improve the reliability and accuracy of their phenotypic assessments. This analysis is fundamental when correlating phenotypes with genotypes, where even minor inaccuracies can lead to incorrect conclusions about genetic traits.

Propagation of uncertainty refers to how uncertainties in individual measurements or variables can affect the overall outcome of phenotypic analysis. As phenotypic data moves through various stages—from collection to analysis and finally to decision-making in breeding programs—errors can compound, leading to significant deviations from true values. Effective uncertainty propagation analysis helps researchers model how these errors accumulate and can provide insights into which variables are most prone to uncertainty. Addressing these issues early in the data processing pipeline helps ensure the accuracy of downstream analyses, such as genomic prediction and trait selection.

Multidisciplinary research

Remote sensing has become a key technology in phenotyping, especially for extracting traits related to genomic data. The integration of remote sensing techniques with genomic prediction models has the potential to revolutionise plant breeding and crop improvement strategies. However, a multidisciplinary approach is still necessary [2,5] to fully realise its benefits, requiring collaboration across fields such as genetics, agronomy, data science, and engineering.

In Bulgaria, this collaborative effort began with the launch of the “National Research Programme-Smart Crop Production” funded by the Bulgarian Ministry of Education and Science, approved by the Decision of the Ministry Council №866/26.11.2020 г. At a European level, the Cost Action PANGEOS CA22136 (www.pangeos.eu, last visited 17.10.2024) aims to convene leading experts in remote sensing technologies, young researchers and innovators, government, nonprofits,

and other stakeholders from European and neighbouring counties to establish best practices and calibration protocols, improve the scalability and repeatability of each technology and application across European environmental conditions, and explore new innovative advancements beyond the state-of-the-art in field phenotyping with focus on sensor synergies for biophysical trait retrievals.

Conclusion

Plant phenotyping efforts are focused on discovering new complex traits, identifying heritable diversity through high-throughput selection, and producing reusable data sets. While technological advancements are progressing quickly, further contributions from academia and industry are required to develop robust methodologies, advance technologies, establish protocols, and integrate data more effectively.

Although much of the focus remains on aboveground traits, noninvasive field phenotyping is evolving into a reliable, accessible tool that helps scientists and breeders analyse crop characteristics and improve traits in diverse and dynamic field environments.

Root phenotyping advances rapidly, deepening our understanding of essential traits in controlled environments. Notable progress has also been made in extending root phenotyping to field conditions, mainly by integrating root structure-function models and alternative remote sensing techniques beyond optical methods. For instance, thermal remote sensing has shown promise and can be seamlessly incorporated into field experiments, offering valuable insights into root function and its impact on crop performance.

Standardised data collection and analysis methods and a robust understanding of uncertainty and its propagation are key to ensuring that phenotyping remains a reliable and valuable tool in advancing plant breeding.

A multidisciplinary effort remains essential for advancing phenotyping and linking it to genotyping. Bridging the gap between the two requires collaboration across multiple disciplines, including genetics, agronomy, data science, engineering, and bioinformatics.

Funding

This research 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 No. 206/07.04.2022.

References:

1. Ninomiya, S.; Baret, F.; Cheng, Z.-M. (Max) Plant Phenomics: Emerging Transdisciplinary Science. *Plant Phenomics* **2019**, *2019*, 2765120, doi:10.34133/2019/2765120.
2. Pieruschka, R.; Schurr, U. Plant Phenotyping: Past, Present, and Future. *Plant Phenomics* **2019**, *2019*, 7507131, doi:10.34133/2019/7507131.
3. Yates, S.; Mikaberidze, A.; Krattinger, S.G.; Abrouk, M.; Hund, A.; Yu, K.; Studer, B.; Fouche, S.; Meile, L.; Pereira, D.; et al. Precision Phenotyping Reveals Novel Loci for Quantitative Resistance to Septoria Tritici Blotch. *Plant Phenomics* **2019**, *2019*, doi:10.34133/2019/3285904.
4. Sarić, R.; Nguyen, V.D.; Burge, T.; Berkowitz, O.; Trtílek, M.; Whelan, J.; Lewsey, M.G.; Čustović, E. Applications of Hyperspectral Imaging in Plant Phenotyping. *Trends in Plant Science* **2022**, *27*, 301–315, doi:10.1016/j.tplants.2021.12.003.
5. Costa, C.; Schurr, U.; Loreto, F.; Menesatti, P.; Carpentier, S. Plant Phenotyping Research Trends, a Science Mapping Approach. *Front. Plant Sci.* **2019**, *9*, doi:10.3389/fpls.2018.01933.
6. Ganeva, D.; Filchev, L.; Roumenina, E.; Dragov, R.; Nedyalkova, S.; Bozhanova, V. Winter Durum Wheat Disease Severity Detection with Field Spectroscopy in Phenotyping Experiment at Leaf and Canopy Level. *Remote Sensing* **2024**, *16*, 1762, doi:10.3390/rs16101762.
7. Ganeva, D.; Roumenina, E.; Dimitrov, P.; Gikov, A.; Jelev, G.; Dragov, R.; Bozhanova, V.; Taneva, K. Phenotypic Traits Estimation and Preliminary Yield Assessment in Different Phenophases of Wheat Breeding Experiment Based on UAV Multispectral Images. *Remote Sensing* **2022**, *14*, 1019, doi:10.3390/rs14041019.
8. Ganeva, D.; Roumenina, E.; Dimitrov, P.; Gikov, A.; Jelev, G.; Dyulgenova, B.; Valcheva, D.; Bozhanova, V. Remotely Sensed Phenotypic Traits for Heritability Estimates and Grain Yield Prediction of Barley Using Multispectral Imaging from UAVs. *Sensors* **2023**, *23*, 5008, doi:10.3390/s23115008.
9. Yang, W.; Feng, H.; Zhang, X.; Zhang, J.; Doonan, J.H.; Batchelor, W.D.; Xiong, L.; Yan, J. Crop Phenomics and High-Throughput Phenotyping: Past Decades, Current Challenges, and Future Perspectives. *Molecular Plant* **2020**, *13*, 187–214, doi:10.1016/j.molp.2020.01.008.
10. Krajewski, P.; Chen, D.; Ćwiek, H.; van Dijk, A.D.J.; Fiorani, F.; Kersey, P.; Klukas, C.; Lange, M.; Markiewicz, A.; Nap, J.P.; et al. Towards Recommendations for Metadata and Data Handling in Plant Phenotyping. *Journal of Experimental Botany* **2015**, *66*, 5417–5427, doi:10.1093/jxb/erv271.

11. Ćwiek-Kupczyńska, H.; Altmann, T.; Arend, D.; Arnaud, E.; Chen, D.; Cornut, G.; Fiorani, F.; Frohmberg, W.; Junker, A.; Klukas, C.; et al. Measures for Interoperability of Phenotypic Data: Minimum Information Requirements and Formatting. *Plant Methods* **2016**, *12*, 44, doi:10.1186/s13007-016-0144-4.
12. Reynolds, M.; Chapman, S.; Crespo-Herrera, L.; Molero, G.; Mondal, S.; Pequeno, D.N.L.; Pinto, F.; Pinera-Chavez, F.J.; Poland, J.; Rivera-Amado, C.; et al. Breeder Friendly Phenotyping. *Plant Science* **2020**, *295*, 110396, doi:10.1016/j.plantsci.2019.110396.
13. Watt, M.; Fiorani, F.; Usadel, B.; Rascher, U.; Muller, O.; Schurr, U. Phenotyping: New Windows into the Plant for Breeders. *Annual Review of Plant Biology* **2020**, *71*, 689–712, doi:10.1146/annurev-arplant-042916-041124.
14. Xie, C.; Yang, C. A Review on Plant High-Throughput Phenotyping Traits Using UAV-Based Sensors. *Computers and Electronics in Agriculture* **2020**, *178*, 105731.
15. Feng, L.; Chen, S.; Zhang, C.; Zhang, Y.; He, Y. A Comprehensive Review on Recent Applications of Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing with Various Sensors for High-Throughput Plant Phenotyping. *Computers and Electronics in Agriculture* **2021**, *182*, 106033, doi:10.1016/j.compag.2021.106033.
16. Walsh, J.J.; Mangina, E.; Negrão, S. Advancements in Imaging Sensors and AI for Plant Stress Detection: A Systematic Literature Review. *Plant Phenomics* **2024**, *6*, 0153, doi:10.34133/plantphenomics.0153.
17. Singh, A.K.; Ganapathysubramanian, B.; Sarkar, S.; Singh, A. Deep Learning for Plant Stress Phenotyping: Trends and Future Perspectives. *Trends in Plant Science* **2018**, *23*, 883–898, doi:10.1016/j.tplants.2018.07.004.
18. Li, Z.; Guo, R.; Li, M.; Chen, Y.; Li, G. A Review of Computer Vision Technologies for Plant Phenotyping. *Computers and Electronics in Agriculture* **2020**, *176*, 105672, doi:10.1016/j.compag.2020.105672.
19. Singh, A.; Jones, S.; Ganapathysubramanian, B.; Sarkar, S.; Mueller, D.; Sandhu, K.; Nagasubramanian, K. Challenges and Opportunities in Machine-Augmented Plant Stress Phenotyping. *Trends in Plant Science* **2021**, *26*, 53–69, doi:10.1016/j.tplants.2020.07.010.
20. Russell, S.; Norvig, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4th US Ed.*; Fourth Edition.; Pearson: Upper Saddle River (NJ), 2020;
21. Jiang, Y.; Li, C. Convolutional Neural Networks for Image-Based High-Throughput Plant Phenotyping: A Review. *Plant Phenomics* **2020**, *2020*, doi:10.34133/2020/4152816.
22. Zhang, C.; Marzougui, A.; Sankaran, S. High-Resolution Satellite Imagery Applications in Crop Phenotyping: An Overview. *Computers and Electronics in Agriculture* **2020**, *175*, 105584, doi:10.1016/j.compag.2020.105584.
23. Wasson, A.P.; Nagel, K.A.; Tracy, S.; Watt, M. Beyond Digging: Noninvasive Root and Rhizosphere Phenotyping. *Trends in Plant Science* **2020**, *25*, 119–120, doi:10.1016/j.tplants.2019.10.011.
24. Mir, R.R.; Reynolds, M.; Pinto, F.; Khan, M.A.; Bhat, M.A. High-Throughput Phenotyping for Crop Improvement in the Genomics Era. *Plant Science* **2019**, *282*, 60–72, doi:10.1016/j.plantsci.2019.01.007.
25. Wasaya, A.; Zhang, X.; Fang, Q.; Yan, Z. Root Phenotyping for Drought Tolerance: A Review. *Agronomy* **2018**, *8*, 241, doi:10.3390/agronomy8110241.
26. Chawade, A.; van Ham, J.; Blomquist, H.; Bagge, O.; Alexandersson, E.; Ortiz, R. High-Throughput Field-Phenotyping Tools for Plant Breeding and Precision Agriculture. *Agronomy* **2019**, *9*, 258, doi:10.3390/agronomy9050258.

APPLICATION OF REMOTE SENSING DATA TO MONITOR THE THERMAL POLLUTION FROM WASTE DISPOSAL SITES

Adlin Dancheva, Temenuzhka Spasova, Daniela Avetisyan

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

Keywords: *Waste management, environmental pollution, GIS, thermal bands*

Abstract: *The problem of waste management has existed since ancient times. In the modern world, waste generation is directly related to human activity. A large percentage is related to the production of household waste caused by the consumerism of each household. Toxins, leachate and greenhouse gases are one of the main causes of environmental pollution as a result of landfills. Over time, these toxins seep into the soil and groundwater, affecting the quality of the soil itself and drinking water in the area. Leachate, on the other hand, is a highly toxic liquid that forms when waste breaks down in a landfill and water filters through the waste. It is of great importance to take strict measures and monitor the landfills. Thanks to GIS and Remote sensing, efficient and complex monitoring of regulated and unregulated waste landfills can be done. The aim of the present work is to explore the possibilities of aerospace data analysis and to show different methods of processing, interpretation and visualization. Optical images from the Multispectral Instrument (MSI) on the Sentinel 2 platform of the European Space Agency's Copernicus program were used. Thermal bands from the Landsat 5 – 7 (ETM) and Landsat 8/9 (OLI / TIRS) sensors of the Landsat program were used to calculate land surface temperature. For the purpose of primary recognition of the studied objects, the satellite images are orthogonalized.*

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ДИСТАНЦИОННИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ ЗА МОНИТОРИНГ НА ТОПЛИННОТО ЗАМЪРСЯВАНЕ ОТ ДЕПА ЗА ОТПАДЪЦИ

Адлин Данчева, Теменужка Спасова, Даниела Аветисян

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

Ключови думи: *Управление на отпадъците, замърсяване на околната среда, ГИС, топлинен канал*

Резюме: *Проблемът с отпадъците съществува още от дълбока древност. В съвременния свят, генерирането на отпадъци е пряко свързано с човешката дейност. Един голям процент е свързан с производството на битовите отпадъци, причинени от консуматорството на всяко едно домакинство. Токсините, инфилтрата и парниковите газове са едни от основните причинители на замърсяване на околната среда, в следствие на депата за отпадъци. С течение на времето тези токсини проникват в почвата и подпочвените води, като оказват влияни*

е върху качеството на самата почва и питейната вода в района. От друга страна инфилтрата е силно токсична течност, която се образува, когато отпадъците се разграждат в депото и водата се филтрира през отпадъците. От голямо значение е взимането на строги мерки и наблюдение на депата за отпадъци. Благодарение на Дистанционните изследвания може да се направи ефикасен и комплексен мониторинг на регламентирани и нерегламентирани депа за отпадъци. Целта на настоящата разработка е да се разкрият възможностите на аерокосмическите данни и да се покажат различни методи за обработка, интерпретация и визуализация. Използвани са оптични изображения от мултиспектралния инструмент (MSI) на платформата Sentinel 2 на програмата Copernicus на Европейската космическа агенция. Топлинните канали от сензорите Landsat 5 – 7 (ETM) и Landsat 8/9 (OLI / TIRS) от програмата Landsat са използвани за изчисляване на температурата на земната повърхност. С цел първично разпознаване на изследваните обекти, сателитните изображения са ортогоназирани

Introduction

On a global level, unregulated landfills are a growing problem. Illegal dumping is the improper disposal of waste at any location other than a regulated landfill or facility. It is known as “open dumping” or “midnight dumping”. The most common sight is in open areas, in ditches, on the outskirts of settlements, in wooded areas, streams and rivers. The risks to human health associated with illegal dumping are significant. Unregulated landfills may be accessible to people who could come into contact with chemicals (liquids or dust) or be injured by metal waste materials and sharp edges of glass or metal objects.

The present work examines the case of the unregulated landfill, which is located on the territory of the city of Sofia, in close proximity to the residential districts of Mladost 4 and Gorublyane. The area on which an unregulated landfill is located is on groundwater, which can cause various environmental problems. Dumping of earth masses, construction and household waste has been observed for several months. According to the project, the surveyed territory was intended for a park. Inspections were carried out by the metropolitan municipality, but to date no measures have been taken.

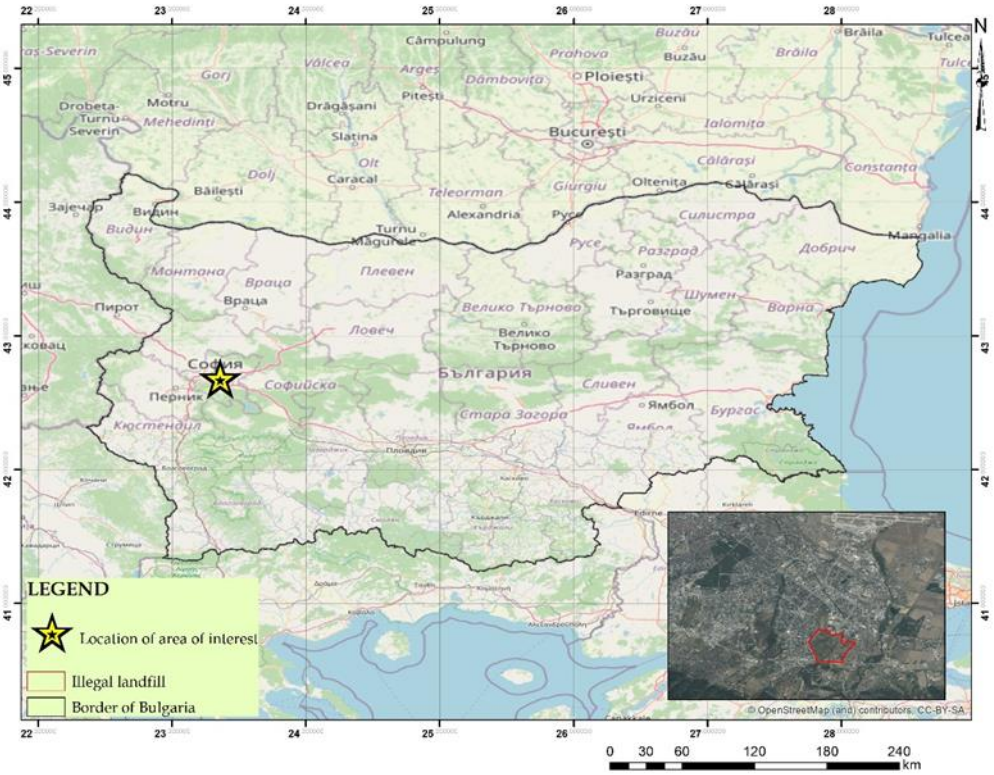


Fig. 1. Location of area of interest

Materials and methods

This survey methodology is based on the use of satellite data that examines bands on the thematic infrared sensors (TIRS). From this data, information is extracted about the actual heat emission of waste disposal sites, which is related to the land surface temperature of the surveyed sites. The landfill temperature is calculated using the Digital Number (DN) contained in the TIRS. The multispectral instrument (MSI) Sentinel-2 sensor data is used for the spectral characteristics. The same data was also used for Tasseled Cap Transformation (TCT) and this is the most commonly used landfills recognition method. [1].

A general formula for Landsat 4–9 can be written:

(1) $$T_{[K]} = a * ln^{-1}\left(\frac{b}{c*Q+d} + 1\right)$$

Where *a, b, c*, and *d* are the constants for the different types of Landsat images, T is the pixel temperature (K), Q is the spectral brightness coefficient of the surface in the thermal band. Landsat (4–9) satellite images are downloaded from web page https://earthexplorer.usgs.gov/ [2].

After the georeferencing procedure of the thermal images the cutting out of the rectangular sections in each image covering the vicinity of the geographic coordinates is carried out. The time series {Q1, Q2, . . . , Qn} of the images in the thermal channel of each WDS are extracted. The data from the image is converted into the surface temperature {T1, T2, . . . , Tn} using transformation:

(2) $$T_{[°C]} = a * ln^{-1}\left(\frac{b}{c*Q+d} + 1\right) - 273.15$$

Where:

a is the K_2 = Thermal conversion constant for the band (K2_CONSTANT_BAND_n from the metadata);

b is K_1 = Thermal conversion constant for the band (K1_CONSTANT_BAND_n from the metadata);

c is M_l = Radiance multiplicative scaling factor for the band (RADIANCE_MULT_BAND_n from the metadata);

d is L_λ = Spectral radiance $(W/(m2 * sr * \mu m))$;

Q = L1 pixel value in DN;

T = TOA (Top of Atmosphere) Brightness Temperature [1]

The time series for the illegal dumps are formed together with the mask for clouds and "blankness" and are entered into the database. The time series of images for temperature for the illegal dump of Mladost 4 – Gorublyane area is systematized.

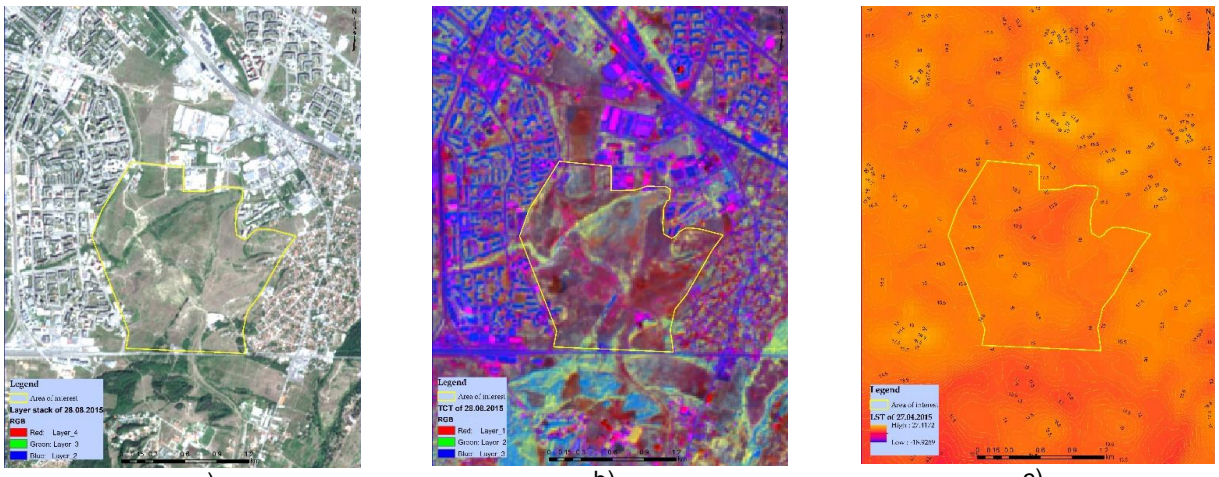
Results

The thermal radiation from an unregulated landfill is monitored. From the research done, it is noticed that the terrain was used for disposal of waste of different composition and origin already in 2012, when the construction of this part of the Mladost 4 district began (Fig. 2). Different satellite data from different years and seasons were used to process the images



Fig. 2. Illegal dump of Mladost 4, Source: Google earth, orthophoto from 2012

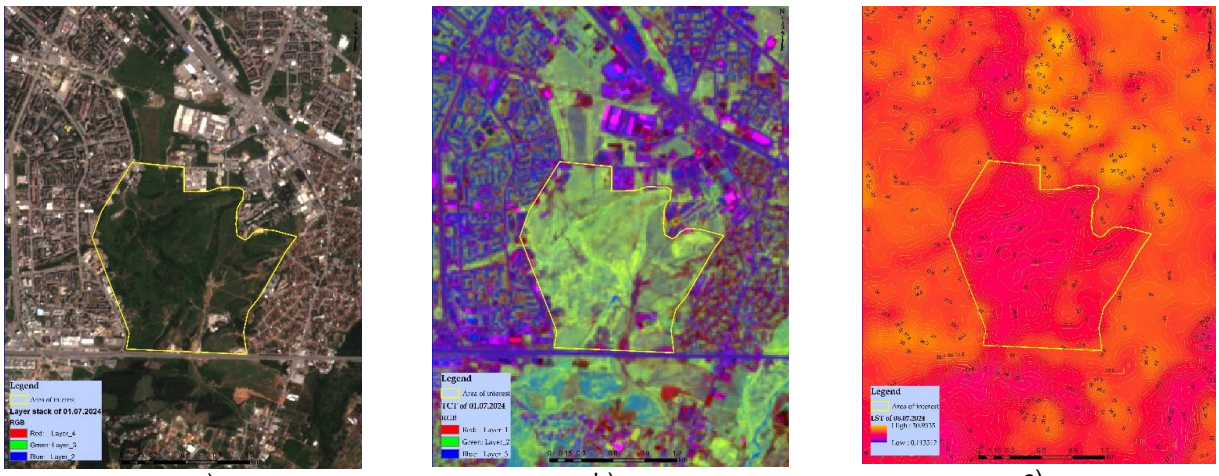
Sentinel 2 images used were transformed by tasseled cap. This model proves to be very effective in recognizing specific types of vegetation and their change over time. The unitary matrix of the Tasseled Cap transformation is fixed for each sensor. The use of TCT for satellite images results in a pure rotation and translation, thus the results obtained have a changed structure compared to the primary data, which allows for a clearer and more precise recognition and classification of the different components (soils, vegetation, water) from the land cover. After the segmentation of the satellite images, homogeneous clusters are obtained, which are clearly defined - brightness, greenness and wetness [3].



a) b) c)

Fig. 3. Different interpretation of illegal dump of 28.08.2015

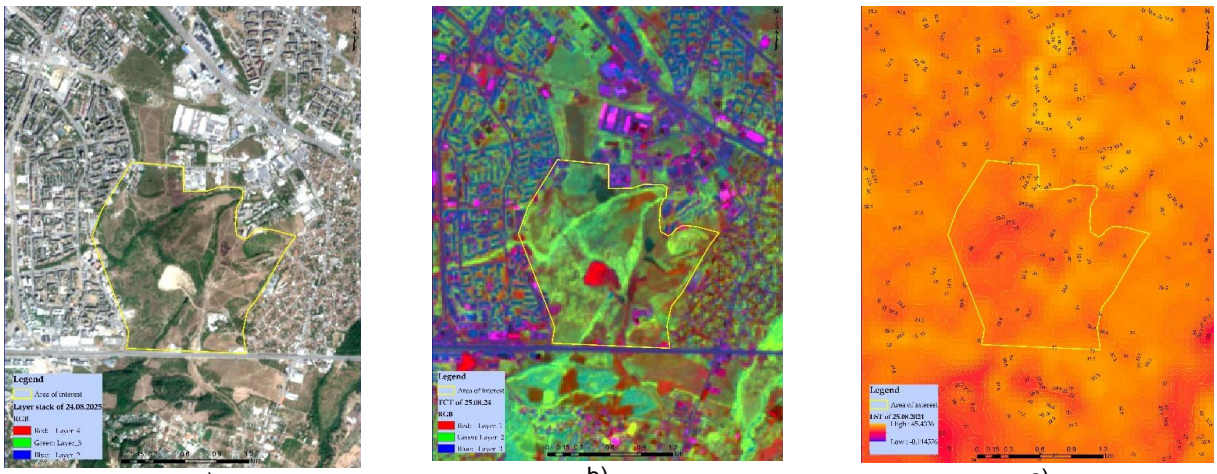
Figure 3 a) shows a composite image from Sentinel 2 in the visible range, where the distribution of waste in the affected part of the territory can be visually seen. Figure 3 b) shows the TCT for the same date, observing the distribution of litter along a north-south direction. To prove the thermal pollution theory, the thermal band from Landsat 8 was used (Fig. 3 c). A higher temperature is observed on the north-eastern side of the studied site, as there are industrial buildings with sheet metal roofs, which have heated up and in this case emit a greater amount of heat than the surrounding environment. Inside, within the boundaries of the object, it can be seen that the places where the waste is located have a higher temperature than the rest of the surface, and it varies + 15 °C and reaches + 17 °C, where the accumulation of waste is more – large (Fig. 3 c).



a) b) c)

Fig. 4. Different interpretation of illegal dump for July, 2024

From 2015 to July 2024, this practice of illegal dumping of waste is gradually ending and is taking shape as a period of "lull". A return of the vegetation cover was observed in the studied territory. This is also clearly visible from the presented 3 images from figure 4. In figure 4 a) a composite is made in the visible range of the electromagnetic spectrum. In figure 4 b) TCT is made. In this case, the vegetation can stand out most clearly from the rest of the surface. The remaining anthropogenic objects such as buildings, roads, etc. are clearly visible. From the calculated surface temperature, the usual heat islands that are characteristic of landfills are not observed, excluding the others that are heat islands from the urban environment (Fig. 4 c).



a) b) c)

Fig. 5. Different interpretation of illegal dump of 25.08.2024

A month later, the terrain is again used for disposal of waste of different composition and nature. From the presented composite image with 4-3-2 optical channels, a huge spot appears, which was not there until this stage (4 a). The TCT of the image clearly shows that it is something that is not characteristic of the study area. From the land surface temperature (4 c), a rise in temperature is observed precisely in the part where this spot is observed. It is also possible to notice a spread of this temperature in separate parts of the area of interest. The temperature in the center of the affected area varies from + 31 °C and reaches + 33.5 °C. A drone shot of the affected area was taken. From the obtained results, uncontrolled disposal of waste is clearly visible in the entire territory of the studied area.



Fig. 6. Drone images

Conclusions

Urbanization has a negative impact on the environment mainly by generating pollution, changing the physical and chemical properties of the atmosphere, and covering the soil surface [4]. Thermal energy is another side effect that results from the decomposition of solid household waste. The generation of heat from municipal waste landfills is also responsible for the formation of a microclimatic zone around the landfill, which has consequences for the environment near the landfill. This generated heat is somewhat similar to urban heat islands (Urban Heat Island - UHI) [5].

References:

1. Dancheva, A, Methods for identification and visualization of municipal waste disposal sites using aerospace data, Ecological Engineering and Environment Protection, No 2, 2021, p. 56–60
2. https://earthexplorer.usgs.gov/
3. Spasova, T, Differentiated approach to flooded areas, surface water monitoring sites and wet snow cover based on remote sensing methods and GIS", p. 18–20
4. https://www.urbanheatislands.com/home
5. Mahmood, Khalid & Batool, Syeda & Faizi, Fiza & Nawaz Chaudhry, Muhammad & ul haq, Zia & Rana, Asim & Tariq, Salman. (2017). Bio-thermal effects of open dumps on surroundings detected by remote sensing—Influence of geographical conditions. Ecological Indicators. 82. 10.1016/j.ecolind.2017.06.042
6. Hu, X.; Xu, H. A new remote sensing index for assessing the spatial heterogeneity in urban ecological quality: A case from Fuzhou City, China. Ecol. Indic. 2018, 89, 11–21.
7. Nedkov, R.,Orthogonal transformation of segmented images from the satellite Sentinel - 2,"Comptes rendus de l'Académie bulgare des sciences,70(5), 687–692 (2017)
8. Richter, A., M. Kazaryan, M. Shakhramanyan, R. Nedkov, D. Borisova, N. Stankova, I. Ivanova, and M. Zaharinova. "Quality enhancement of satellite images and its application for identification of surroundings of waste disposal sites," Proc. SPIE 10444, 104441N-1-7 (2017).
9. USGS, Landsat 8 Data Users Handbook, 2016, vol.2 URL: https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf
10. Tucker, C.J., "Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation," Remote Sensing of Environment, 8, 127–150 (1979).

ПРИЛОЖЕНИЕ НА СПЪТНИКОВИ ДАННИ ОТ SENITINEL-2 ЗА МОНИТОРИНГ НА СНЕЖНАТА ПОКРИВКА ОТ ТЕРИТОРИЯТА НА НП „ЦЕНТРАЛЕН БАЛКАН“, СТАРА ПЛАНИНА

Андрей Стоянов

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

Ключови думи: *спътникови данни, нормиран разликов снежен индекс (NDSI), снежна покривка*

Резюме: *В настоящето изселдване са използвани оптични спътникови данни от Sentinel-2 MSI за период от 10 години, от месец април, от територията на Национален парк „Централен Балкан“. Генериран е нормиран разликов снежен индекс NDSI, за всеки от месеците, на база получените стойности от използвания индекс е проследена динамиката на пространственото разпределение на снжежната покривка. Определени са индивидуални прагови стойности за всеки генериран индекс, от всяко оптично спътниково изображение и са получени резултати, включващи изчислените площи заети от сняг през изследвания период.*

APPLICATION OF SENTINEL-2 SATELLITE DATA FOR MONITORING SNOW COVER IN TERRITORY OF “CENTRAL BALKAN”, STARA PLANINA

Andrey Stoyanov

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

Keywords: *satellite data, normalized difference snow index (NDSI), snow cover*

Abstract: *In the present study, optical satellite data from Sentinel-2 MSI for a period of 10 years, since April, from the territory of the „Central Balkan“ National Park were used. A normalized difference snow index NDSI was generated for each of the months, the dynamics of the spatial distribution of snow cover was monitored based on the values obtained from the index used. Individual threshold values were determined for each generated index, from each optical satellite image, and results were obtained including the estimated areas covered by snow during the study period.*

Въведение

Процесите свързани с промяната на глобалния климат включавщи „глобалното затопляне“ и тендецията на „засушаване“ на климата особено силно изразено на територията на Европа [1], оказват пряко негативно влияние върху количествата на снеговалежите, както и върху снеготопенето и снегозадържането, в частност и на територията на РБългария. През последното десетилетие се проявява тенденция на зачестяване на т.нар. „безснежни“ зими, особено в териториите разположени под 1000 m надм.в., което съответно има своите негативни ефекти върху селското стопанство, горските ресури, водните запаси, и засилване процесите на „засушаване“. Основните фактори оказващи влияние върху образуването и задържането на снежната покривка са количеството на снеговалежите, температурата на въздуха и почвата [2].

В настоящата разработка са представени резултати получени от проект „*Мониторинг на сезонната динамика и устойчивост на снежната покривка в планинския пояс на Р България за период от 10 години (2014–2024) на база Дистанционни изследвания*“, обхващащ териториите разположени над 1000 m надм.в., като обект на изследване в настоящото изследване е избран НП „Централен Балкан“ в Централна Стара планина, заемащ площ от 716.69 км^2. Времевата рамка на изследването обхваща периода 2015–2024 г., като е

избран месец април от всяка година, чиито получени данни служат като индикатор за устойчивостта на снежната покривка (сняг, който се задържа не по-малко от един месец) за съответната година.

Методика

Методиката за мониторинг на снежната покривка включва: придобиване и обработка на оптични спътникови изображения от Sentinel-2 MSI [3] в Google Earth Engine (GEE) [4] и Arcmap **=>** генериране на растерен псевдокомпозит на всяко изображение в комбинация на каналите КВИЧ-ИЧ-Зелен, SWIR-IR-Green (11-8-3), очертаващ пространственото разпределение на териториите заети от сняг **=>** генериране на снежния индекс NDSI (1) [5] **=>** определяне на прагова стойност за всеки отделен генериран индекс чрез визуална интерпретация и използването на класификация в софтуера Arcmap **=>** рекласификация на стойностите от индекса **=>** генериране на векторна „маска“ на снежната покривка **=>** изчисление на териториите заети от сняг за всяка избрана година **=>** верификация с климатични данни от НИМХ **=>** сравнение, интерпретация и анализ на получените резултати.

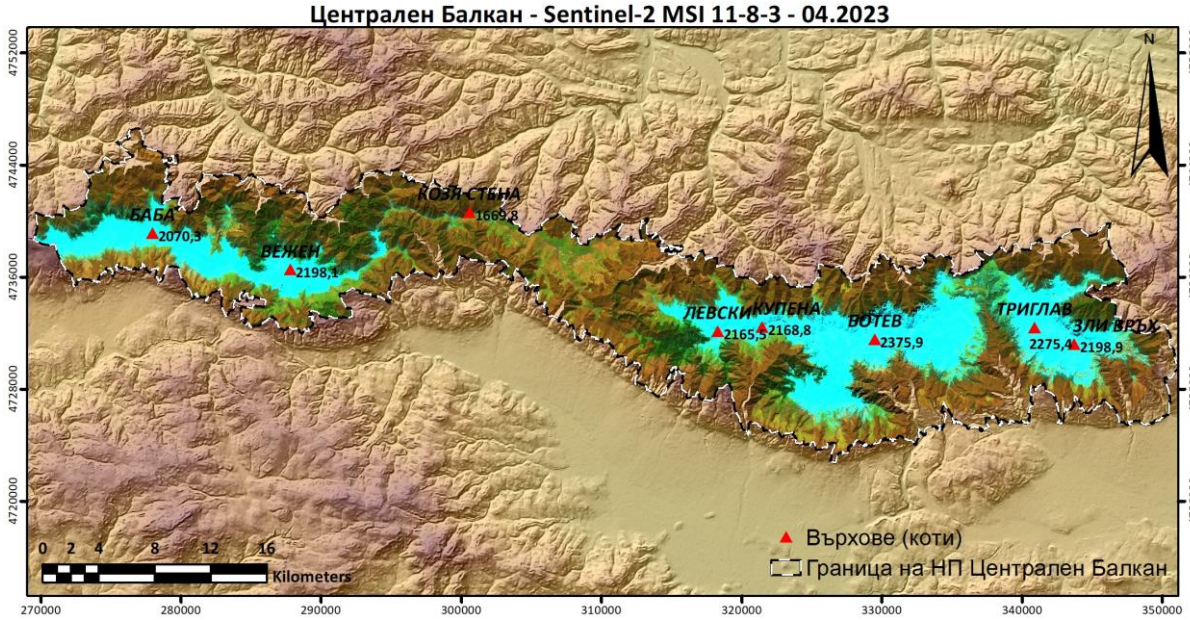
(1) $$NDSI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)}$$

Общоприетата прагова стойност, използвана за определяне на наличието на сняг е NDSI >0,4, но някои изследователи предлагат, NDSI да бъде настроен според конкретната ситуация с методи за избор на прагова стойност, въз основа на визуална проверка/интерпретация, емпирична връзка или автоматизиран подбор [6,7].

Данните получени от генерирания код в GEE представляват мозайки от оптични изображения от Sentinel-2 (с „облачност“ вариращa от 0–40%), избрани през съответния месец, като на всяка декада от месеца чрез визуална интерпретация са проследени наличието и промяната в пространственото разпределение на снежната покривка от изследваната територия.

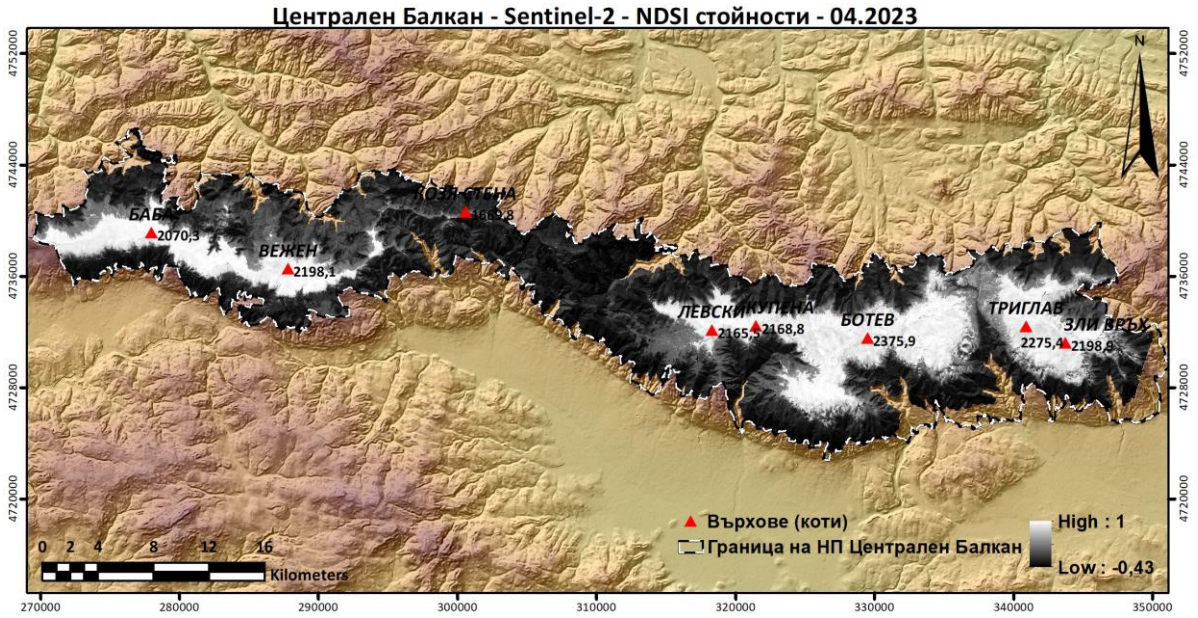
Резултати

Приложените фигури са представителна извадка за годините 2023 и 2024, от целия период на изследване 2015–2024г., показващи основните резултати поулчени от приложената методика за мониторинг на снежната покривка. На Фиг. 1 е представена карта в проекция UTM Зона 35 на изображение на Sentinel-2 MSI, генерирано от GEE, в комбинация на каналите 11-8-3 за територията на обекта на изследване, където е визуализирано пространственото разпределение на снежната покривка за м. април, 2023 г.



Фиг. 1. Карта на изображение от Sentinel-2, в комбинация на каналите 11-8-3 за месец април 2023 г.

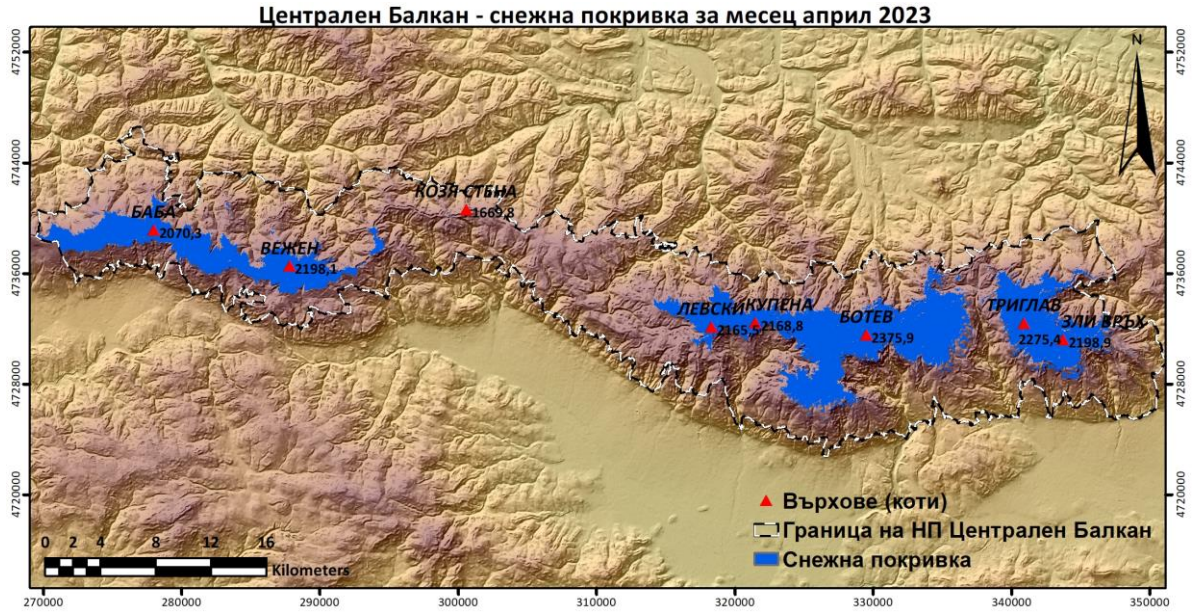
На Фиг. 2 е представена карта в проекция UTM Зона 35 на пространственото разпределение стойностите на генерирания NDSI, в черно-бяла цветова гама, избраната праговата стойност в този случай е NDSI > **0.39**, като снежната покривка е оцветена в бяло.



Фиг. 2. Карта с пространственото разпределение на стойностите на NDSI за м. април 2023 г.

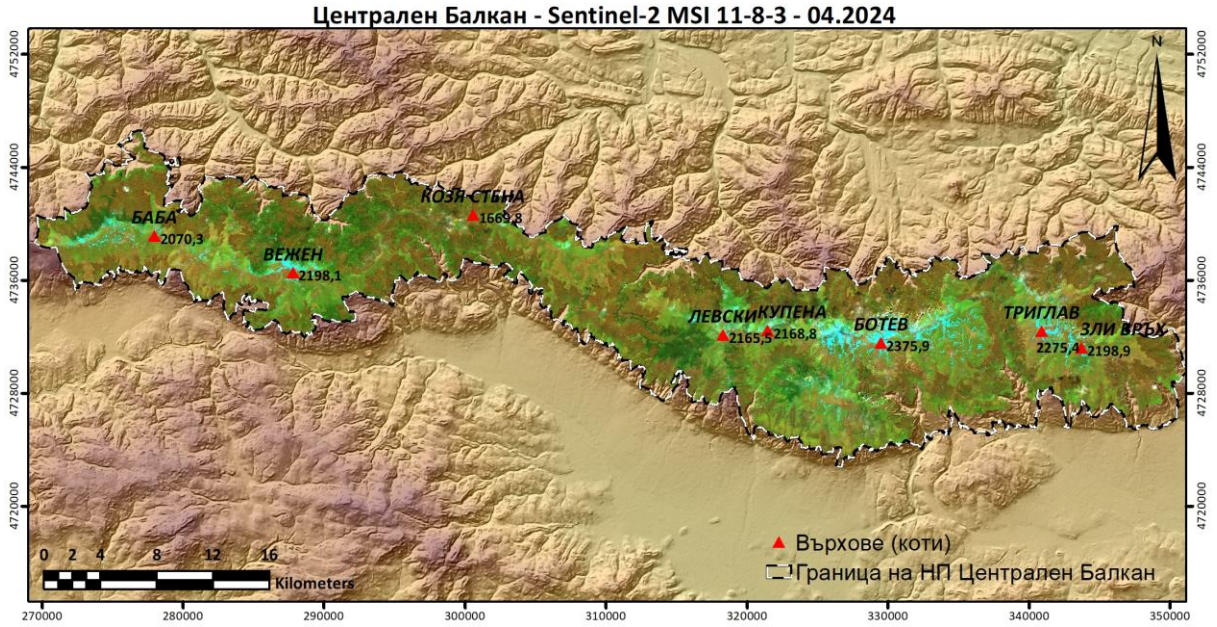
При сравнение на данните от Фиг. 1 и Фиг. 2, се вижда способността на използвания снежен индекс, да очертае ясно териториалния обхват на снежната покривка при определена зададена прагова стойност. На Фиг. 3 е представена карта на снежната покривка във векторен формат, представляващ стойностите от зададения праг на NDSI > **0.39**, където площта на териториите заети от сняг е изчислена на **151.13** km^2.

На база получените резулатати, границата във височина на устойчивата снежна покривка за м. април 2023 г., започва приблизително от 1700 m надм.в. Данните от бюлетина на НИМХ [8] за количествата снеговалежи през този месец показват слаби превалявания от сняг като дебелината на снежната покривка при вр. Ботев е била 147 cm в началото на месеца и вследствие на снеговалежи от 25.04, дебелината е достигнала до 190 см в края на месеца. При сравнение на получените резултати (при изпълнение на гореспоменатия проект) от обработката на данни от Landsat 8 OLI-TIRS за 2015 г., височината на устойчивата снежна покривка за м. април 2015 г., е започвала приблизително от 1500 m надм.в. за територията на Централна Стара планина.



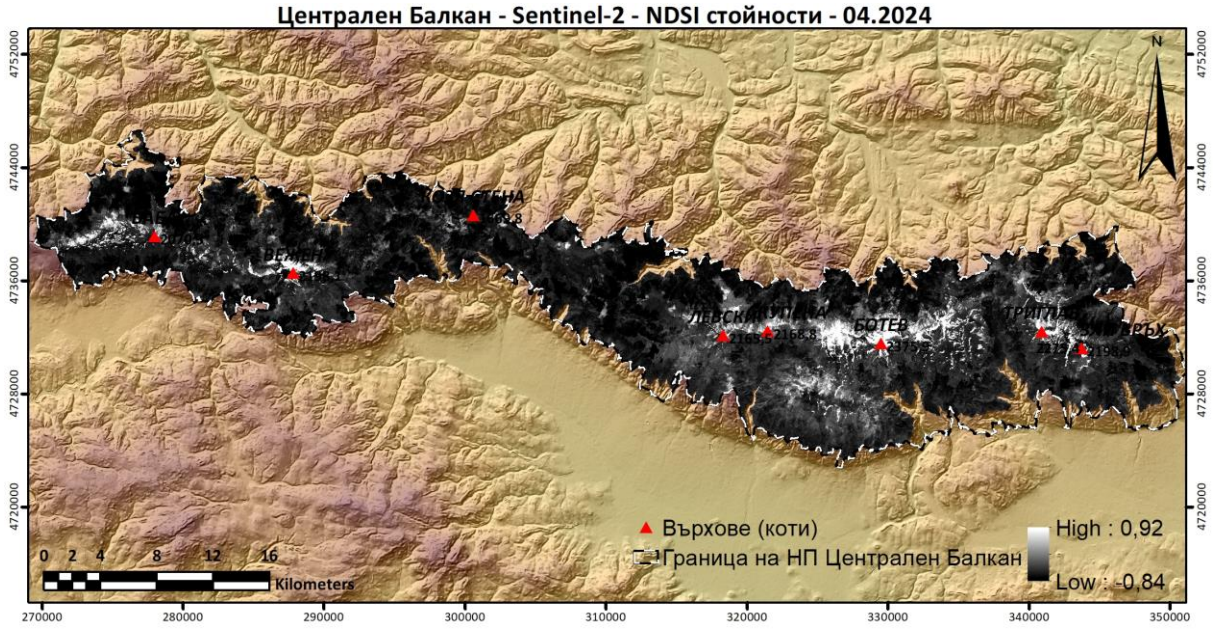
Фиг. 3. Карта с пространственото разпределение на снежната покривка за м. април 2023 г.

На Фиг. 4 е представена карта в проекция UTM Зона 35 с изображение на Sentinel-2 MSI, генерирано от GEE,в комбинация на каналите 11-8-3, от територията на обекта на изследване, на която е визуализирано пространственото разпределение на снежната покривка за м. април, 2024 г.



Фиг. 4. Карта на изображение от Sentinel-2, в комбинация на каналите 11-8-3 за м. април 2024 г.

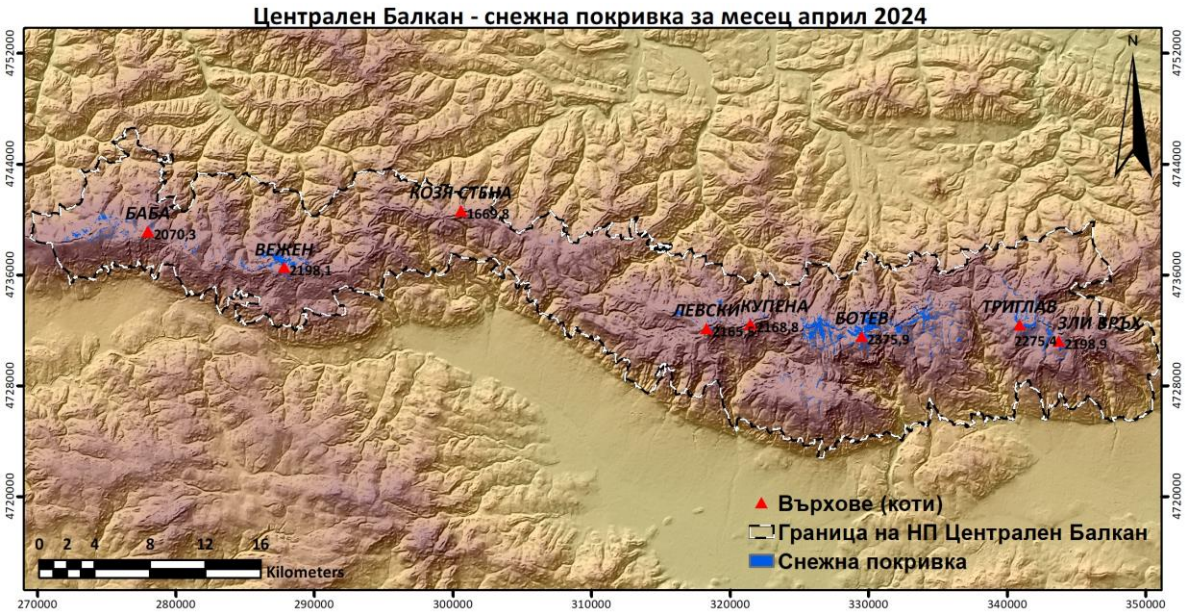
На Фиг. 5 е представена карта с пространственото разпределение на стойностите на NDSI за месец април 2024 г., избраната прагова стойност очертаваща снежната покривка е NDSI > **0.29**.



Фиг. 5. Карта с пространственото разпределение на стойностите на NDSI за м. април 2024 г.

На Фиг. 6 е представена карта на снежната покривка във векторен формат („маска“), представляващ стойностите от зададения праг на NDSI > **0.29**, където площта на териториите заети от сняг за м. април 2024 е изчислена на **1.95** km^2. Според получените резултати, границата във височина на устойчивата снежна покривка за м. април 2024 г., започва приблизително от 2000 m надм.в. В данните от бюлетина на НИМХ [9], са регистрирани

снеговалежи през този месец единствено на 20.04. и 21.04, няма данни за дебелината на снежната покривка при вр. Ботев.



Фиг. 6. Карта с пространственото разпределение на снежната покривка за м. април 2024 г.

На Таблица 1 са показани изчислените площи заети със снежна покривка за целия изследван период и определените индивидуални прагови стойности на NDSI за всяка година, на Фиг. 7 е показана графика с динамиката на снежната покривка за изследвания период.

Таблица 1. Площи заети със снежна покривка и прагови стойности на NDSI

Година (м. април)	**Сателит, сензор**	Прагови стойности на **NDSI**	Площи със снежна покривка (km^2)
2015	Landsat 8 OLI-TIRS	0.34	240.39
2016	Sentinel-2 MSI	0.36	26.89
2017	Sentinel-2 MSI	0.58	75.28
2018	Sentinel-2 MSI	0.40	7.09
2019	Sentinel-2 MSI	0.38	109.85
2020	Sentinel-2 MSI	0.35	107.23
2021	Sentinel-2 MSI	0.37	199.41
2022	Sentinel-2 MSI	0.21	134.62
2023	Sentinel-2 MSI	0.39	151.13
2024	Sentinel-2 MSI	0.29	1.95



Фиг. 7. Графика на динамиката на снежната покривка за изследвания период 2015–2024 г.

За целия наблюдаван времеви период, най-големи площи заети от сняг са регистрирани през 2015 и 2023 г., докато най-малките такива са през 2016, 2018, и 2024 г., което показва силно негативна тенденция в състоянието и разпространението на снежната покривка в планинския пояс на Централна Стара планина.

Заключение

На базата проведеното изследване и получените резултати от приложента методика с използване на снежния индекс NDSI, се наблюдава негативна тенденция в пространственото разпределение на площите заети от снежна покривка, от територията на НП „Централен Балкан“ и в нейната устойчивост за периода 2015–2024 г. През 2015 г., площите заети от сняг се изчисляват на 240 km^2, разположени над 1500 m надм.в, докато към 2024 г. те се равняват на 1.95 km^2, при височина над 2000 m. През изследвания времеви период, въз основа на получените резултати и извършения анализ, изместването на границата на устойчивата снежна покривка по височина се оценява на приблизително 500 m.

Благодарности

Проведеното изследване и получените резултати са финансирани от проект по договор КП-06-М64/1 с фонд „Научни изследвания“ към Министерството на образованието и науката, на тема: *„Мониторинг на сезонната динамика и устойчивост на снежната покривка в планинския пояс от територията на Р. България за период от 10 години (2014–2024) на база Дистанционни изследвания“* от 15.12.2022 г.

Литература:

1. https://unric.org/en/climate-europe-warming-faster-than-rest-of-world-ipcc/.Велев, Ст. „Климатът на България“. София, Народна просвета, 1990.https://dataspace.copernicus.eu/https://code.earthengine.google.com/Hall, D.K. and Riggs, G. A., “Normalized-Difference Snow Index (NDSI) in Encyclopedia of Earth Sciences, Encylopedia of Snow, Ice and Glaciers”, 779–780, 2011.
6. Yin, D., Cao, X., Chen, X., Shao, Y., and Chen, J., “Comparison of automatic thresholding methods for snow-cover mapping using Landsat TM imagery” International Journal of Remote Sensing, 34:19, 6529–6538, 2013.
7. https://viirsland.gsfc.nasa.gov./PDF/VIIRS_snow_cover_ATBD_2015.pdf
8. https://bulletins.cfd.meteo.bg/bull/Buletin_NIMH_202304.pdf
9. https://bulletins.cfd.meteo.bg/bull/Buletin_NIMH_202404.pdf

АРХЕОЛОГИЯ И ЛАНДШАФТ. ИЗПОЛЗВАНЕ НА АЕРОФОТОГРАФИЯТА ПРИ ВЪЗСТАНОВЯВАНЕ НА СЕЛИЩНИТЕ МОДЕЛИ В ОКОЛНОСТИТЕ НА АНТИЧНА МЕСАМБРИЯ ПОНТИКА

Живко Узунов[1], Биляна Костова[2], Ралица Берберова[2]

[1]Нов български университет, Департамент „Археология“
[2]Нов български университет, Департамент „Природни науки“
e-mail: jivko_uzunov@nbu.bg; bkostova@nbu.bg; rberberova@nbu.bg

Ключови думи: *аерофотография, ГИС, ландшафтна археология, Месамбрия Понтика*

Резюме: *Изследвани са местата на заселване в миналото в околностите на антична Месамбрия Понтика. Чрез теренни проучвания в изследваната територия са установени площи, в които днес са налични реки, без да се регистрират следи от заселване и обратно – на места, където днес не преминават реки, се установяват такива. Основен подход за търсенето на причините за такива несъответствия е използването на методите на ландшафтната археология. Чрез аерофотография е изследвано изменението в ландшафта в околностите на антична Месамбрия Понтика с цел установяване на причините за наличие/отсъствие на археологически селищни обекти на определени площи от изследваната територия. Използваните дистанционни методи позволиха да се установи, че наблюдаваните несъответствия са причинени от един от следните два фактора: (i) антропогенна намеса – коригиране на речните корита, довело до заличаване на малките речни притоци и (ii) геоложка еволюция на терена.*

ARCHEOLOGY AND LANDSCAPE. USE OF AERIAL PHOTOGRAPHY IN RECONSTRUCTION SETTLEMENT MODELS IN THE AREA OF THE ANCIENT POLIS MESAMBRIA PONTICA

Zhivko Uzunov[1], Bilyana Kostova[2], Ralitza Berberova[2]

[1] New Bulgarian University, Department of Archaeology
[2]New Bulgarian University, Department of Natural Sciences
e-mail: jivko_uzunov@nbu.bg; bkostova@nbu.bg; rberberova@nbu.bg

Keywords: *Aerial photography, GIS, landscape archaeology, Mesambria Pontica*

Abstract: *The places of settlements in the ancient polis Mesambria Pontica area were investigated. The archaeological field surveys show a discrepancy in some parts of the study area, namely where rivers are present today, there are no registered traces of settlement, and vice versa - in places where no rivers pass today, such was established. A basic approach to investigating the reasons for such discrepancies is the use of landscape archaeology methods. Through aerial photography, the following reasons for the discrepancies registered were found: (i) anthropogenic influence - correction of river beds, which led, as well, to the obliteration of small river tributaries, and (ii) geological evolution of the terrain.*

Въведение

Ландшафтът на дадена територия има два аспекта: екологичен и антропогенен. Екологичният е комбинация от климат, води, релеф, растителност, фауна. Антропогенният представя човешкия отпечатък, като представя ефектите на културните процеси, настъпили във времето – нарушаването на естествената растителност, отглеждане на културни растения и животни, изграждане на селища и т. н. Ландшафтната археология може да се разглежда в два аспекта: (i) емпиричен, показващ взаимодействието на човека и околната среда в дадена област в миналото и (ii) съвременните виждания за значимост на ландшафта за хората в миналото. Ландшафтната археология изучава как са били структурирани дейностите на човека

в миналото на конкретна територия, като позволява да се направи реконструкция на моделите на живот на хората на дадена територия в определен времеви период [1]. Често изборът за заселване в миналото на дадена територия е продиктуван от близостта до водоизточници. Във връзка с това проследяването на древните и съвременни корита на реките е от ключово значение при разбиране на механизма на заселване в древността.

В околностите на антична Месамбрия Понтика са разположени три големи реки – Хаджийска, Бяла и Ахелой, както и техните по-малки притоци. В района са установени археологически обекти със селищен характер, известни от теренни издирвания, направени в периода 2013–2024 г. Общият брой на регистрираните обекти е над 450 и са датирани от всички исторически периоди [2–5]. Голяма част от обектите само са регистрирани при теренни издирвания, без да са извършвани археологически разкопки. Определянето им като селища е на база откритите по повърхността материали. Най-малък дял от тях принадлежат на праисторическите периоди – халколит и бронзова епоха. С най-голям брой са обектите от I хил. пр. Хр. и по-точно от втора половина на хилядолетието, както и от римската и късноантичната епохи. В изследваната територия са установени и площи, в които днес са налични реки, без да се регистрират древни селища и обратно – на места, където днес не преминават реки, се установяват такива.

Районът на Месамбрия Понтика се характеризира с изключително големи изменения в ландшафта, започнали през първата половина през XX в., извършени с цел увеличаване на площите, подходящи за земеделие, като това е наложило промяна и изместване на естествените речни корита, което е довело до унищожение на повечето малки реки и потоци. Наложените антропогенни промени са голяма пречка при разбирането на механизма на избор на заселване в древността, което налага възстановяване на древния ландшафт с цел адекватна реконструкция на селищните модели в близката околност на Месамбрия Понтика. Реконструкцията на ландшафта в района е извършена чрез пространствено моделиране с помощта на географски информационни системи (ГИС), което позволи да се проследи първоначалното местоположение на коритата на реките в района.

Материали и методи

Материали

За осъществяването на целите за реконструкция на ландшафта са използвани ортофото изображения, едноверствова и триверстова топографски карти и изображения от летяща платформа.

Ортофото изображенията са направени през 1941–1942 г. с помощта на самолет в подходящи условия в мащаб 1:10000. Съхраняват се във филм архива на Военната географска служба. Изображенията са дигитализирани с резолюция 1200 dpi и са георефериранi с цел пространственото им ориентиране.

Ортофото изображенията са сравнени с информация от първата карта със сравнително точно заснемане, а именно триверстовата топографска карта от 1877–1878 г., изготвена от руската топографска служба. Основната цел на сравнението на ортофото изображенията и данните от топографската карта е проследяването на измененията и корекциите на речните корита в периода преди 1941–1942 г. За основа на топографската карта е използвана, „едноверстовата" карта в мащаб 1:42000 с височина на сечението през 5 сажена (10.67 m). Именно на едноверстовата топографска карта руската топографска служба издава карти в мащаби 1:126000 (триверстова) и 1:210000 (петверстова). Триверствотата топографска карта е дигитализирана в резолюция 1200 dpi и също е георефериранa.

За постигане на определените цели са използвани и изображения, заснети чрез безпилотна летяща платформа с камера, чрез които са изготвени триизмерни модели на терена, където се разполагат селищата и могилните насипи.

Методи

Георефериране на ортофото изображения и топографски карти:

Чрез георефернрането се постига поставяне на изображението/картата в неговите реални географски координати. Методът се осъществява ръчно, тъй като в архивите, от който са заимствани, не се пази информация за наземните координати, по които се е извършвало заснемането и са изготвяни картите. За целта са избирани географски отличими забележителности, за които са извлечени реални координати, снети с диференциален GNSS/GPS, оперирщ с точност на позициониране 10–15 cm. Снетите координати са привързани към ортофото изображенията и топографските карти, като е постигнатата точност на позициониране под 0.50 m (за ортофото изображенията) и под 1 m (за топографските карти).

Безпилотна летяща платформа:

DJI Mavic 3 Pro Fly More Combo (DJI RC), оборудвана с 4/3 CMOS Hasselblad камера (резолюция 20 MP) и две двойни телекамери.

За анализиране на данните и изготвяне на карти е използван софтуер ArcGis, версия 10.5.

Резултати и дискусия

Използването на аерофотографии, направени през 1941–1942 г., исторически топографски карти от 1877–1878 г., както и резултатите от теренните издирвания показват, че до този момент няма открито селище, което да не се намира в близост до една от трите големи реки в района (Ахелой, Хаджийска и Бяла) или техни малки притоци. Анализът, направен с помощта на ГИС софтуер, показва, че в почти всички случаи разстоянието, на което се намират селищата спрямо реките, е не повече 100–150 m.

До този момент проучванията в района установяват, че най-голям брой селища се разполагат по р. Ахелой, следвани от тези по р. Хаджийска и на последно място – на р. Бяла. Тази констатация е валидна за всички исторически периоди, като концентрацията на археологически обекти около р. Ахелой се дължи и на факта, че реката е претърпяла най-малко корекции и изменения през XX в. и съответно запазеността на археологическите обекти е най-висока, като те са сравнително лесно видими за разлика от тези, разполагащи се по бреговете на другите две реки. Река Хаджийска, която е най-пълноводната река, е претърпяла най-много корекции и изправяне на коритото си, като тук е построен и голям изкуствен водоем – язовир Порой. Строителството на язовира е разрушило част от обектите, намиращи се в непосредствена близост до бреговете на реката и единствено изпускането на язовира, извършено поради техническа профилактика, направи възможна регистрацията им. Не по-малък проблем представлява превръщането на част от площите, разположени около р. Бяла, в пасища, което допълнително затруднява наблюдението при извършване на издирване на археологически обекти. Канализирането на притоци по р. Бяла също засяга част от археологическите обекти.

Корекцията на коритата на реките Бяла и Хаджийска през изминалия век, освен че освобождава повече обработваеми площи, е имала за цел да понижи нивото на подземните води [6]. Въпреки тези промени наблюденията, направени върху последните две реки, показват една закономерност при археологически обекти около тях, а именно разполагането им на техни преки притоци в непосредствена близост до вливането им в реката.

В резултат на антропогенна дейност (селскостопанска обработка) се заличават малки притоци. Такъв е случаят с приток на р. Ахелой, който ясно се наблюдава на аерофото изображение от 1941 г. (Фиг. 1), а на такова от 2016 г. – отсъства (Фиг. 2).

В резултат от теренните изследвания през 2020–2024 г. в района на близките околности на Месамбрия Понтика е установен обширен район с площ над 15000 da, в който не е регистриран нито един археологически обект. Районът се простира западно от Слънчев бряг и днес се характеризира с равнинен терен, зает от обработваеми площи. Отсъствието на археологически обекти може да бъде обяснено след като се обърне внимание на ландшафта, съществуващ преди началото на XX в. Информация за промени в ландшафта предоставя топографската карта от 1877–1878 г., на която тази територия ясно е изобразена като блато (Фиг. 3).

Превръщането на територията в блато е резултат от флуктуациите на Черно море във времето. Известно е, че нивото му не е константно, като при тези колебания са засвидетелствани покачвания на нивото, известни като трансгресия. Трансгресия е доказана между халколита и ранната бронзова епоха [7]. В днешно време територията на блатото представлява депресия и се намира на по-ниско ниво от Черно море, което допринася за високото съдържание на водоразтворими неорганични соли – хлориди, сулфати, бикарбонати и нитрати в почвите, което ги прави крайно неблагоприятни за отглеждане на земеделски култури. За да се предпазят от засоляване, през първата половина на XX в. се организират действия по прекъсване на връзката на повърхностните почвени хоризонти с минерализираните подземни води чрез дренажна система и отстраняване на водоразтворимите соли чрез промиване с прясна вода [6].



Фиг. 1. Река, преминаваща до праисторическа селищна могила в землището на гр. Каблешково. Подложка: аерофото изображение от 1941 г.



Фиг. 2. Обезличено от селскостопанската обработка на почвата корито на река, преминаваща до праисторическа селищна могила (обозначена на изображението с номер 10) в землището на гр. Каблешково. Подложка: съвременно аерофото изображение



Фиг. 3. Топографска карта от 1877–1878 г. на близката околност на Месамбрия Понтика

Заключение

Теренните издирвания на археологически обекти, аерофотографиите от първата половина на XX в, данните от топографските карти от XIX в. и сравняването им с ортофото изображения показват, че районът се характеризира с изключително големи изменения в ландшафта. Едни от тях се дължат на геоложка еволюция на част от площите в района. Другите изменения са с антропогенен характер и са извършени през втората половина XX в. с цел увеличаване площите, подходящи за земеделие, като за целта са променени и изместени коритата на реките в областта. В резултат от тези промени повечето малки реки и потоци са заличени към днешна дата. Въпреки мащабната антропогенна намеса през изминалия век все още част от първоначалното положение на речните корита е доловимо и предварителните наблюдения сочат, че на трите големи реки Ахелой, Хаджийска и Бяла, както и на техните по-малки притоци, се разполагат по-голяма част от регистрирани обекти от всички исторически периоди.

Благодарности:

Авторите благодарят на Фонд “Научни изследвания“, проект КП-06-Н80/5 (Ж.У., Б.К.) за финансовата подкрепа.

Литература:

1. Denham, T. 2017. Landscape Archaeology. In: Gilbert, A.S. (eds) Encyclopedia of Geoarchaeology. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4409-0_168
2. Узунов, Ж.. П. Лещаков, А. Божкова, П. Кияшкина, П. Делев, И. Карайотов, Я. Мутафчиева, И. Киров. 2014. Издирвания на археологически обекти в общини Несебър и Поморие. *Археологически открития и разкопки през 2013 г.* 650–653.
3. Узунов, Ж., Б. Думанов, И. Димитрова, Б. Костова, Т. Марваков. 2021. Теренни издирвания в общини Несебър и Поморие. *Археологически открития и разкопки през 2020 г. Книга I.* 66–70.
4. Узунов, Ж., Б. Думанов, И. Димитрова, Т. Марваков. 2022. Теренни издирвания на археологически обекти в общини Несебър и Поморие. *Археологически открития и разкопки през 2021 г. Книга I.* (под печат).
5. Узунов, Ж., Б. Думанов, И. Димитрова, Т. Марваков. 2023. Теренни издирвания на археологически обекти в общини Несебър и Поморие. *Археологически открития и разкопки през 2022 г. Книга I.* (под печат).
6. Пенков М., В. Донов. 1992. Класификация и диагностика на почвите в България във връзка със земеразделянето. София.
7. Дикарёв. В. 2011. О Фанагорийской регрессии Черного моря. *Вестник Московского университета: География, № 1*, 35–40.

СТАНДАРТИЗИРАНА ЛУННА КООРДИНАТНА СИСТЕМА – ОБЗОР

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: *Лунна координатна система, референтна повърхност, контролна точка, начална точка*

Резюме*: Лунната координатна система (ЛКС) е от съществено значение за определяне точното местоположение на обекти, намиращи се на повърхността на Луната и тяхното картографиране. Този обзорен доклад се фокусира върху изследване и внасяне на повече яснота по темата за лунните координатни системи използвани в дистанционните изследвания на лунната повърхност, картография, топография и географски информационни системи (ГИС). Изложена е теоретичната основа на съвременната ЛКС Усреднена Земя/Полярна ос Mean Earth/Polar axis (ME), препоръчана от Международния астрономически съюз (IAU) и прилагана за картографиране на лунната повърхност, като е представена и алтернативната система Главна ос Principal axis (PA). Изтъква се всеобхватното значение и ползи на ЛКС.*

STANDARDIZED LUNAR COORDINATE SYSTEM – OVERVIEW

Iskren Ivanov, Lachezar Filchev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

Keywords: *Lunar coordinate system, reference surface, control point, starting point*

Abstract: *The Lunar Coordinate System (LCS) is essential for accurately determining the location of objects on the Moon's surface and for mapping them. This review paper focuses on exploring and clarifying the topic of lunar coordinate systems used in remote sensing of the lunar surface, cartography, topography, and geographic information systems (GIS). The theoretical foundation of the modern Mean Earth/Polar Axis (ME) LCS, recommended by the International Astronomical Union (IAU) and applied for mapping the lunar surface, is presented, along with the alternative Principal Axis (PA) system. The comprehensive significance and benefits of the LCS are highlighted.*

Въведение

Стандартизираната ЛКС позволява на учени от различни области да използват обща отправна рамка при изучаване на лунната повърхност, която гарантира последователност и точност при нейното изучаване, проучване и картографиране [1, 2]. От жизнена важност е за успешно планиране и изпълнение на изследователски и научни мисии. Наличието на стандартизирана ЛКС улеснява ясната и ефективна комуникация, предотвратява объркванията и грешки при едновременното развитие на лунни мисии на различни агенции и нации. Прави възможно интегрирането на данни регистрирани с апарати от различни мисии и тяхното надеждно архивиране. От съществено значение е за извършване на точни пространствени анализи и създаване на ГИС продукти. ЛКС е в основата на лунните изследвания.

История и развитие на лунната картография и контролни мрежи

За пионер в картографирането на лунната повърхност се приема Галилео Галилей, който през 1610 г., публикува първата лунна карта в своя труд "Sidereus Nuncius". За нейното създаване използва телескоп, изработен от самия него. В днешно време, първенството на Галилей се оспорва, въз основа на запазени документи, от които става ясно, че през 1609 г.

Томас Хариот прави серия от скици на лунната повърхност [3]. През същия век Йоханес Хевелий създава своята подробна карта на лунната повърхност, наречена "Selenographia", с която въвежда система за наименуване на образуванията (обектите) на лунната повърхност (номенклатура). Неговата номенклатура през 1651 г., бива заменена от номенклатурата на Джовани Батиста Ричоли, чието приложение е актуално и към наши дни. През 18-ти век Тобиас Майер започва систематично да записва координати на обекти от лунната повърхност, използвайки телескоп с вградено микрометрично устройство. Той разполага наблюдаваните от него обекти в координатна система чиито център е кратера Манилий (Manilius). По-късно, през 1839 г., Бесел и Шлютер провеждат своите измервания чрез наблюдения на лунната повърхност центрирани върху кратера Мьостинг А (Mösting A). Около 1890 г., Йохан Франц картографира лунната повърхност, като създава мрежа от контролни точки (състоящи се от малки кратери). За точно определяне на тяхното местоположение използва измервателен инструмент (хелиометър) и фотографски способи. Първоначално, лунните контролни мрежи са създадени чрез внимателни наблюдения на обекти от лунната повърхност по изображения, направени при различни фази на Луната, за да се отчетат измененията в гледната точка на наблюдателя произтичащи от Лунната либрация [4].

През 20-ти век с помощта на развиващата се електронна изчислителна техника е съставен референтен списък с обекти и тяхното местоположение, който служи за основа на по-късните лунни контролни мрежи. В средата на 20-ти век, в подготовка за първия космически полет до Луната, по програма Аполо, различни звена на американската администрация, съставят каталози с координатите на обекти от лунната повърхност. По-нататъшно разширяване и сливане на контролните мрежи е извършено от различни научни екипи от Съветския съюз, Обединеното кралство и други нации в духа на първата „Лунна надпревара“. Тези мрежи разчитат на снимки, направени от наземни телескопи, по време на различни фази на Луната. Мисиите "Аполо" позволяват на астронавтите да измерват позициите на специфични ориентири с помощта на секстант. Поставени са лазерни отражатели, част от експеримента Лазерен далекомерен ретрорефлекторен експеримент (LRRR) от пакета Комплект за лунни повърхностни експерименти на Аполо (ALSEP) на местата на Луноход 2, Аполо 11, 14 и 15, както и радиопредаватели от мисиите Аполо 15, 16 и 17 част от ALSEP, чиито местоположения на лунната повърхност са точно определени [5]. Тези постоянни контролни точки, позволяват извършване на тяхното наземно високоточно измерване, чрез лазерна локализация и радио-интерферометрия. Лунар орбитър IV предоставя изображения с висока пространствена разделителна способност.

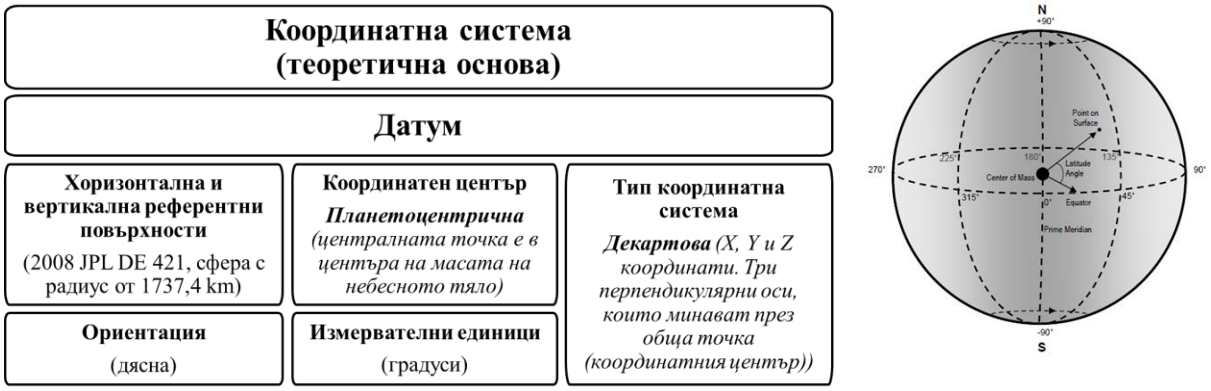
Пътят към изработване на Лунна координатна система продължава с Единната лунна контролна мрежа (ULCN 1987) изградена по данни от мисиите "Аполо", наземни телескопи и изображения заснети от автоматичния космически апарат Маринър 10. Следва ULCN 1994 състояща се от преизчислени и разширени данни на ULCN 1987 плюс точки с местоположение на далечната страна на Луната от изображения заснети от автоматичния космически апарат Галилео. През 1997 г. системата ULCN обхваща Луната глобално, инкорпорирайки данни от мисията Клементин. Със следващата ULCN 2005 се преустановява практиката за контролни точки на лунната повърхност да се ползват обекти. Предприема се нов подход и лунните контролни точки вече са пикселни местоположения върху специфични изображения заснети по време на мисията Клементин. Системата ULCN 2005 през октомври 2010 г. е официално приета от Планетарния регистър на Международния астрономически съюз (IAU) за определяне координатите на обекти на лунната повърхност [6]. През юни 2012 г. Планетарният регистър на Международния астрономически съюз актуализира координатите, използвани за определяне на местоположението на обекти на лунната повърхност с данни регистрирани от апарата Лунен орбитален лазерен алтиметър (LOLA) част от научната апаратура на борда на лунния орбитален космически апарат Лунар Риконъсънс Орбитър (LRO).

Местоположението на Луната в космоса DE 421 и ICRF3

Местоположението на Луната в космическото пространство се определя благодарение на Планетарните и лунни ефемериди 2008 JPL DE 421 ориентирани спрямо Международната небесна референтна система 3 (ICRF3) фиксирана в барицентъра на Слънчевата система [7-9]. Лунната орбита в DE 421 е изчислена въз основа на комбиниране на Лунно лазерно локализиране (LLR) и др. измервания със забележителната точност от под 1 метър. Измерванията извършвани посредством лазерно локализиране на лазерните отражатели на Луната (LLR) и радио-интерферометрията (VLBI) предоставят информация за нейната отдалеченост и ъгъл на изместване. Радио-интерферометричните измервания VLBI на обекти от лунната повърхност са интегрируеми в ICRF3, която е базирана на VLBI измервания на квазари.

Лунна координатна система (ЛКС)

Всяка координатна система има своята теоретична конструкция и нейното практическо реализиране [10]. В следствие на горепосоченото в настоящия доклад терминът „система“ се употребява за посочване на теоретична система и нейния набор от правила и определения за това как да се дефинира и осъществи практически една координатна система. Така всяка реализирана практически координатна система се състои от теоретична основа, специфична терминология, референтна повърхност, референтна мрежа от точки, начална точка, тип координатна система, ориентация и измервателни единици, които формират конструкцията за определяне местоположението на точка върху конкретно небесно тяло (Фиг. 1) [11].



Фиг. 1. Схема на съставните елементи на координатна система и визуализация на планетоцентрични координати

По препоръка на Работна група по картографски координати и елементи на въртене (WGCCRE) на Международния астрономически съюз (IAU) [12]. за вертикална референтна повърхност за Луната се прилага сфера с радиус 1737.4 km. Всяко измерване, чиято стойност надвишава 1737.4 km е положителна височина, реципрочно всяка височина със стойност под 1737.4 km е отрицателна височина. За хоризонтална референтна повърхност се прилагат данните на планетарни и лунни ефемериди 2008 JPL DE 421 плюс контролни точки на лунната повърхност (координатите на лазерни отражатели и радиопредаватели).

ЛКС е планетоцентрична координатна система (за Луната селеноцентрична), чиито координати се изразяват като десни координати (посока изток) с координатен център, точка намираща се в центъра на масата на конкретното небесно тяло с измервателни единици в градуси [13, 14]. Методът по който се посочват координатите в ЛКС се определя от прилаганата триизмерна декартова координатна система изградена от три взаимно перпендикулярни координатни оси (X, Y, Z) с пресечна и начална точка в координатния център (0, 0, 0). Всяка точка се представя с помощта на числени стойности по осите X, Y и Z. Оста Z е усреднената ос на въртене на Луната, оста X е пресечната точка на екватора и началния меридиан (нормала към оста Z), а оста Y е ортогонална на осите X и Z. Лунните координати са по същата номенклатура като тези за Земята. Планетоцентричната ширина измерва разстоянието на север или юг от планетния екватор, измервана от 0° до 90° на всеки полюс, положителна в северното полукълбо и отрицателна в южното полукълбо по оста на въртене (Z). Планетоцентричният север е в полукълбото на север от плоскостта на Лаплас на слънчевата система. Географската дължина се измерва надясно (изток) в посока на въртене за прогресивно тяло (небесно тяло, чиято посока на въртене около неговата ос е в посоката на въртене на неговата орбита), от главния меридиан (0° дължина) до 360°.

В изследванията на Луната приложение намират две координатни системи. Системата Усреднена Земя/Полярна ос Mean Earth/Polar axis (ME) и системата на Главната ос Principal axis (PA). Любопитен факт е, че автор на координатните системи на повечето небесни тела в Слънчевата система е Мъртън Е. Дейвис от Корпорация Ранд (Rand Corporation).

Координатната система на Луната може да бъде намерена в ArcGIS в категория “Географски координатни системи”, под-категория “Слънчева система”.

Параметрите на координатната система са [15]:

104903 GCS_Moon_2000

GEOGCS["GCS_Moon_2000",DATUM["D_Moon_2000",SPHEROID["Moon_2000_IAU_IAG",1737400.0,0.0]],PRIMEM["Reference_Meridian",0.0],UNIT["Degree",0.0174532925199433]]

Geographic Coordinate System	Moon 2000
WKID	104903
Authority	Esri
Angular Unit	Degree (0.0174532925199433)
Prime Meridian	Reference Meridian (0.0)
Datum	D Moon 2000
Spheroid	Moon 2000 IAU IAG
Semimajor Axis	1737400.0
Semiminor Axis	1737400.0
Inverse Flattening	0.0
Area of Use	Body
Top	90.0°
Left	-180.0°
Right	180.0°
Bottom	-90.0°

Система Усреднена Земя/Полярна ос Mean Earth/Polar axis (ME) [16]

Системата Усреднена Земя/Полярна ос Mean Earth/Polar axis (ME) се използва от 18-ти век за картографиране на лунната повърхност [17]. Нейното прилагане се препоръчва от IAU WGCCRE, Работната група за лунни данни (LDWG) и Работната група за лунни геодезически координати (LGCWG) на НАСА [18]. Огромно количество съвременни карти на лунната повърхност и бази данни от нейното дистанционно изследване се основават на системата ME. При тази система оста Z е усреднената стойност на лунната ротационна ос преминаваща през полюсите. По нея се определя лунния екватор, намиращ се в равнина перпендикулярна на оста Z, разположена на равни разстояния от двата полюса. Главният меридиан (0° дължина) е линия преминаваща от северния до южния полюс по повърхността на референтната сфера на Луната директно обърната към Земята. Нулевият меридиан и екваторът се пресичат в „усреднена подземна точка“, която е точка от лунната повърхност обърната директно към Земята. Тази точка не съвпада с никой кратер или друг обект на лунната повърхност. Усредненатa подземна точка е усреднено местоположение поради лунната либрация, която причинява промени в перспективата при наблюдение на Луната от Земята причинявани от орбиталната и ротационна динамика на Луната. Тази лунна геометрична либрация по дължина и ширина води до това, че всъщност от Земята се виждат 60% от лунната повърхност [19]. Затова за подравняване на главният меридиан (0° дължина) в ЛКС се прилага „усредненатa подземна точка“. Това подравняване гарантира, че главният меридиан е ориентиран спрямо Земята, осигурявайки стабилна отправна точка за картографиране и навигация. В „усредненатa подземна точка“ се намира началото на лунната координатна мрежа (0° ширина, 0° дължина) [13].

Система Главна ос Principal axis (PA)

Системата на Главната ос PRINCIPAL AXIS (PA) е другата лунна координатна система, която се прилага при динамични изследвания на лунното гравитационно поле, лазерно локализиране на лазерни отражатели (LLR) и специфични оперативни приложения. При нея осите са определени от главните инерционни моменти на Луната. Главните оси и усредненатa ос на въртене на Луната спрямо Земята не съвпадат, поради това, че Луната не е идеален синхронно въртящ се триосен елипсоид. Съответно осите на системите PA и ME не съвпадат. Между тях има разлика възлизаща на около 1 km (<860 m) на лунната повърхност, т.е. местоположенията на обектите разположени на лунната повърхност се различават с около 1 km (<860 m) в двете координатни системи [21].

Обобщение

Системата ME се използва от векове като координатна референтна система за картографиране на лунната повърхност. Референтната хоризонтална и вертикална повърхност за лунната координатна система е планетарните и лунни ефемериди DE 421 на JPL от 2008 г., завъртяни в системата ME, следвайки препоръките на LDWG и LGCWG (2008 г.) и по-късно приемането на IAU WGCCRE. Сферичен радиус от 1737.4 km служи за определяне на вертикална референтна повърхност, откакто е определен от IAU WGCCRE. Повечето съвременни картографски продукти и бази данни се основават на системата ME и тези

хоризонтални и вертикални референтни повърхности. За стандартна ЛКС за картографски цели, планиране и координиране на мисии и архивиране на данни ME е приета през 2006 г. специално за мисията Lunar Reconnaissance Orbiter. Постигнат е консенсус, че системата PA намира специфични оперативни приложения и данните регистрирани в тази система при архивиране ще бъдат конвертирани в системата ME. Впоследствие през 2008 г. е създадена Работна група по лунна геодезия и картография (LGCWG) към Международния астрономически съюз за поддържане, спазване и надзор на направените препоръки.

Бъдещо развитие

Гравитационното поле на Луната, чиито модел GRGM1200B е създаден по данни от Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL) може да служи като основа за установяване на селеноид, позволяващ изчисления на вариациите на височината по еквипотенциални повърхности на Луната. Наскоро актуализираната JPL DE 440 от 2021 г. може да замени 2008 JPL DE 421 при прилагането ѝ в система ME. JPL DE 440 представлява бъдещия избор на хоризонтална референтна повърхност за предстоящите мисии до Луната, като Артемида 3 на НАСА [22]. Поставянето на още лазерни отражатели за лазерно локализиране, като допълнение към вече съществуващите и включване на допълнителни радиопредаватели на лунната повърхност ще допринесе за подобряване и прецизиране на мрежата от референтни контролни точки. Част от подготовката за завръщане на човека на Луната е свързана и с полагане на усилия за предоставяне на Лунни глобални навигационни услуги, подобни на Глобалната навигационна сателитна система (GNSS) за точно пространствено позициониране. Централно място за всяка такава навигационна инфраструктура заема определянето и прилагането на единна лунна координатна система [23]. Примери за съществуващи предложения в тази насока са: LunarNet на НАСА, Moonlight на ЕКА и Lunar Navigation Satellite System на Японската космическа агенция (JAXA).

Литература:

1. https://psdi.astrogeology.usgs.gov/moon/standards/data_standards/ - достъпен на 16 септември 2024 г.
2. Rambaux, N., A. Fienga, A. Kaitheri. Lunar reference systems framework, Journées 2023: Temps et Relativité Générale (Time and General Relativity), 11th – 13th September 2023, Nice, sciencesconf.org:journees2023:489864.
3. Pumfrey, S. Harriot's maps of the moon: new interpretations, Notes and Records of the Royal Society of London, 2009, 63(2), 163–168. http://www.jstor.org/stable/40647255.
4. Schimerman, L. Lunar Cartographic Dossier, MO: Defense Mapping Agency for NASA, St. Louis, 1973.
5. Davies, M., T. Colvin, D. Meyer. A Unified Lunar Control Network — The Near Side, RAND Corporation, CA, Santa Monica, 1987, https://www.rand.org/pubs/notes/N2664.html.
6. Archinal, B., M. Rosiek, R. Kirk, B. Redding, Unified Lunar Control Network 2005 and Topographic Model, USGS, 2006.
7. Folkner, W., J. Williams, D. Boggs, The Planetary and Lunar Ephemeris DE 421, IPN Progress Report, JPL, 2009, pp. 42–178.
8. Navigation and Ancillary Information Facility (NAIF), Ephemeris subsystem SPK, Focused on reading SPK files, JPL, 2023.
9. Charlot, P., C. Jacobs, D. Gordon, The third realization of the International Celestial Reference Frame by very long baseline interferometry, Astronomy and Astrophysics, 2020, 644, doi:10.1051/0004-6361/202038368.
10. Kovalevsky, J., I. Mueller, Comments on conventional terrestrial and quasi-inertial reference systems, Reference Coordinate Systems for Earth Dynamics, D. Reidel Publishing Co., Dordrecht, Holland, 1981, pp. 375–384.
11. Mueller, I., Reference Coordinate Systems for Earth Dynamics: A Preview, Astrophysics and Space Science Library, vol 86, Springer, Dordrecht, 1981, https://doi.org/10.1007/978-94-009-8456-1_1.
12. Davies, M., V. Abalakin, M. Bursa, G. Hunt, et al., Report of the IAU/IAG/COSPAR Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements of the Planets and Satellites, Cel. Mech. and Dyn. Ast., 1988, 46, pp. 187-204, https://doi.org/10.1007/BF00053048.
13. National Aeronautics and Space Administration (NASA), A standardized Lunar coordinate system for the, Lunar reconnaissance orbiter and lunar datasets, LRO Project and LGCWG White Paper, Version 5, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, 2008.
14. Navigation and Ancillary Information Facility (NAIF), An Overview of Reference Frames and Coordinate Systems in the SPICE Context, JPL, 2023.
15. https://developers.arcgis.com/javascript/3/jshelp/gcs.html - достъпен на 13 септември 2024 г.
16. Archinal, B., C. Acton, M. A'Hearn, et al., Report of the IAU Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements, Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy, Volume 130, Issue 3, article id. 22, 2018, 46 pp. https://doi.org/10.1007/s10569-017-9805-5.
17. Lunar Exploration Analysis Group (LEAG), Final report of the lunar critical data products specific action team, Mapping and Planetary Spatial Infrastructure Team (MAPSIT) Specific Action Team, 2021.

18. Archinal, B., C. Fassett, L. Gaddis, et al., Continued Use of the Mean Earth (ME) Coordinate System for the Moon, Lunar Exploration Analysis Group (LEAG), The Cartographic Lunar Reference Frame, Time and General Relativity meeting, 2023.
19. Hiesinger, H., R. Jaumann, Chapter 23 - The Moon, Encyclopedia of the Solar System, 2014, pp. 493–538, doi:10.1016/b978-0-12-415845-0.00023-2.
20. Roncoli, R., Lunar Constants and Models Document, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, JPL D-32296, 2005.
21. Weber, R., S. Lawrence, B. Cohen, et al., The Artemis 3 science definition team report, NASA/SP-20205009602, 2021.
22. Critchley-Marrows, J., An Exploration of the Lunar Reference Frame, FIG Working Week 2023, Protecting Our World, Conquering New Frontiers, Orlando, Florida, USA, 2023.

АСТРОНОМИЧЕСКИ ОСНОВИ НА КАЛЕНДАРНИТЕ КОРЕКЦИИ

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, коекция, астрономия, история, датиране,*

Резюме: *В предлаганато изследване се анализират нуждите от високосни и векови корекции на слънчевите календари в астрономически и исторически аспект. Предложен е алгоритъм за създаването на календар при който вековите корекции се правят така, че календарът да се коригира с едно денонощие на периоди, свързани с еволюцията на тропическата слънчева година. Демонстрират се възможностите за създаване на вечен циклов календар.*

ASTRONOMICAL BASIS OF CALENDAR CORRECTIONS

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

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

Keywords: *calendar, correction, astronomy, history, daters*

Abstract: *In the proposed study, the needs for leap and century corrections of solar calendars are analyzed in an astronomical and historical aspect. An algorithm is proposed for the creation of a calendar in which century corrections are made so that the calendar is corrected by one day for periods related to the evolution of the tropical solar year. The possibilities of creating a perpetual cycle calendar are demonstrated.*

Появата на понятието „календар“ е възникнало в човешката история много преди да възникне необходимостта от планиране и отчитане на стопанската дейност на хората. С календарите е свързан и процесът на датиране на реални исторически събития, подредени в последователността им по времевата ос. Календарът възниква като необходимост още във времената, когато у човеците започва да закърнява сетивото им за въздействието на космическите сили върху живите организми на Земята. В Древността всички са били „ясновидци“. Заспивайки са сънували „пророчески сънища“ и са знаели какво ги очаква на следващия ден. Затова не е имало нужда от гадатели, пророци и екстрасенси. В последствие, когато тези способности започват да закърняват, се налага да се изгради логическа система, чрез която хората да могат правилно да отчитат въздействието на Космоса върху ежедневната им дейност. По тази причина възниква първата наука – астрологията. Чрез нея хората се мъчат да разберат „играта на Боговете“ и да се съобразяват с нея през деня.

Закърняващото сетиво за Космическите въздействия върху хората е единствената причина поради която се налага да се създадат календари. Налага се да се изгради логическа система , чрез която да се знае какво е положението на Слънцето на небето, съответно положението на Земята по орбитата и. Така се изгражда система от повтарящи се годишно ритуали, някои наричани „празници“. Чрез календара се гарантира адекватността на човешката дейност в материята. От тук и необходимостта да се знае точното положение на Земята по орбитата и всеки ден. От тук и мисълта: “Ако искаш да объркаш един народ, промени му календара“!

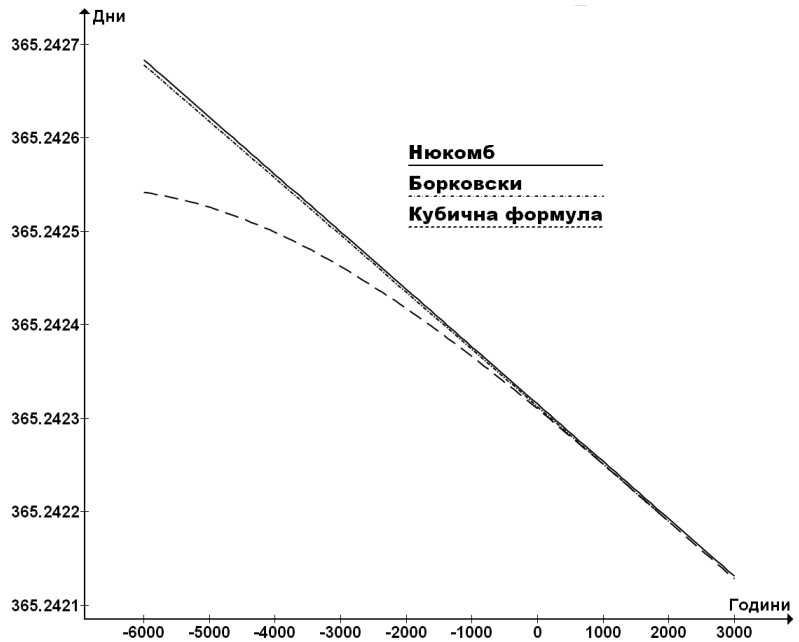
Много отдавна хората са забелязали, че в живота им има една цикличност, свързана с положението на Слънцето на небето. Така са възникнали понятията за денонощие и година. Слънчевата година е период през който Слънцето преминава през различни части от

Звездното небе. За да се ориентират хората, от къде какво въздействие идва, целият Небесен свод е разделен на различни области, носещи названието „съзвездия“. Когато Слънцето се намира в определено зодиакално съзвездие, то усилва силите на въздействие, които идват към Земята от съответната област. През различните исторически времена границите на съзвездията са били различни. Изчезвали са съзвездия и са се появявали нови, в процеса на динамиката на космическите въздействия върху процесите на Земята. Например, зодиакалните съзвездия през които минава Слънцето през годината, в различните времена са били различни на брой. В Индийския зодиак те са 9, при египтяните са 13 плюс още едно скрито съзвездие, сега се работи с 12 съзвездия.

Усещането за цикличност, обаче, е измамно. То подвежда изследователите и често ги води до неадекватни категоричности. В Природата не съществуват циклични процеси, които да се повтарят точно. Периодичността е приблизителна и ориентировъчна. Човешката наука налага на аналоговата природа дискретна „мрежа“, за да може да се ориентира в нея. Така възниква представата за постоянност и на Земната година. Така възниква и представата за точността на календарите.

При датирането на човешката история се приемат няколко аксиоми, върху които се гради хронологията. На първо място се приема, че Земната година е с една и съща продължителност във времето. В рамките на къси периоди от време това може да се приеме за допустимо, но нещата се променят, когато се работи със стотици и хиляди години. Ако не се правят календарни корекции се стига до парадокса на една и съща дата за различни години Земята да не е на едно и също място по орбитата си.

Върху продължителността на Тропическата година освен субективният фактор – изследователя и средствата му за измерване, влияят и обективни физични въздействия водещи до неравномерности във въртенето на земята и орбиталното и движение. Точните астрономически наблюдения показван, че самата точка на Пролетното равноденствие се премества по Небесната сфера и това влияе на Тропическата година във времето. За сега астрономията приема теорията за прецесията на земната ос като единствено вярната. Според тази теория прецесията на земната ос влияе върху продължителността на Тропическата година и води до видимото движение на точка на Пролетното равноденствие. Движението на Равноденствието е постоянно и води до постоянното намаляване на Тропическата година с около 0.53 секунди на столетие. Точните измервания на Тропическата година са станали възможни едва в началото на XX век с изследванията на Нюкомб [6] . Разработени са няколко модела на изменение на дължината на Тропическата година [7], [8]. Динамиката на продължителността на Тропическата година е показана на Фиг. 1.



Фиг. 1

Продължителността на тази Тропическа година се приема от всички календаристи за постоянна и на базата на нейната продължителност са изграждат известните слънчеви календари. До около 1880 година дължината на тропическата година не е определена точно и

поради това да се говори за точност на календари до това време е в голяма степен спекулативно.

Фактът, че продължителността на Тропическата година не е цяло число дни, колкото е разделителната способност на слънчевите календари, води до систематическо изместване на началото на Новата година във времето. Поради това се налага да се прилагат различни логически конструкции за да се коригира разминаването между положението на Земята по орбитата за цялото число дни 365 и изоставането и до завършването на пълна обиколка. Налага се да се въвеждат допълнителни календарни дни, така че Земята да застава винаги в едно и също положение по орбитата си в началото на Новата година, когато е стартиран календарът. Налага се да се съгласува Календарната година с Тропическата година, която е по-дълга.

Освен другите характеристики като стартова дата, календарна формула и дължина на календарния пакет, слънчевите циклови календари се характеризират с начините по които се правят Високосната и Вековата календарна корекция. В зависимост от избора на алгоритъм на тези корекции се определя и адекватността на съответния календар, неговата устойчивост и точност. Добавянето на корекционните дни се осъществява чрез използването на времеви пакет, наречен корекционен пакет на календара. В рамките на определен период от години, наречен „дължина на корекционния пакет" се добавят няколко високосни години с по един допълнителен ден, така, че в края на цикъла на календара Земята е отново в „стартовата" си позиция по орбитата си.

Принципите на изграждането на алгоритмите за корекция на календарни пакети с различни календарни формули са определени в предишни изследвания [4],[5]. Описано е как проблемът с точността на календара се решава чрез техниката на Верижните дроби. Там е показано и как се стартира календарен пакет с продължителност 511 години и високосна корекция със 124 години. Въпреки, че за генерацията на календара се използва петата календарна дроб, се получава слънчев календар с грешка едно денонощие за 132573 години [3]. По замисъла си, използването на календарна формула, базирана на верижни дроби, винаги е свързано с появата на грешка, която се натрупва в края на календарния пакет. Тази грешка е резултат от ограничената точност на верижните дроби. Колкото една дроб е от по-висок порядък, толкова по-малка е натрупваната грешка. Следователно не е възможно да е създаде абсолютно точен слънчев циклов календар. Налага се изводът, че ако целта е да се постигне абсолютно точен календар трябва да не се допуска натрупване на грешка повече от един ден, а този ден веднага да се поставя в календара.

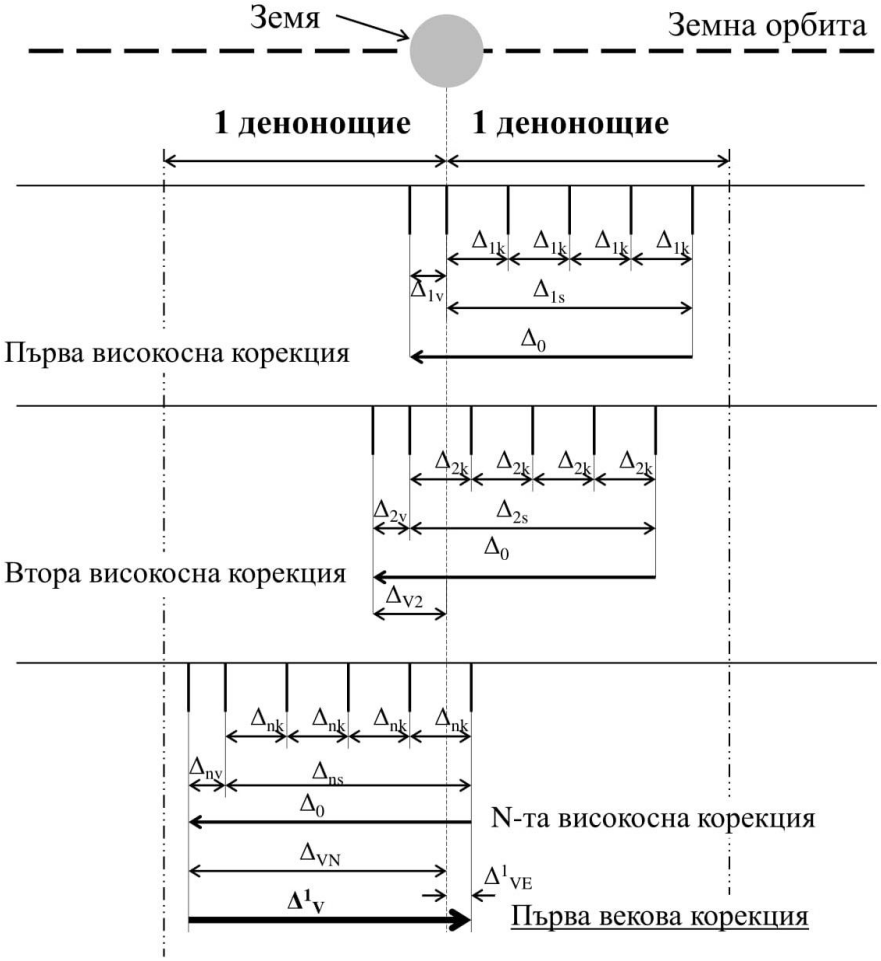
Разделителната способност на историческите календари е едно цяло денонощие. Поради това, за да се коригира точното положение на Земята във всеки момент от орбитата и, е необходимо да се натрупа точно около цяло денонощие и тогава да се коригира календарното броене на денонощията. Механизмът на корекцията се състои в добавянето на едно цяло денонощие през последната, четвъртата поредна година, в състава на дните от годината. Или да се добави още едно денонощие към 365 дневната година. Така се получава година с продължителност 356 денонощия и тя е наречена „Високосна" година..

За първи път идеята за четиригодишната корекция е заложена в египетския календар, който е неприложим при датирането на исторически събития. За точното датиране на реални исторически събития Созиген създава календар, който е въведен в експлоатация през 46 година преди Новата ера от Юлий Цезар. Календарът е наречен Юлиански календар. Когато историците, от древността и до 1582г., датират и записват времето на реалните исторически събития те правят това по този календар с неговата Високосна корекция.

Броейки дните в годината, с продължителност 365 и 366 денонощия хората са забелязали, че датата на Пролетното равноденствие се премества напред в календара. Явно съществува и друга грешка, различна от Високосната, която трябва да се отчете. Причината за възникването на тази грешка е неправилното закръгляне на продължителността на Тропическата година на 365.25 денонощия. Реално Тропическата година е с продължителност от 365.242XXXX денонощия и тази продължителност е РАЗЛИЧНА за ВСЯКА година. Високосната корекция добавя едно денонощие към продължителността на годината на четири години, а реално за тези четири години се натрупва ПО-МАЛКО от едно денонощие. Разбира се, че това няма как да се отчете и да се направят календарни корекции в рамките на едно пълно денонощие тъй като календарните корекции могат да се правят със стъпки равни само на цяло денонощие. Налага се да се направи нов вид корекция, наречена „Векова корекция", в посока обратна на Високосната корекция. Когато се натрупа едно денонощие на недостиг трябва да се отнеме едно денонощие от определена календарна година за да застане Земята отново на мястото си по орбитата си.

В настоящото изследване се предлага алгоритъм, чрез който се избягват недостатъците на слънчевите циклови календари и се постига максимална календарна точност

на повторяемостта на положенията на Земята по орбитата и. На Фигура 2 е демонстриран алгоритъмът на Високосни и Векови корекции на предлагания Динамичен календар.



Фиг. 2

На Фигурата обозначенията са следните:

------ – част от земната орбита

● – показано е едно фиксирано положение на Земята по орбитата и, през което тя преминава всяка година;

Δ_0 – реалната продължителност на едно денонощие;

$\Delta_{1к}$, $\Delta_{2к}$.... Δ_{nk} – реална продължителност на годината в поредния четиригодишен пакет, при който се прави Високосната корекция;

Δ_{1s}, Δ_{2s}.... Δ_{ns} – Реална продължителност на четирите денонощия, при което се прави поредната Високосна корекция от едно денонощие;

Δ_{1v}, Δ_{2v}.... Δ_{nv} – Високосната грешка, която се появява поради корекцията от едно денонощие а реалното натрупване е по-малко от едно цяло денонощие;

Δ_{1V}, Δ_{2V}.... Δ_{NV} – Векова корекция от едно цяло денонощие;

Δ_{1VE}, Δ_{2VE}.... Δ_{NVE} – Векова грешка след Вековата корекция;

В основата на Динамичен календар е заложена динамично изменящата се Тропическа година, следователно всяка година има различна продължителност. Това означава, че обозначените на схемата с $\Delta_{1к}$, $\Delta_{1к}$.... Δ_{nk} реална продължителност на годината в поредния четиригодишен пакет не е една и съща за четирите години в пакета. На схемата те са обозначени с един индекс, в рамките на поредния пакет, за по-лесно възприемане на схемата.

Изискванията към алгоритъмът на математическия модел на Високосните и Векови корекции на календара са следните :

1. Фиксира се едно положение на Земята по орбитата и спрямо това положение се изследват календарните дни и натрупвания на съответните продължителности и грешки. Основното изискване е всички корекции и натрупвания да НЕ надвишават продължителността на ЕДНО ДЕНОНОЩИЕ! По този начин се гарантира съвпадение на календарната дата с положението на Земята по орбитата и с точност в рамките на не повече от ЕДНО денонощие.

2. Пресмятанията да се правят с реалната продължителност на всяка година от календара.

3. Високосните и Вековите корекции от едно денонощие да се правят ПРЕДИ да се достигне до грешка повече от едно денонощие.

Алгоритъмът на математическия модел е следният :

1. На входа на програмата за изчисляване на календарните корекции се вкарват: стартовата календарна година на календара;

2. Завърта се един цикъл за последователността на календарните години;

3. За всяка година се пресмята реалната Тропическа година по формулата на Нюкомб ;

4. Оформя се нов вътрешен цикъл от четири поредни години, с техните реални продължителности Δ_{nk} и разликите им до цяло едно денонощие, така се получава реалната високосна корекция Δ_{nv};

5. Прави се добавка от едно цяло денонощие към продължителността на последната, четвъртата година. Така началото на новата календарна година се връща когато Земята е отместена назад спрямо началото на календара с Δnv , Новата група от четири години с отместване Δ_{1v}, от стартовото положение на календара (вертикалният пунктир от Земята надолу в схемата);

6. След новите реални четири години се отново пресмятане на високосното отместване Δ_{2v};

7. Сумират се високосните корекции Δ_{1v} , и $_{\Delta 2v}$, така се получава сумата Δ_{V2} ;

8. Цикълът на нарастване на годините в пакета продължава докато сумата Δ_{VN} нарасне до по-голяма от 0.9999 но по-малка от 1 цяло денонощие. Границата от 0.9999 се приема от практически съображения, касаещи необходимата точност на цикловите календари [1]. Налага се да се направи първата Векова корекция в обратна посока на Високосната корекция, тоест да се отнеме едно цяло денонощие от календарната година и Земята и календарът да се синхронизират както са били в стартовото положение и на Земята и на календара;

10. Полученото разминаване между цяло денонощие и натрупаната разлика Δ_{VN} е Δ_{1VE}. Това е вековно натрупване след корекцията и от това положение започва следващото броене на годините в календара. Тосе натрупва с всички последвали високосни натрупвания и по този начин грешката е сведена до нула.

11. Първото високосно натрупване на четирите последващи години плюс вековото натрупване Δ_{1VE} не може да надвиши едното денонощие, указано с вертикалната накъсана линия вдясно защото четиригодишното натрупване е в рамките на 0.97XXX години и то събрано с вековата разлика, която е по-малка от 0.9999XX никога не може да нарасне над едно денонощие.

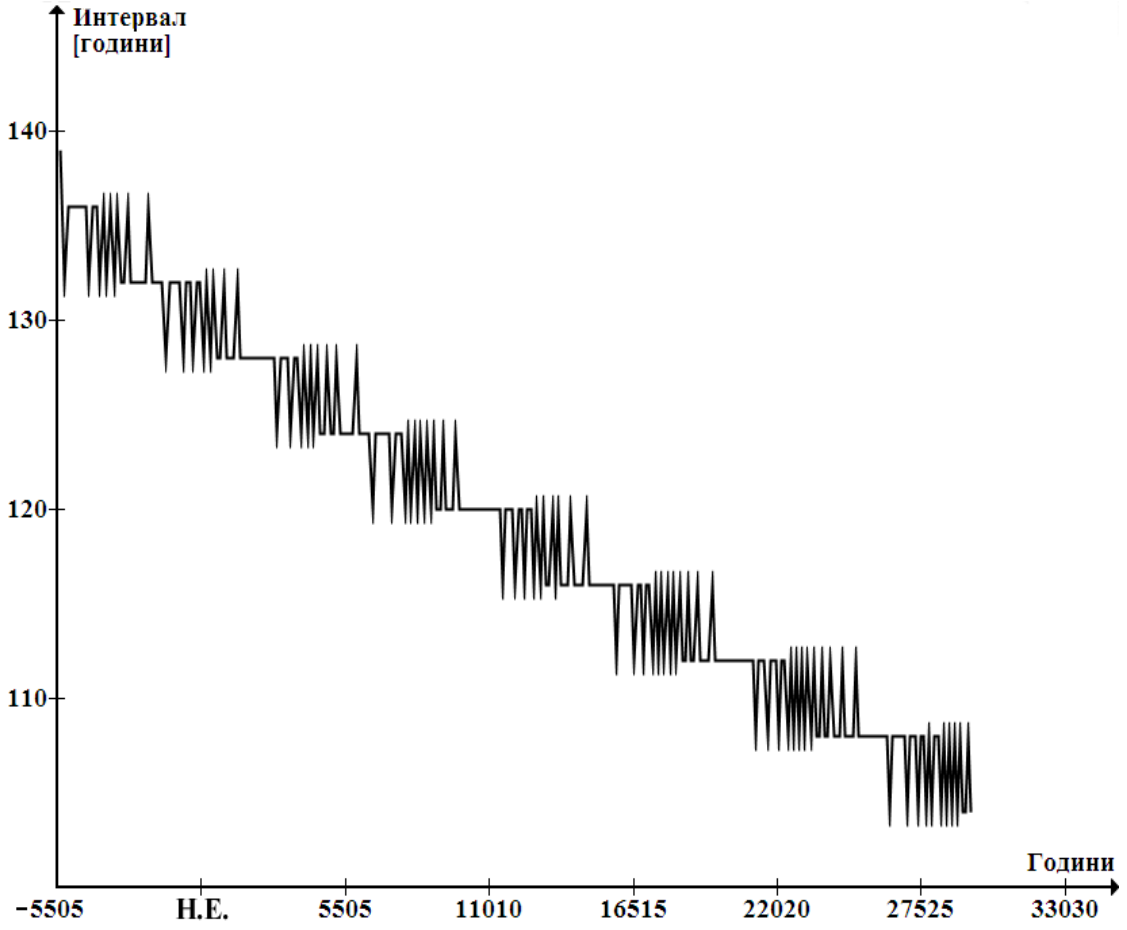
12. Започва ново броене на последователността на календарните години с техните реални тропически дължини докато натрупването на високосни грешки докато отново то стане по-голямо от 0.9999XX денонощия но по-малко от едно цяло денонощие и следва поредната векова корекция.

13. Процесът на нарастване на календарните години може да продължи много напред във вековете но календарната дата винаги ще съответства на онова положение на Земята по орбитата, каквото тя е имала в началото на старта на календара.

Тропическата година на Динамичния календар се променя всяка година, поради това вековото натрупване за въвеждане на съответната векова корекция се прави след изминаването на различен брой години. Табличното и графичното представяне на тези интервали е показано в Таблица 1 и на Фигура 2.

От Таблица 1 и Фигура 2 си вижда как намалява интервалът, на който трябва да се прави векова корекция за да бъде Земята на мястото си всяка година с грешка по-малка от едно денонощие. Интервалите за които се натрупва едното денонощие за векова корекция се различават с точно четири години защото вековата корекция трябва да се прави винаги след поредно високосно натрупване. Видно е и, че ако векова корекция се прави на 128 години назад и напред във времето се получава голяма грешка, която нараства с много денонощия. Вековото натрупване от едно денонощие за 128 години, е валидно само в интервалът от 992 до 3420 календарни години.

В Юлианския календар е прието високосна да се счита годината, чиито номер се дели точно на 4. Според правилото на Касини обаче, в реда на историческите години няма нулева година. Преди Първа година от Новата ера е годината Първа преди новата ера. Следователно високосните го дини преди Новата ера ще се определят по правилото : Историческата годината е Високосна ако сумата от поредният и номер, увеличен с единица, се дели точно на четири. За годините след Новата ера остава познатото правило на Юлианския календар.



Фиг. 2

Стартовата година на Динамичния календар е историческата година 5504 пр.н.е., която година според правилото на Касини е астрономическата 5503 пр.н.е.[2]. Първата високосна корекция трябва да се направи след като са преминали три пълни години или през следващата 5501 историческа година. Тази година е високосна. Първата векова корекция с премахването на един календарен ден трябва да се направи през 5365 г.пр.н.е. Тази година е високосна и затова, за да е адекватен календарът трябва да се извади един ден – или тя трябва да стане проста. Всички векови натрупвания, водещи до изваждането на един ден от календарната година, стават през високосни години и те съответно трябва да се приемат за прости с продължителност от 365 денонощия..

В Таблица 2 са представени резултатите, получени след прилагането на гореописания алгоритъм. Ако посочените в Таблицата номерата на историческите години, от високосни се превърнат в прости се постигат ограничителните условия на алгоритъма. На всяка определена календарна дата небето над Земята е точно такова каквото е било на съответната дата при стартирането на календара защото Земята е на точно същото си положение по орбитата си, където е била на същата дата в стартовата година.

Смисълът на дадените в Таблицата 2 е много важен за извършването на ритуални действия, които са свързани с постоянни явления като равноденствията например. Ако това събитие е била например на датата 25.03 през година Г1 и не са правени векови корекции, същото събитие ще е отместено спрямо сегашната година Г2 на толкова дни напред към Новата година, колкото броя години има записани в интервала Г2 – Г1 от Таблицата. По този начин се реализира методика за съгласуването на Динамичния календар с Юлианския календар.

Ако има точно локализирано събитие с точен час в рамките на денонощието описан алгоритъмът позволява да се правят пресмятания за уточняване и на часовото отместване в следствие на вековите корекции и да се получи повторяемост на положението на Земята за друга календарна дата.

Таблица 1. Интервали на вековата корекция

Година	**Δ**	Година	**Δ**	Година	**Δ**	Година	**Δ**	Година	**Δ**
-5365	139	**1380**	**132**	7780	120	13888	116	19740	112
-5233	132	**1508**	**128**	7904	124	14004	116	19852	112
-5097	136	**1636**	**128**	8024	120	14124	120	19964	112
-4961	136	**1764**	**128**	8148	124	14240	116	20076	112
-4825	136	**1892**	**128**	8268	120	14356	116	20188	112
-4689	136	**2020**	**128**	8392	124	14472	116	20300	112
-4553	136	**2148**	**128**	8512	120	14588	116	20412	112
-4417	136	**2276**	**128**	8636	124	14708	120	20524	112
-4285	132	**2404**	**128**	8756	120	14824	116	20636	112
-4149	136	**2532**	**128**	8880	124	14940	116	20748	112
-4013	136	**2660**	**128**	9000	120	15056	116	20860	112
-3881	132	**2788**	**128**	9120	120	15172	116	20972	112
-3745	136	**2912**	**124**	9244	124	15288	116	21084	112
-3613	132	**3040**	**128**	9364	120	15404	116	21192	108
-3477	136	**3168**	**128**	9484	120	15520	116	21304	112
-3345	132	**3296**	**128**	9604	120	15636	116	21416	112
-3209	136	**3420**	**124**	9728	124	15752	116	21528	112
-3077	132	**3548**	**128**	9848	120	15864	112	21636	108
-2945	132	**3676**	**128**	9968	120	15980	116	21748	112
-2809	136	3800	124	10088	120	16096	116	21860	112
-2677	132	3928	128	10208	120	16212	116	21972	112
-2545	132	4052	124	10328	120	16328	116	22192	112
-2413	132	4180	128	10448	120	16444	116	22304	112
-2281	132	4304	124	10568	120	16556	112	22412	108
-2149	132	4432	128	10688	120	16672	116	22524	112
-2013	136	4556	124	10808	120	16788	116	22632	108
-1881	132	4680	124	10928	120	16900	112	22744	112
-1749	132	4808	128	11048	120	17016	116	22852	108
-1617	132	4932	124	11168	120	17132	116	22964	112
-1485	132	5056	124	11288	120	17244	112	23072	108
-1357	128	5184	128	11408	120	17360	116	23184	112
-1225	132	5308	124	11524	116	17472	112	23292	108
-1093	132	5432	124	11644	120	17588	116	23404	112
-961	132	5556	124	11764	120	17700	112	23512	108
-829	132	5680	124	11884	120	17816	116	23732	112
-701	128	5804	124	12000	116	17928	112	23840	108
-569	132	5932	128	12120	120	18044	116	23948	108
-437	132	6056	124	12240	120	18156	112	24060	112
-309	128	6180	124	12356	116	18272	116	24168	108
-177	132	6304	124	12476	120	18384	112	24276	108
-45	132	6428	124	12596	120	18496	112	24384	108
84	128	6548	120	12712	116	18612	116	24496	112
216	132	6672	124	12832	120	18724	112	24604	108
344	128	6796	124	12948	116	18836	112	24712	108
476	132	6920	124	13068	120	18952	116	24820	108
604	128	7044	124	13184	116	19064	112	24928	108
732	128	7168	124	13300	116	19176	112	25040	112
864	132	7288	120	13420	120	19288	112	25256	108
992	**128**	7412	124	13536	116	19400	112	25364	108
1120	**128**	7536	124	13656	120	19516	116	25472	108
1248	**128**	7660	124	13772	116	19628	112	25580	108

Таблица 2. Съгласуване с Юлианския календар

-5365	-1749	1764	5184	8512	11764	14940	18044	21084	24060
-5233	-1617	1892	5308	8636	11884	15056	18156	21192	24168
-5097	-1485	2020	5432	8756	12000	15172	18272	21304	24276
-4961	-1357	2148	5556	8880	12120	15288	18384	21416	24384
-4825	-1225	2276	5680	9000	12240	15404	18496	21528	24496
-4689	-1093	2404	5804	9120	12356	15520	18612	21636	24604
-4553	-961	2532	5932	9244	12476	15636	18724	21748	24712
-4417	-829	2660	6056	9364	12596	15752	18836	21860	24820
-4285	-701	2788	6180	9484	12712	15864	18952	21972	24928
-4149	-569	2912	6304	9604	12832	15980	19064	22080	25040
-4013	-437	3040	6428	9728	12948	16096	19176	22192	25148
-3881	-309	3168	6548	9848	13068	16212	19288	22304	25256
-3745	-177	3296	6672	9968	13184	16328	19400	22412	25364
-3613	-45	3420	6796	10088	13300	16444	19516	22524	25472
-3477	84	3548	6920	10208	13420	16556	19628	22632	25580
-3345	216	3676	7044	10328	13536	16672	19740	22744	25688
-3209	344	3800	7168	10448	13656	16788	19852	22852	25796
-3077	476	3928	7288	10568	13772	16900	19964	22964	25904
-2945	604	4052	7412	10688	13888	17016	20076	23072	26012
-2809	732	4180	7536	10808	14004	17132	20188	23184	26120
-2677	864	4304	7660	10928	14124	17244	20300	23292	26228
-2545	992	4432	7780	11048	14240	17360	20412	23404	26332
-2413	1120	4556	7904	11168	14356	17472	20524	23512	26440
-2281	1248	4680	8024	11288	14472	17588	20636	23620	26548
-2149	1380	4808	8148	11408	14588	17700	20748	23732	26656
-2013	1508	4932	8268	11524	14708	17816	20860	23840	26764
-1881	1636	5056	8392	11644	14824	17928	20972	23948	26872

За базов модел на динамиката на Тропическата година е взет този на Нюкомб, който за сравнително малки периоди, като се започне от преди Новата ера и са стигне до днес, е близък до другите модели. Такава близост, обаче, не се наблюдава в дълбока древност, когато се коментират Ерите от Създаването на Света. Тогава, само промяната на формулата, по която се определя Тропическата година, е достатъчна за да работи коректно предлаганият алгоритъм.

Демонстрираният алгоритъм се прилага в календаристиката за първи път. Както и за първи път се използва динамично изменяща се Тропическа година за пресмятане на вековите натрупвания. Всички съществуващи до сега слънчеви календари използват статична Тропическа година и това ги прави неадекватни за ритуална дейност или отчитане на точните моменти на реални исторически събития, за които е указана частта от денонощието в което са станали.

Литература:

1. Селешников, С., История календаря и хронология, Наука, Москва, 1972 г.
2. Танев, Т., А. Манев, Точно определяне на Началото на календарната система (Археометричен анализ), International Science conference 4th - 5th June 2009, Stara Zagora, BULGARIA"Economics and Society development on the Base of Knowledge", Volum e VI , pp. 77–82, ISBN 978-954-9329-45-2
3. Танев, Т., А. Манев, Календарна формула и календарна дроб на Българския циклов календар, XXII Международна научна конференция, 7-8 юни 2012, гр.Стара Загора, Международно научно on-line списание Наука и технологии, Том II, Номер 3, 2012 , стр. 140–146 , ISSN 1314-4111
4. Танев, Т., А. Манев, Български празничен циклов календар, Издание „Данграфик”- Варна, 2013г., 118 стр. IBSN 978-954-9418-69-9
5. Танев Т. А.Манев, В. Ташев, Д. Господинов, Кр. Христов, Български циклов календар, устройство, принципи, аритметика, Юбилейна научна конференция 2014”100 години авиационно образование в България”, 9 – 10 октомври 2014 г.гр. Долна Митрополия, Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски”, стр. , ISBN 978-954-713-216-8
6. Meeus, J., D. Savoie., The history of the tropical year , J. Br. Astron. Assoc. 102, 1, 1992
7. Borkowski, K.,The Tropical year and solar calendar,The Journal of the Royal Astronomical Society of Canadavol. 85, No. 3 (whole No. 630), June 1991, p. 121–130.
8. Laskar, J., 1986, Astron. Astrophys., 157, 59.

S E S 2 0 2 4
Twentieth Anniversary International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
22 – 25 October 2024, Sofia, Bulgaria

АСТРОНОМИЧЕСКИ АСПЕКТИ НА ГРЕШКИТЕ НА СЛЪНЧЕВИТЕ КАЛЕНДАРИ

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, слънце, тропическа година, грешки*

Резюме: *В предлаганото изследване се анализират източниците на грешки при цикловите слънчеви календари. Дискутират се особеностите на вековите корекции и календарните дроби до пета календарна дроб. Отразена е и динамиката на изменение на Тропическата слънчева година. Акцентувано е и на стартовата дата на календарите и ролята и при възникването на грешки. Направена е съпоставка на съществуващите календари с Българския циклов календар на Танев-Манев.*

ASTRONOMICAL ASPECTS OF ERRORS ON THE SOLAR CALENDAR

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

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

Keywords: *calendar, sun, tropical year, errors*

Abstract: *The proposed research analyzes the sources of errors in cyclic solar calendars. Peculiarities of century corrections and calendar fractions up to the fifth calendar fraction are discussed. The changing dynamics of the Tropical Solar Year is also reflected. It is also emphasized on the start date of the calendars and the his role in the occurrence of errors. A comparison of the existing calendars with the Bulgarian cycle calendar of Tanev-Manev was made.*

Проблемите на точността на слънчевите календари не са предмет на изследване на широката научна общност от древността до наши дни. Имало е времена когато знанието за движението на небесните тела е било достъпно само за много малка част от човечеството. В миналото с календари се се занимавали само жреците, а по-късно само добре подготвени монаси или църковни служители. Много малко хора знаят и как се правят календари Едва през XIX век, когато астрономическите наблюдения стават достатъчно точни и надеждни, с проблемите на календарите започват да се занимават по-широк кръг от учени. Тесният кръг от специалисти е причината поради която исторически са се създали условия да се допускат и грешки в построяването на календарите. В публичното пространство се тиражират и уж точни но неверни данни за вече съществуващите календари, такава обтекаема характеристика е точността на даден календар.

Различните календарни системи се отличават най-вече по това какво периодично събитие е залегнало в основата на календара. В исторически аспект календарите биват слънчеви, лунни и слънчево-лунни. За историческото датиране са възможни и удобни само слънчевите календари. Денонощието е видимата и осезаема циклична промяна на средата в която живее човекът и само чрез броенето на денонощията хората са разполагали историческите събития в тяхната последователност върху оста на времето. Календарът представлява логическа постройка от поредица от цели денонощия. Една пълна обиколка на

Земята, или една обиколка на Слънцето по небесната сфера, се дефинира като слънчева година.

В основата на всички слънчеви календарни системи е залегнало понятието година. Годината е приблизително времето за което Земята извършва една пълна обиколка около Слънцето. Тропическата година обикновено се определя като времето за което при видимото си движение по Небесната сфера Слънцето преминава последователно през точката на Пролетното равноденствие. В днешна астрономия, тропическата година се дефинира като интервал от време, за който средната тропическа дължина на Слънцето се увеличава с 360 градуса. Интересът към точното определяне на продължителността на Тропическата година произтича от пряката връзка на тази година с построяването на календарните системи. В исторически аспект различните изследователи определят по различен начин продължителността на Тропическата година и сега тя няма почти нищо общо с началото на астрономическата пролет (Meeus J.,1992). До началото на 19-ти век, практически единственият начин да се намери дължината на тропическата година е сравнението на датите на някое от равноденствията. Сега, благодарение и на съвременните методи на точни наблюдения и на създадените прецизни теории за въртенето на Земята около Слънцето, Тропическата година може да се определи с голяма точност.

Всяка календарна система на цикловите слънчеви календари се определя от пакет с определена дължина (брой години) и начините по които са подредени в него простите и високосни години. Този пакет се повтаря многократно и така се определят календарните години на всеки слънчев календар. Построяването на корекционен пакет се базира на два принципа: Първо от кога започва да се използва пакета и второ колко точно трябва да работи създавания календар в рамките на пакета. Тези принципи се проявяват като два основни въпроса пред слънчевия календар: Колко е дължината на Тропическата година при стартирането на календара и второ до кой знак зад запетаята е необходимо да се закръгля реалната Тропическа година и да се използва тя при пресмятането на Календарната година.

Върху продължителността на Тропическата година освен субективният фактор – изследовател, влияят и обективни физични въздействия водещи до неравномерности във въртенето на земята и орбиталното и движение. Точните астрономически наблюдения показван, че самата точка на Пролетното равноденствие се премества по Небесната сфера и това влияе на Тропическата година във времето. За сега астрономията приема теорията за прецесията на земната ос като единствено вярната. Според тази теория прецесията на земната ос влияе върху продължителността на Тропическата година тъй като самата точка на Пролетното равноденствие се движи. Движението на Равноденствието е постоянно и води до постоянното намаляне на Тропическата година с около 0.53 секунди на столетие.

Най-разпространена в началото на миналия век е така наречената Слънчева теория на Нюкомб за движение на Земята около Слънцето (Meeus J.,1992). Според тази теория, поради прецесията на Земната ос, продължителността на Тропическата година се пресмята по следната формула :

(1) $$T_H = 365.24219879 - 0.00000614 x (T - 1900)$$

Където първата константа е точно измерената продължителност на Тропическата година за 1900 година от Новата ера. Във формулата Т е годината, чиято продължителност търсим с формулата. За календарните пресмятания е достатъчно приемлива формулата на Нюкомб, въпреки, че съществуват и други формули от различен порядък - формулите на Борковски, Кубичната формула и др. (Borkowski K.,1991), (Laskar J.,1986).

Основният проблем на слънчевите календари е продължителността на реалната Тропическа година. Тя не е равна на цяло число денонощия. Земята прави пълната си обиколката около Слънцето за повече от 356 и по-малко от 366 денонищия а Календарната година не може да съдържа части от денонощието. Разликата от продължителността на Календарната и реалната Тропическа години се компенсира чрез изграждането на различни логически конструкции за добавяне и отнемане на по едно цяло денонощие в определени моменти от Календарната година. По начините по които се правят тези компенсации се идентифицират и различните слънчеви календари.

Най-простата и груба корекция на Календарната година е така наречената високосна четири годишна корекция (Климишин И.А., 19985), Например : Тропическата година през 1900 г. се приема за базова и ориентировъчна и е равна на 365.24219879000 денонощия. Календарната година е с продължителност 365 денонощия, следователно остава един времеви интервал от 0.24219879000 денонощия, който, натрупвайки се за четири години, става равен на 0.96879479160 денонощия. Тогава се прави Високосната корекция като към последната от четирите години се прибавя още един цял ден. Така разликата между Календарната и

Тропическата години след тази корекция става равна на 0.03120520840. Продължава се пресмятането на дължината на Тропическата година за всяка Календарна година по-нататък и се прави постоянно на всеки четири години Високосната корекция. Когато обаче натрупаната разлика след всяка Високосна корекция се натрупа и стане много близка до едно денонощия се налага да се отнеме един ден от последната година. Такова натрупване от 1900-та година става след 132 години. Тогава следващата 133 година, която трябва да е проста, се определя като високосна и и се дава натрупаният ден, който я прави високосна. Тази корекция на натрупаната разлика след Четиригодишните корекции се нарича Векова корекция. Отново се натрупва едно денонощие на 260-тата година след 1900 г. Налага се нова векова корекция, каквато се прави и след 384-тата година, и така нататък. Въпреки всичко обаче пак остава една малка разлика и след 132-та, и след 260-та и след 384-та години. Разликите за годините до 640-тата са показани в таблицата Векови корекции. Тези разлики обикновено не се коментират но те съществуват и се проявяват след много дълъг период от време като натрупване от едно цяло денонощие.

Векови корекции

Година след 1900г	132	260	384	512	640
Излишна пакетна корекция	0.03029058440	0.03038095559	0.00017778559	0.00224867519	0.00532652479

Горните разсъждения налагат изводът, че първият вид календарните грешки е свързан с неправилното отчитане на продължителността на Тропическата година и произволно определената стартова дата, в случая 1900г., При друга стартова дата, много отдалечена от 1900г. и моделирайки Тропическата година по друг начин, отличен от този на Нюкомб, вековите корекции трябва да се правят на други периоди от време.

Проблемите с характеристиките на Календарните пакети, формират втори източник на календални грешки при построяването на съответния календар. Този проблем, свързан с точността на календара се решава частично чрез техниката на Верижните дроби (Селешников С., 1972) Взема се определена дължина на Тропическата година и дробната и част се разлага на верижни дроби. Процесът спира, когато е постигната отнапред зададена точност на закръгляне. За нуждите на календаристиката не винаги е необходимо да се използва много висока точност на дължината на Тропическата година. Закръглянето до петия десетичен знак дава грешка от едно денонощие за период от 100 000 години. Това е приемливата точност на Тропическата година, с която може да се работи при построяването на корекционния пакет на Слънчевия календар (Селешников С., 1972), (Климишин И.,1985). Или петата календарна дроб ще бъде достатъчна за изграждането на точен корекционен пакет. Във всяка календарна дроб знаменателя представлява дължината на корекционния пакет, а числителя е броят на високосните години в пакета. По този начин продължителността на корекционния пакет и съответно броя на високосните години в него се определят от продължителността на Тропическата година в началото на пакета.

В рамките на календарния пакет определените от числителя на календарната дроб високосни годинине, умножени по 4 не изпълват дължината на пакета. Разпределението на наличните евентуално високосни години до края на пакета се определя от специфични изисквания към съответния календар.

На всяка календарна дроб, съответстват дължина на Тропическата година, за която календарната дроб е точна, и период от години в който календарът поддържа постоянна векова корекция. Когато един календар, с предварително определена календарна дроб, се стартира от година, която не съответства на годината определена от календарната дроб, се получава грешка, която нараства с отдалечаването на съответната година от стартовата година. Или календарът не е адекватен поради стартовата си дата. От друга страна е налице и грешката, определена от точността на календарната дроб (нейния порядък).

Исторически първо възникват календарните дроби на съответните календари, генерирани при една (определена) дължина на Тропическата година и след това се анализират грешките на календарите. Това не е коректно поради различните дължини на Тропическите години, за които са адекватни съответните календарни формули и води до грешки на стартовата дата на календарите.

В изложеното изследване се проследява как се държи определена календарна дроб (от съответен порядък) за съответна Тропическа година започвайки от 6000г.пр.н.е. Така се определя стартовата дата на календарът, изграден на определената дроб, и периодът години, след който тя натрупва едно денонощие грешка. В приожените таблици са указани грешките на известните Слънчеви циклови календари. През 2012 година е публикуван Българският цикълов

календар на Танев-Манев (Танев, Т., Манев А., 2012a), (Танев, Т., Манев А., 2012b). Той е базиран на Пета календарна дроб 124/511 и се стартира от 5504г.пр.н.е. (Танев, Т., Манев А., 2009c).

Слънчеви календари

Автор	Име на календара	Дроб	Календарна дроб	Дължина на Тропическата година	Грешка [денонощия]	Грешка от едно денонощие [за години]
	Древно египетски	0 / 4			1	4
Созиген	Юлиански	1 / 4	II	365.25000	-0.00780	128
Лилио	Григориански	97 / 40	III	365.24250	0.00030	3 280
Омар Хаям	Персийски	8 / 33	III	365.24242	0.00022	4 500
Миланкович	Ново юлиански	218 / 900		365.24222	0.00002	43 500
Медлер		31 / 128	IV	365.24219	-0.00001	80 000
Танев-Манев	Български циклов	24 / 511	V	365.242**6535**	0.00000	132 573

На изследване беше подложено изменението на календарна дроб от съответен порядък във времето и каква е грешката която тя регистрира спрямо истинската Тропическа година. Така знаейки календарната дроб на Омар Хаям 8/33 и това, че тя е от трети порядък, проследяваме за коя година, започвайки то 6000 г. пр.н.е. до сега, за която тя е адекватна. Така се определи годината 1703-та преди Новата ера. Определя се и отстоянието на точно определената Тропическа година от точната календарна дроб и реалната Тропическа година по това време. По този начин се определя грешката на формулата, при правилно стартиран календар от определената година.

Грешка на формулата при старт в адекватната година

Автор	Дължина на Тропическата година	Година за която е валидна Тропическата година	Календарна дроб	Грешка на формулата	Период за натрупване на грешка от един ден
Древен Египет	365.00000		0/1	0.24220000 5h 48m 46.06s	4
Созиген	365.25000	-125 155	1/4 II	0.00002200 **1.9 s**	45 474
Л.Лилио	365.24250	-3 005	97/400 III	0.00000004 **0.346s**	249 711
Омар Хаям	365.24242	-1 703	8/33 III	0.00000423 **0.3654s**	236 712
М.Миланкович	365.24222	1 554	218/900		
И.Медлер	365.24219	1 574	31/128 IV	0.00003131 **2.705s**	31 941
Танев-Манев	365.242660 365,2426535	-5 505 -5 611	124/511 V 256/1055	0.00000148 **0.1278s** 0,00000057 0.0492s	676 056 1 756 097

В последната таблица е показана точността на Българският циклов календар на Танев-Манев, който не е стартиран в годината 5611 г. пр.н.е., годината когато Пета календарна дроб е адекватна. Стартирането на календарът е от 5505 г. пр.н.е. поради необходимостта да се създаде календар, чрез който да се съпоставят най-точно, реални исторически събития, датирани според Юлианския щалендар. Поради това се снижава

точността на календара и натрупването на един ден грешка става на всеки 676 056 години (Манев А. 2015) .

Слънчевите циклови календари не могат да се стартират произволно. Стартирането на всеки циклов слънчев календар трябва да става според годината, определена от порядъка на календарната му дроб и адекватната за тази година Тропическа година. Така се гарантира устойчивостта и точността на календара във времето.

От направеното изложение следва, че не е коректно цикловите слънчеви календари да се съпоставят при неадекватно стартиране на календарите, при неправилно отчитане на дължината на Тропическата година. Заложеният принцип на закръгляване на продължителността на Тропическата година, обрича цикловите календари да имат винаги и трите вида грешки: векови и грешки на формулата и старта на календара. Те са заложени още при замисъла на този тип календари. Исторически не е било възможно да се правят точни измервания на Тропическата година и пресмятане с голяма точност.

Недостатъците на цикловите календари се избягват при създаването на Динамичен календар, стартиран според исторически събития, при който се следи натрупването на вековата еднодневна корекция и тя се прави на следващата година. По този начин остава да действа само Високосната корекция, която е неизбежна при не целия брой денонощия в календарната година.

Литература:

- Климишин, И.А., Календарь и хронология, Изд.Наука, Москва, 1985г.
- Манев, А., Динамика на Тропическата година и слънчевите календари, XIX научна конференция с международно участие „Космос, Екология, Сигурност” SES 2015, БАН.,4 - 6 ноември 2015, София.., стр. 251–258
- Селешников, С.,История календаря и хронология, Наука, Москва, 1972 г.
- Танев, Т., А. Манев (2012a), Календарна формула и календарна дроб на Българския циклов календар, XXII Международна научна конференция, 7-8 юни 2012, гр.Стара Загора, Международно научно on-line списание Наука и технологии, Том II, Номер 3, 2012 , стр. 140–146 , ISSN 1314-4111
- Танев, Т., А. Манев (2013b), Български празничен циклов календар, Издание „Данграфик”- Варна, 2013г., 118 стр. IBSN 978-954-9418-69-9
- Танев, Т., А. Манев (2009c), Точно определяне на Началото на календарната система (Археометричен анализ), International Science conference 4th - 5th June 2009, Stara Zagora, BULGARIA"Economics and Society development on the Base of Knowledge", Volum e VI , pp. 77–82, ISBN 978-954-9329-45-2
- Borkowski, K.,The Tropical year and solar calendar,The Journal of the Royal Astronomical Society of Canadavol. 85, No. 3 (whole No. 630), June 1991, p. 121–130.
- Laskar, J., 1986, Astron. Astrophys., 157, 59.
- Meeus, J., D.Savoie, The history of the tropical year , J. Br. Astron. Assoc. 102, 1, 1992

Session 4

Ecology and Risk Management

Chairman: Prof. Garo Mardirossian
Secretary: Assoc. Prof. Maria Dimitrova

NATURAL HAZARDS IN BULARIA AND MALDIVES

Boyko Ranguelov[1], Memet Salih Bayraktutan[2], Fathimath Shadiya[3], Edelvays Spassov[4]

[1]Bulgarian Academy of Sciences and Arts – Sofia
[2]Technical University – Igdir
[3]Maldives National University – Male
[4] Kinemetrics – LA
e-mail: branguelov@gmail.com

Keywords: *Natural hazards, Bulgaria, Maldives*

Abstract: *A comparative study of the natural hazards in Bulgaria and Maldives is performed. Both countries are located in a completely different geodynamic environment and show completely different threats due to the natural disasters. The target of such investigations is to create a common methodology to be used in such cases of huge differences of the origin and sources of hazards and their use to decrease and mitigate the negative consequences of the disasters in different environment to the society.*

ПРИРОДНИ ОПАСНОСТИ В БЪЛГАРИЯ И НА МАЛДИВИТЕ

Бойко Рангелов[1], Мемет Салих Байрактутан[2], Фатима Шадия[3], Еделвайс Спасов[4]

[1]Българска академия на науките и изкуствата – София
[2]Технически университет – Игдир
[3]Малдивски Национален Университет – Мале
[4]Кинеметрикс – Лос Анджелис
e-mail: branguelov@gmail.com

Ключови думи: *Природни опасности, България, Малдиви*

Резюме: *Извършено е сравнително изследване на природните бедствия в България и Малдивите. И двете страни се намират в напълно различна геодинамична среда и показват напълно различни заплахи поради природните бедствия. Целта на такива изследвания е да се създаде обща методология, която да се използва в такива случаи на огромни различия в произхода и източниците на опасности и тяхното използване за намаляване и смекчаване на негативните последици от бедствията в различна среда за полза на обществото.*

Introduction

A very complicated situation about the natural hazards acting on the territories of Bulgaria and Maldives is dominated by the typology, origin and negative consequences expected by the disasters.

The Maldives is a country located in Indian Ocean and Bulgaria is a country located in average latitudes in the northern hemisphere. Both countries are threaten by natural hazards but they have completely different typology, origin and produced different negative effects on the territories, creating negative effects to the societies of both countries. Using the comparative analysis a new methodology can be created, performed and to lead to new and non-expected results. Such results can be useful for the mitigation and preventive measures. If such a methodology could be transformed to the universal tool for such investigations it could be very useful and performed to different cases and completely different environment.

This study was triggered by a project called CABARET targeted to the high school education in the tsunami prone countries in Indian Ocean. The cooperation between Bulgaria and Maldives was very fruitful and produced education tools for master level of education in the Mining and Geology University, Sofia, BULGARIA and Maldives National University, Male, MALDIVES [1].

Geography positions

The geography positions of the both countries (Bulgaria and Maldives) are completely different.

The Maldives – equatorial islandic country with lowest average land above the sea level (about 2.4 meters) consists of more than 1200 coral atolls located in two parallel and extended to 1200 kilometers with a width of about 50–60km separated by a shallow water inner see between them. The climate is equatorial to tropical with two main seasons. The origin of Maldives was discovered by B Ranguelov and F Shadiya [6] as a sealed before 5–20 My mid-oceanic rift with relatively simple geology – basaltic basement and coral reefs above it with steep slopes to the Indian ocean and a shallower sea filled with coral sediments with low oil potential [1]. The greatest world negative gravity anomaly is located there. The Maldives are famous as a touristic heaven.

Bulgaria is an Eastern European country with a lot of mountains, valleys, rivers and about 300 km seashore. The climate is demonstrated by 4 seasons – soft winter, hot summer and rainy spring and autumn. The country is famous with its more than 60 natural hazards (familiar in most disastrous prone countries) lacking only constant ice, desertification and active volcanoes. It is rich of underground and surface waters and a lot of mineral springs (over 500) with various hydrothermal waters. The geology is very complicated containing rocks from the Precambrian up to the present day deposits. Bulgaria is also a touristic country.

Natural Hazards

a) Maldives

Very famous fact is that the Maldives is one of the most seismically calm country. This fact provoked the interest of the origin of Maldives [6].There are not active faults except some cases of listric ones generated by the weight of the coral sediments to the periphery of the atolls. Almost all natural hazards are “imported”. Most dangerous are transoceanic tsunamis (demonstrated during the 2004 Great Indian Ocean tsunami) with a lot of destructions and victims. Other dangerous tsunami sources are these ones in the Arab (BENGAL) bay. The serious hazard is expected sea level rise due to the climate change. The location of both sides of equator (known as “no hurricane ring”) protects Maldives from hurricanes and tornadoes, but sea storms are an important hazard. Local sea event known as “udha” (sea waves, which are known as gravity waves caused by high tides and strong winds) is another dangerous phenomena.

The protection of people is by National geodetic service responsible for the early warnings to the population in case of tsunami, sea storms, etc.

According to Ministry of Environment and Energy [8], three major types of swells exist in the Maldives, they are 1) “Udha” waves, which are known as gravity waves caused by high tides and strong winds; 2) swell waves, which are known as tidal waves and 3) Tsunami waves, which are low frequency high impact waves caused by earthquakes and other bottom phenomena. Wave swells can cause significant flooding that can damage key infrastructures such as homes, harbors, schools, mosques, and jetties in the islands. Other hazards such as monsoon strong winds can cause high tides, which can increase coastal flooding events. In 2008, strong surface winds, combined with heavy rainfall, caused significant damage to roofs and the uprooting of trees in many islands of the Maldives. Hazardous weather events which regularly affect Maldives include tropical cyclones and sever local storms. Tropical cyclones are considered destructive if they are associated with strong winds exceeding 150 km per hour with rain fall above 30 to 40 centimeters within a 24-hour period and storm tides exceed four to five meters. Northern atolls have a greater risk of cyclonic winds and storm surges compared to the southern atolls however, the cyclones that affect northern islands of the country are weak cyclones that are formed in the southern part of the Bay of Bengal and the Arabian Sea [14]. Islands located within close proximity to the equator, are largely free from storms. The northern region of the Maldives is more prone to wind hazards from cyclones compared to southern region of the Maldives. Strong winds can damage vegetation, houses, communication systems, roads, while heavy rainfall can cause flooding and cyclonic winds sometimes can cause sudden rise in the sea-level along the coast leading to storm surges [7].

b) Bulgaria

As it was previously mentioned Bulgaria is threaten by more than 60 natural hazard of different origin [3] – geological gravitational processes, earthquakes, tsunamis, floods, forest fires, subsidence of loess, etc. etc. In a geology context Bulgaria is located on a part of the Moesian platform (to the North) and a part of Alpo-Himalaya orogeny (to the South) [4].

The southern part has a much more diverse structures, more complexly configured tectonic units (blocks and the boundaries between them) and correspondingly more complex geodynamics, which is also expressed in more intense GPS anomalies (horizontal and vertical displacements), increased seismic activity (as the clearest demonstration of active geodynamics) and a much more

complex geomorphology (a clear characteristic of orogenic zones). An attempt to explain this geodynamic behavior is made in [2], where the deeper horizons below the earth's crust are investigated - the complex "crust-asthenosphere" – which shows intensive depth differences in the asthenosphere layers and serious variations in the thickness of the crustal-mantle block structures. This explains the formed block structure of the crust and the presence of deep faults, as boundaries between the earth's blocks. These are the main characteristics of the geodynamics which define the active recent vertical and horizontal movements – the fundament of the sources of inner natural hazards. Meteorological factors is another reason for the surface hazards – such as floods, erosion, abrasion, subsidence, etc. [5].

Similarities and Differences

The summary table of the differences and similarities of the natural hazards of Bulgaria and Maldives is constructed including the geodynamic conditions, main natural hazards and similarities and differences of all aspects of the investigated topics.

Countries/Parameters	Bulgaria	Maldives	Differences	Similarities
Geodynamic conditions	Moesian microplate and orogeny zone	Indian Ocean plate. Ancient sealed rift zone	High	Low
Geomorphology	Mountains land with a sea shore in mid latitudes (BG)	Long double chain of islands (atolls) on both sides of the equator (MAL).	Very high	Very low
Earthquakes	Intensive local seismicity. High effects from outside sources	Lack of local seismicity. Low effects of outside sources	Very high	No
Tsunamis	Rare Black Sea tsunamis	High danger from transoceanic tsunamis	Low	High
Landslides	High danger especially on the Black Sea and Danube coasts	No data	Very high	No
Floods	Flash floods. Melting snow floods.	Floods due to heavy rains in wet season	Low	High
Sea storms	Frequent from Black Sea	Frequent from Indian Ocean	Low	High
Wind storms	Intensive	Intensive	Low	High
High waves	Rare due to sea storms	Frequent due to sea storms and gravitational waves	Low	High
Tides	Low tides	High tides	High	Low
Forest fires	Very frequent	No data	Low	No
Sea level change	Low changes	Increased attention due to the sea level rise	High	Low
Icing	Very frequent during winter time	No possibility for icing	Very high	No

In general the analysis of the table show the following peculiarities:

Due to the different geography position, the geomorphology and the geodynamics of Bulgaria and Maldives the conditions for natural hazards triggering are rather different.

There are some similarities about the natural disasters in both countries (like floods, tsunamis, storms, etc.) which needs the development of measures for mitigation and soft long lasted preventive measures to decrease negative effects of such natural hazards.

The perspectives for more detailed studies need larger use of GNSS technology *especially for Maldives) to establish the horizontal and vertical displacements of the islandic country. The international observing system about the ocean and sea level change and tides, the temperatures water increase and other global anomalies will bring more information about the climate change and the consequences for Maldives and Bulgaria.

Conclusions

A comparative study about natural hazards in Bulgaria and Maldives is done following the available data.

Detailed investigation about similarities and differences and their origin is performed revealing the sources of the hazards and possible universal and/or specific measures to avoid the heavy consequences from the disasters.

Such approach can be very useful for development of a common methodology for application in such cases of countries located in a different geodynamic conditions and the use in case of occurring disasters.

Acknowledgments

This work is part of the scientific program of the Bulgarian Academy of Science and Arts (BASA – http://basa.bg/en/) and its Centre of Natural and Engineering Science (https://basa.bg/index.php/otdeleniq-na/bani/nauka/314).

References:

1. Ranguelov, B., F. Shadiya. 2018. Fractals, Natural Disasters and Ecological Problems of Maldives., J. Ecological Eng. and Env. Protection.
2. Yosifov, D., B. Ranguelov, E. Oynakov, 2018. Deep low velocity layers inferred by the MSS – indicators of the asthenosphere structure in Bulgaria. Proc. IX National Geophysical Conference, 30th November 2018.
3. Ranguelov, B., 2020. A new edition of a book of the natural hazards, their prevention and protection. J. Aerospace Research in Bulgaria. Vol. 32., pp. 241–242. https://doi.org/10.3897/arb.v32.e19
4. Brouchev, I., et al., 1994. Geological Hazards in Bulgaria, BAS edition, Sofia (with a Map – scale 1 : 500 000)
5. Ranguelov, B., 2011. Natural Hazards – nonlinearities and assessment., Acad. Publ. House (BAS),
6. Ranguelov, B., F. Shadiya. 2020. The Genesis of the Maldives: A New Hypotheses., Chapter 3 in "Contemporary Studies in Sciences", (Eds: Recep Efe and Isa Cürebal). Cambridge Scholars Publ. https://www.cambridgescholars.com/contemporary-studies-in-sciences
7. United Nation Development Programme.2017. Detailed island risk assessment in Maldives: Natural Hazards and physical vulnerability assessment report (2008). Retrieved on 18th Sept. 2017 from www.housing.gov.mv/v1/daaownload/1
8. Ministry of Environment and Energy. Second National Communication of Maldives to the United Nation Framework Convention on Climate Change. Ministry of Environment and Energy. Male', Republic of Maldives, 2016.

ЗЕМЕТРЕСЕНИЯТА ”ЧИРПАН – ПЛОВДИВ” ОТ АПРИЛ 1928 Г. – МЕХАНИЗЪМ, ПРИРОДА, СЕИЗМИЧЕН ЦИКЪЛ И ОПАСТНОСТ

Димитър Димитров

Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките
e-mail: clgdimi@abv.bg

Ключови думи: земетресения, моделиране, геоофизични, палеосеизмични и GPS данни

Резюме: Представени са резултатите от многогодишните изследвания на земетресенията от Април 1928 г. „Чирпан – Пловдив“ - механизъм, природа, сеизмичен цикъл и опастност.

EARTHQUAKES „CHIRPAN – PLOVDIV“ OF APRIL 1928 MECHANISM, NATURE, SEISMIC CYCLE AND HAZARD

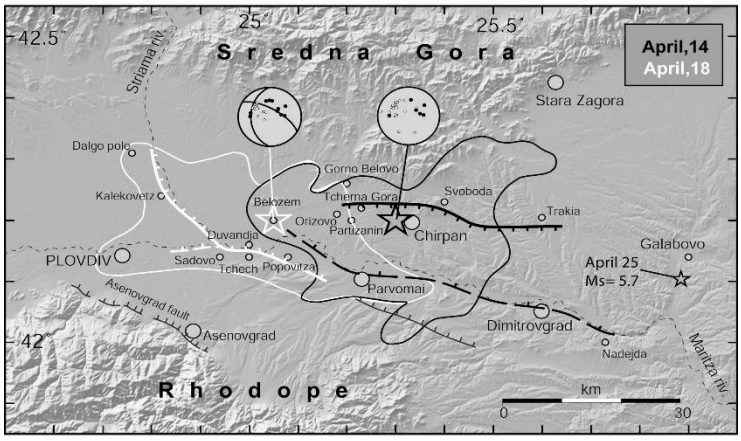
Dimitar Dimitrov

National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: clgdimi@abv.bg

Keywords*:* Earthquakes, modeling, geophysics, paleoseismic and GPS data

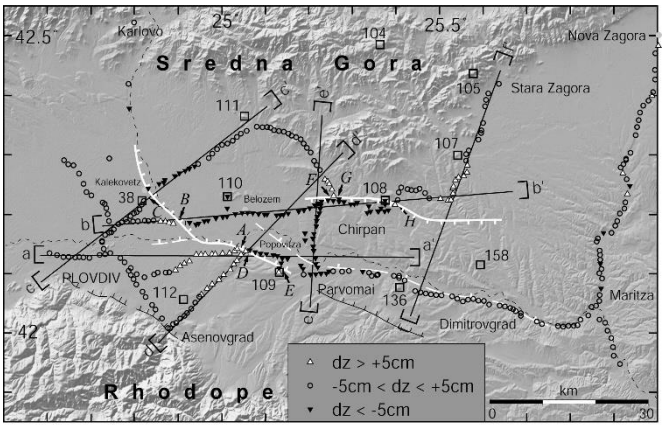
Abstact: We present the results of study for mechanism, nature and seismic cycle and hazard for April 1928 EQ in Bulgaria.

Районът ”Чирпан – Пловдив” в Горнотракийската низина е от най-изявените сеизмогенни зони в източното Средиземноморие Фиг. 1, известен със силните земетресения от 14 и 18 Април 1928 г. с Магнитуд M = 6.8 и M = 7.0 [1].



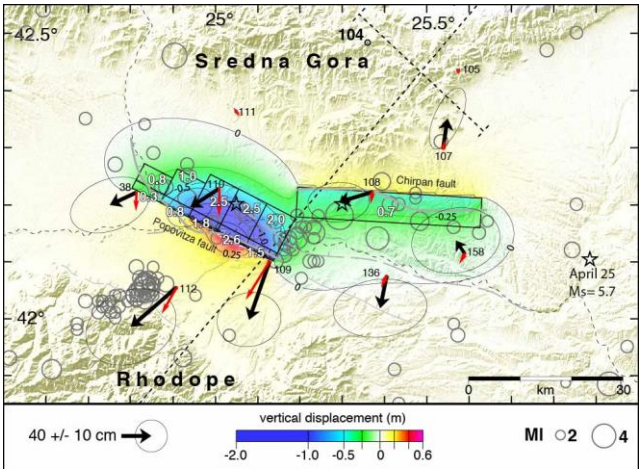
Фиг. 1. Сеизмогенната зона „Чирпан – Пловдив“ с епицентрите на двата главни труса, най-силният афтершок, главните ко-сеизмични разкъсвания, зоните на максимални разрушения и механизмите на сеизмичните огнища

Катастрофалните трусове от 14 и 18 април 1928 г. са предизвикали значими повърхностни деформации, количествено определени в единна система чрез прецизни нивелачни измервания, осъществени непосредствено преди и след двата труса Фиг. 2.

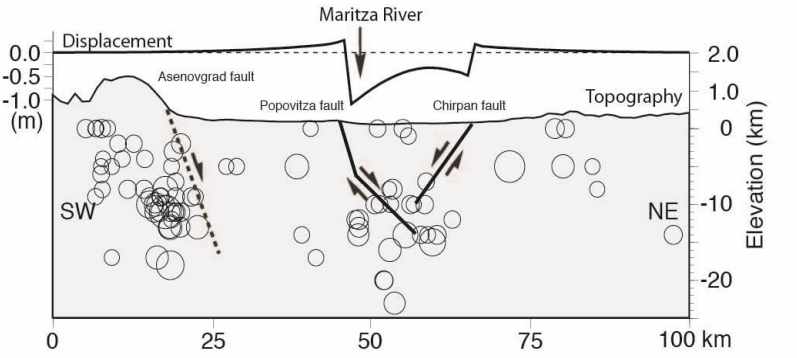


Фиг. 2. Схематично представяне на геодезически данни за вертикални ко-сеизмични премествания

По данните за вертикалните ко-сеизмични премествания на 360 нивелачните репери и данни за хоризонтални ко-сеизмични премествания на триангулачни точки от 1926–1993 г. е осъществено моделно изследване, прилагайки усъвършенстваният модел на Окада,1985 [2], Фиг. 3 и 4.



Фиг. 3. Главни разломи на трусовете от 14 и 18 април 1928 г., получени от моделното изследване



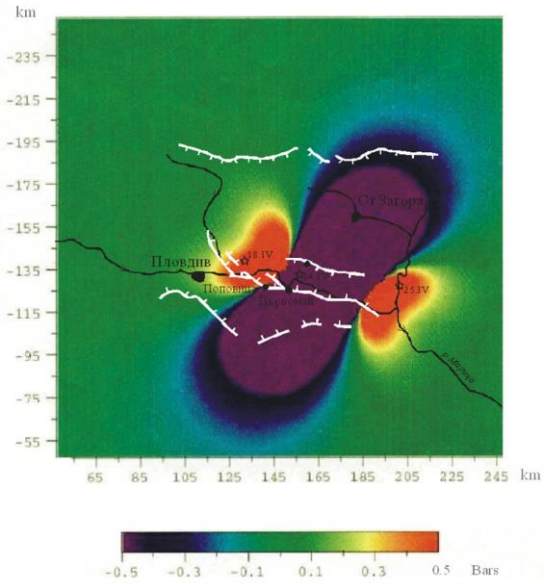
Фиг. 4. Напречно сечение NE-SW на геометричните и дислокационни параметри на земетресенията от Април 1928 г., с профил на релефа и съвременната инструменталната сеизмичност

Моделното изследване определи механизммът, сеизмотектонските и дислокационни параметри на земетресенията от 14 и 18 април 1928 г. (Фиг. 3 и 4):

За труса от 14 Април 1928 г.:

- рязкото хлъзгане е станало по един разсед с дължина 36 km и Азимут N 94.5° ;
- наклонът на разлома спрямо повърхността е 60° от север към юг;
- дълбочината на сеизмичното огнище на труса от 14 Април е 10 km;
- векторът на хлъзгане по разседната повърнина на разлома е 0.7 m;
- сеизмичният момент е Mo = 0.96 x 10 ^{19} [N.m], съответства на Mw = 6.7.

С получените сеизмотектонски и дислокационни параметри на труса на 14 Април 1928 г. чрез моделът на Кулон е определен ко-сеизмичния пренос на тектонските напреженията в района, което обяснява механизма и природата на вторият по-силен трус, и най-силния афтершок (Фиг. 5).



Фиг. 5. Ко-сеизмичен пренос на регионалните тектонски напрежения от труса от 14 април 1928 г. по Кулон, представен с цветова скала в [Bars]

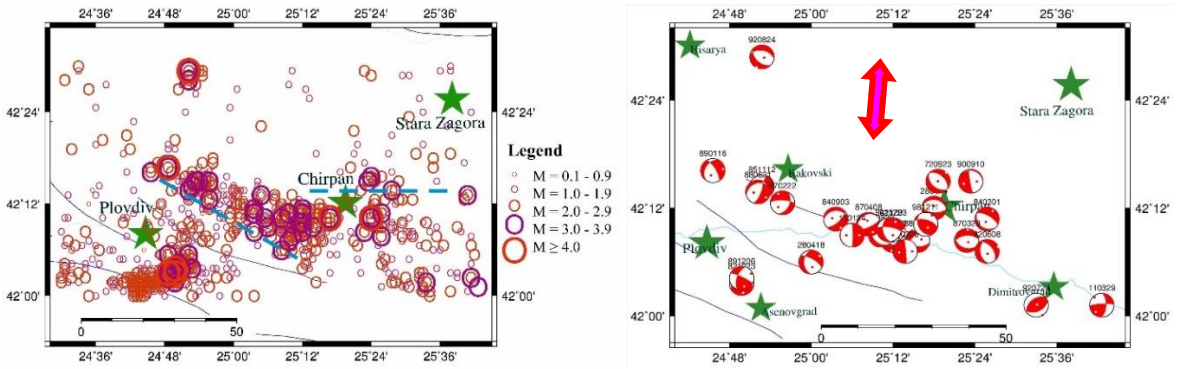
За труса от 18 Април 1928 г.:

- пренесеното напрежение от труса на 14 Април активира един листричен разлом с дължина 62 km и Азимут N 298.58° (Фиг. 5),;
- разломът има променящ се наклон в дълбочина от 75° до 45° при повърхността;
- дълбочината на сеизмичното огнище на труса от18 Април е 15 km;
- векторът на хлъзгане се променя в дълбочина и по протежението от 0.3 m до 2.6 m;
- общият сеизмичен момент е Mo = 2.77 x 10^{19} [N.m], съответства на Mw = 7.0.

Получените резултати от моделните изследвания се съгласуват с:

- тектонските разкъсвания на повърхността, наблюдавани веднага след двата труса и картирани от Бончев и Бакалов,1928; от Заеков,1932 и в ДИПОЗЕ,1932 [2];
- с геоложките характеристики на зоната [4];
- със стойностите на параметрите на главни разломи на земетресения с M>6 (Казахара,1984);
- с заключението на Връблянски,1975 г., че „на Запад от Чирпан разломът е силно усложнен“;
- със сеизмичните данни: Магнитуд, епицентрите, дълбочината на двата труса, сеизмичните моменти и освободено напрежение 80 bars [7];
- със сеизмотектонските изследвания [8] и с най-новите сеизмоложки изследвания [1].

Съвременната инструментална сеизмичност в района по данни от НОТССИ за периода 1981–2015 г. [3], се съгласува напълно с главните разломи на трусовете от 14 и 18 Април 1928 г., определени от моделното изследване Фиг. 6а. Механизмите на сеизмичните огнища на 28 земетресения с M ≥ 3.5 за периода 1928-2015 г. и средната им стойност Север - Юг на освободените напрежения Фиг. 6b [3], потвърждават природата на земетресенията в зоната "Чирпан – Пловдив".

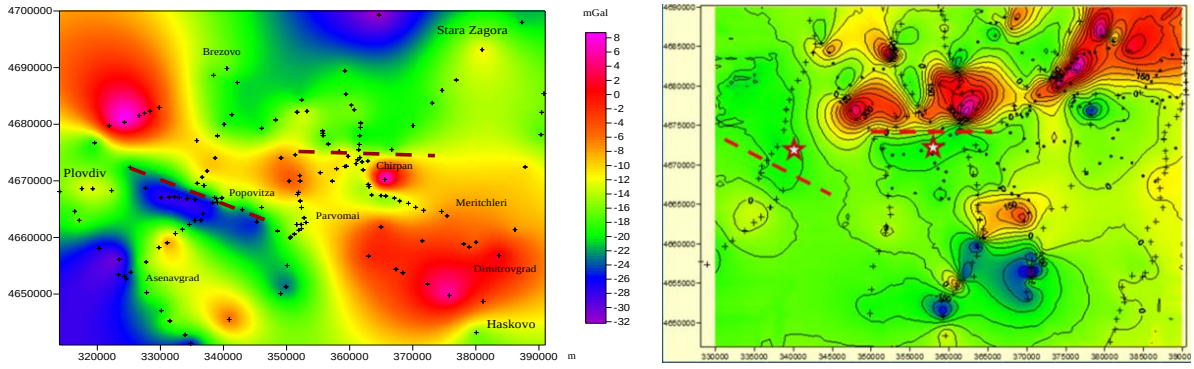


Фиг. 6а. Съвременната инструментална сеизмичност в района по данни от НОТССИ за периода 1981–2015 г.
6b. Механизми на сеизмичните огнища на 28 земетресения с M ≥ 3.5, за периода 1928–2015 г.

В периода 2005–2008 г. се осъществиха детайлни геофизични изследвания в района, поразен от трусовете от 14, 18 и 25 Април 1928 г.

Гравиметричните измервания по 193 репери от Държавната нивелация, показаха аномалии „Буге" в [mGal], в недвусмислена връзка на двата главни разлома с геоложките структури в зоната [2] (Фиг. 7а).

Особено е отчетлива връзката на разлома, активирал се при втория трус от 18 Април 1928 г. с геоложкия праг от най-стария планински масив в Европа - Родопите.



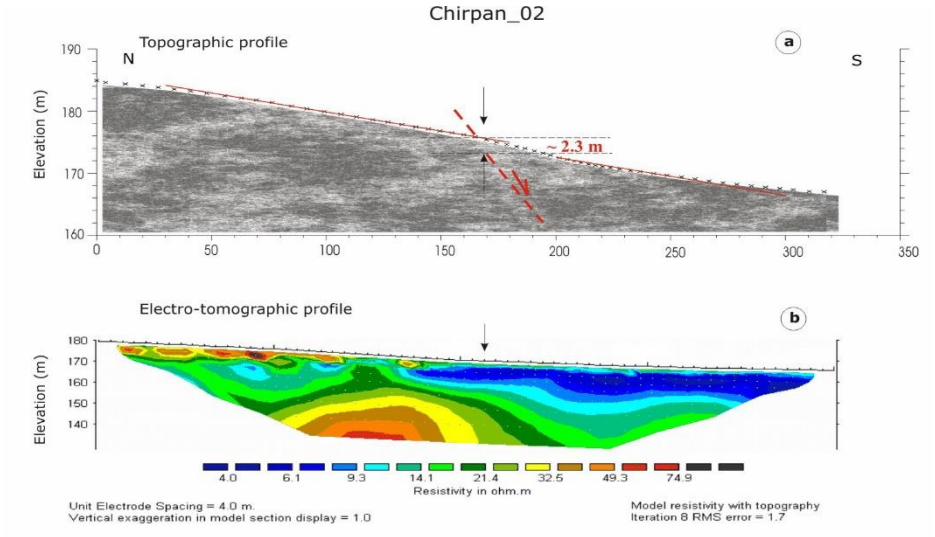
Фиг. 7а. Схематична карта на аномалиите "Буге", по данни от 193 измерени станции при плътност 2.67 g/cm^2,
7b. Схематична карта на абсолютното магнитно поле, по данни от 180 станции, редуцирано към полюса, в [nT].

Определеното абсолютно магнитно поле, по данните от 180 измерени станции в района, редуцирано към полюса в [nT], [2], показва връзка на разломът, активирал се на 14 Април с вулканичните структури на север от град Чирпан [4] (Фиг. 7b).

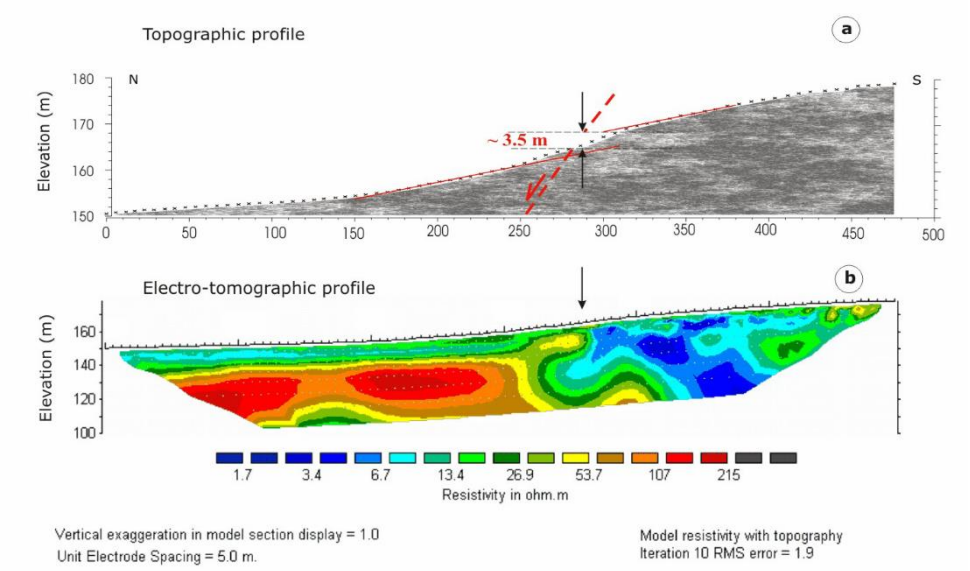
Резултатите от геофизичните изследвания показват съществени аномалии, свързани с главните разломи на трусовете от Април 1928 г., изясняват геоложките структури в района и дискусионни въпроси за природата на земетресенията в зоната.

По Договор за сътрудничество с Кралската обсерватория на Белгия, и съвместно с Геологичният институт на БАН и INGV Рим се осъществиха палеосеизмоложки изследвания в

района, чрез топографски профили на остатъчните повърхностни разкъсвания по двата главни разлома, електро-томографски профили и траншеи [8] (Фиг. 8 и 9).



Фиг. 8. Напречен профил, пресичащ Чирпанския разлом: а) топографски профил на остатъчното повърхностно разкъсване по разлома; b) електро-томографски профил – инверсен модел.

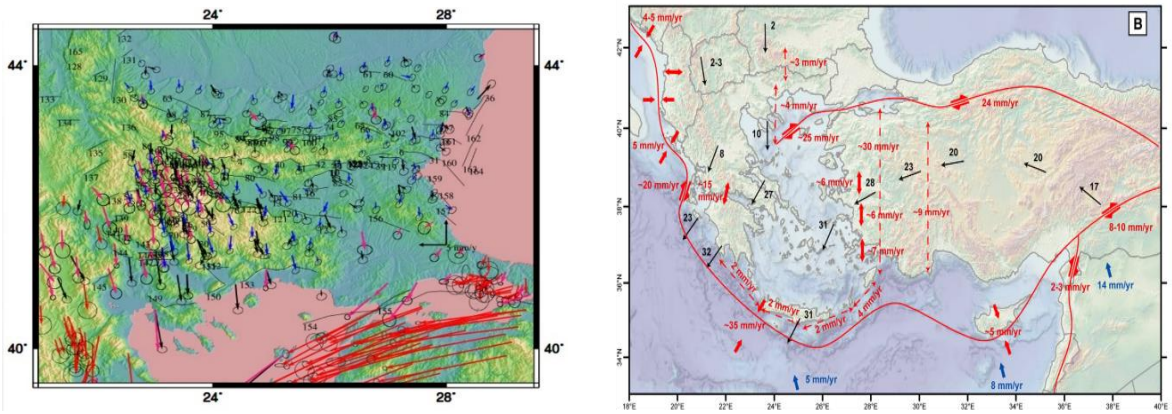


Фиг. 9. Профил, пресичащ напречно Поповишкия разлом: а) топографски профил на остатъчното повърхностно разкъсване по разлома; б) електро-томографски профил – инверсен модел.

Палеосеизмоложките изследвания в района определиха сеизмичните цикли по двата главни разлома на земетресенията от Април 1928 г. [8]:

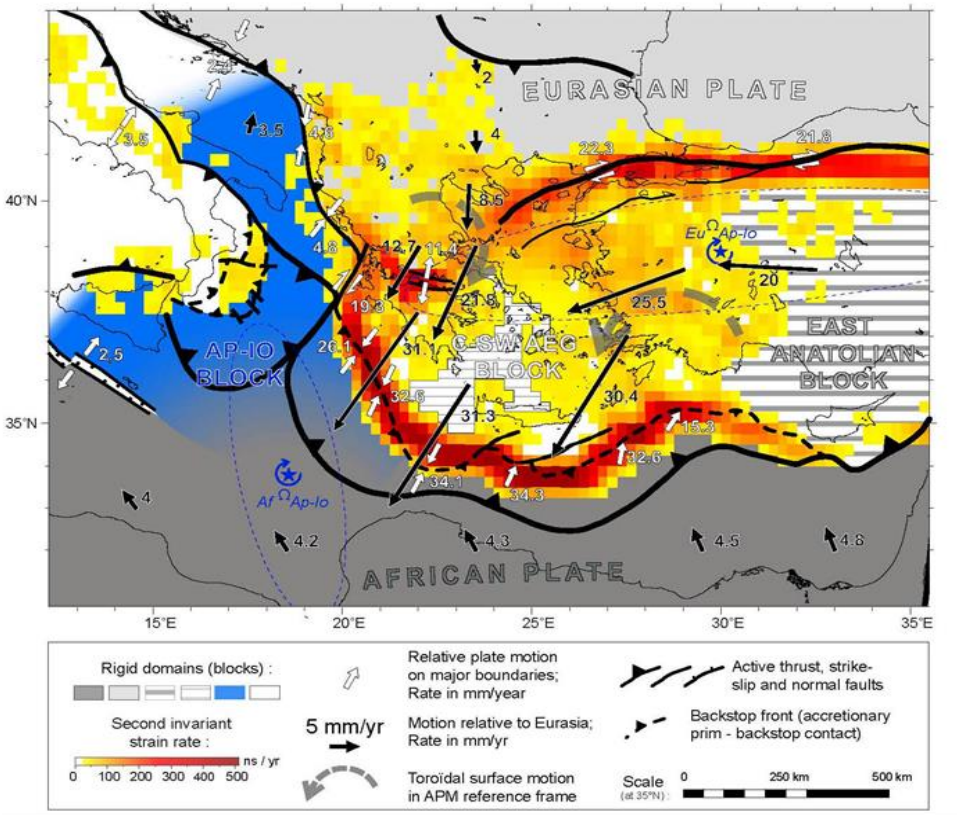
- По главният разлом на труса от 14 април за последните 10000 г. се установиха 3 палео-земетресения с M ≥ 6.8. Изчислен е средният интервал на повтаряемост на земетресения с M ≥ 6.8 на 2350 ± 643 г. [8]. *Journal Geophysical Research 111, B01303/2005.*
- По главния разлом на труса от 18 април за последните 10 000 г. са установиха 2 палео-земетресения с M ≥ 7.0. Средният интервал на повтаряемост на земетресения, сравними или по-силни от това на 18 април 1928 г. е приблизително 2500 ± 800 г. [8].

Резултатите от многогодишният GPS мониторинг на територията на България Фиг. 10a и на източното Средиземноморие Фиг.10b [5], позволиха да се определи скоростта на деформациите в района в [ns/yr] и оценят тектонските напрежения [6].



Фиг. 10a Съвременните тектонски движения в България и околните земи от 20 годишния GPS мониторинг
10b. Съвременните тектонски движения в Източното Средиземноморие от 30 годишния GPS мониторинг

Съвременните тектонски напрежения в зоната ”Чирпан – Пловдив” се съгласуват с данните от полеосеизмоложките изследвания, определените сеизмични цикли на двата главни разлома и оценяват сеизмичната опастност (Фиг. 11).



Фиг. 11. Съвременната кинематика и тектоника на района, с определените скорости на деформация в източното Средиземноморие в [ns/yr], за оценка на сеизмичнато опастност

Заключение:

- направен е анализ на данните за ко-сеизмичните премествания чрез усъвършенстван аналитичен модел, получено е недвусмислено решение на геометричните и сеизмотектонските параметри за главните разломи на земетресенията от 14 и 18 Април 1928 г.;
- изследван е ко-сеизмичния пренос на регионалните напрежения на двата главни труса за изясняване на физическият механизъм на двата главни труса и основният афтершок;

- оценени са геоложките структури в зоната „Чирпан – Пловдив“ по резултатите от изпълнените геофизични изследвания чрез прецизни гравиметрични и магнитни измервания, което спомага за по-доброто опознаване на природата на силните земетресения в района;

- определени са сеизмичните цикли на двата главни разлома на земетресенията от Април 1928 г., по данните от измерените остатъчните теренни разкъсвания, напречни топографски и електротомогрофски профили, и съвместният им анализ с данните от палеосеизмичните траншеи;

- по главния разлом на труса от 14 април за последните 10 000 г. /холоцена/ се установиха 3 палео-земетресения с M ≥ 6.8. Изчислен е средният интервал на повтаряемост на земетресения с M ≥ 6.8 на 2350 ± 643 г. *Journal Geophysical Research 111, B01303/2005;*

- по главния разлом на труса от 18 април за последните 10 000 г. се установиха 2 палео-земетресения с M ≥ 7.0. Средният интервал на повтаряемост на земетресения, сравними или по-силни от това на 18 април 1928 г. е приблизително 2500 ± 800 г;

- геодезическите данни от GPS измерванията в България и Източното Средеземноморие определиха скоростта на деформациите в района и регионалните тектонски напрежения за оценка на сеизмичната опастност;

- многогодишните комплексни изследвания на земетресенията от Април 1928 г. и на зоната „Чирпан – Пловдив“, доказват с нови средства и технологии нови факти и отхвърлят съществуващи хипотези.

Литература:

1. Christoskov, L.,(1998) “70 years of Earthquakes in Chirpan – Plovdiv 1928“, Symposium Geodynamic Investigations Related to the 1928 Earthquakes in Chirpan – Plovdiv, Sofia 09 October 1998, *Special Ed. Bulg. Acad. Sci*., 5–24.
2. Димитров Д. (2009), «Геодезически изследвания на сеизмогенни зони», Дисертация дтн, ЦЛВГ, БАН
3. Димитров, Д., Е. Ботев, В. Протопопова, М. Еверхард, Е. Михайлов и Ил. Чолаков (2015) “Геофизични аномалии в Горнотракийската низина и връзката им с главните разломи, активирали се при земетресенията от април 1928 г. и съвременната инструментална сеизмичност” S1-01, Доклади от Седма национална конференция „Геофизика 2015”, 25 години ДГБ, 20 – 23 май 2015 г., София.
4. Шанов Ст. и др. (1998) „Сеизмотектонски модел на маришкия сеизмичен район” Сборник доклади от симпозиума „Геодинамични изследвания, свързани със земетресенията от 1928 г. в Чирпан – Пловдив”, БАН, 101–111.
5. Noquet J.M. (2012) Present-day kinematics of the Mediterranean: A comprehensive overview of GPS results, Tectonophysics 579(B10):220–242.
6. Perouse E., M. Sebrier, R. Braucher, N. Chamot-Rooke, Didier Bouries, P. Briole, D. Sorel, D. Dimitrov, S. Arsenikos (2014) "Transition from collision to subduction in Western Greece: The Katouna-Stamna active fault system", Geophysical Journal International, GJI-S-14-0850.
7. Rangelov, B., Rizhikova, S. & Dimitrov, B, (1994) “Plovdiv residual deformations of the 1928 earthquake and determination of the new parameters“, Geologica Balcanica, 14 (5), 67–72.
8. Vanneste, K., Radulov., A., De Martini, P., Nikolov, G., Petermans, T., Verbeek, K., Camelbeeck., T., Pantosti, D., Dimitrov, D. & Shanov, S., 2006. “Paleoseismologic investigation of the fault rupture of the 14 April 1928 Chirpan earthquake (M = 6.8), southern Bulgaria“, *Journal of Geophysical Research*, 111(B01303).

Благодарности.

Изказвам моята голяма благодарност за помощта и съвместната работа по горните изследвания на колегите проф. Е. Ботев, проф. Ст. Шанов, на колегите от ИФЗ Париж, Кралската обсерватория на Белгия, ИНГВ Рим и на всички колеги от ЦЛВГ – БАН.

SEISMIC, WIND AND FIRE PROTECTION OF BUILDINGS AND FACILITIES THROUGH RENOVATION OF EXISTING ELEVATOR DEVICES WITHIN THE NATIONAL NEURAL NETWORK

Stanimir Karapetkov[1], Emad Abdulahad[10], Kamen Ishtev[1], Diana Bankova[1], Elka Radeva[1], Venelin Kondov[8], Dimo Dimov[9], Petia Minkova[1], Daniela Arnaudova[1] , Simeon Panev[1], Ivan Demerdzhiev[2], Philip Philipoff[3]*, Venkatanathan Natarajan[4], Mario Muñoz Organero[5], Mehmet Salih Bayraktutan[6] , Blagovest Panev[7], Ilian Dinev[10], Galina Maslarska[10]

[1]Technical University - Sofia
e-mail: skarapetkov@yahoo.com
[2]Ivan Demerdzhiev, "Demerdzhev, Petrov, Baev"
[3]Institute of Mechanics-BAS*
e-mail: philip.philipoff.decable.dregan@gmail.com, Corresponding author
[4]Sastra University, India
[5]Universidad Carlos III de Madrid, Spain
[6]Freelancer. Erzurum, Turkiye
[7]LevIns Insurance Company
[8]Kondov & Kaliqi design team, Rome, Italy
[9]BestVet Clinic
[10]University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy-Sofia
[10] Ilian Dinev, GPS Control EAD
[10] Galina Maslarska, GPS Control EAD

Technical University – Sofia
University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy-Sofia
GPS Control EAD

Keywords: *Signal Processing, Seismic, wind and fire protection, Elevator devices, National Networks*

Introduction. Dynamic vulnerability type buildings are protected by neural network over the elevator renovation. Such a neural network guarantees 100% protection of people and animals in existing buildings with elevator devices during a hurricane wind or an earthquake of arbitrary magnitude, arbitrary duration and spectral composition of seismic signals.

СЕИЗМИЧНА, ВЕТРОВА И ОГНЕ ЗАЩИТА НА СГРАДИ И СЪОРЪЖЕНИЯ ЧРЕЗ ОБНОВЯВАНЕ НА СЪЩЕСТВУВАЩИТЕ АСАНСЬОРНИ УСТРОЙСТВА В РАМКИТЕ НА НАЦИОНАЛНА НЕВРОННА МРЕЖА

Станимир Карапетков, Емад Абдулахад, Камен Ищев, Диана Банкова, Елка Радеа, Венелин Кондов, Димо Димов, Петиа Минкова, Даниела Арнаудова, Симеон Панев , Иван Демерджиев, Филип Филипов, Венкантхан Натараджан, Марио Моньос Органеро , Мехмед Салих Байрактутан , Благовест Панев, Илиян Динев, Галина Масларска

Technical University – Sofia
University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy-Sofia, GPS Control EAD

Ключови думи: *Обработка на сигнали, Сеизмична, ветрова и огнезащита, Асанасьорни съорожения, Национална невронна мрежа*

Резюме. *Сградите от тип динамична уязвимост са защитени от невронна мрежа при обновяването на асансьора. Такава невронна мрежа гарантира 100% защита на хора и животни в съществуващи сгради с асансьорни устройства по време на ураганен вятър или земетресение с произволен магнитуд, произволна продължителност и спектрален състав на сеизмичните сигнали.*

Population, Households, Housing of Bulgaria.(https://census2021.bg/) according to census 2011.



Fig. 1. Population of Bulgaria



Fig. 2. Population, Households, Housing of Bulgaria.
(https://census2021.bg/)

Seismic and wind infrastructure vulnerability. About 95% of the Earth's population lives in high-rise apartment buildings. According to Signal Processing theory [3] three type of buildings are described in the report. Buildings up to 3 stories are high frequency and rigid. They are slightly affected by seismic signals, which are of low frequency. In case of an earthquake, the evacuation takes seconds. Buildings between 3 and 16 floors are strongly affected by seismic signals, because in this frequency range they enter into resonance with the spectral characteristics of seismic signals. Buildings over 16 stories are low-frequency and hardly resonate with seismic signals. These buildings are strongly affected by hurricane winds, because these are the spectral characteristics of hurricanes. Another very important dynamic characteristic of dynamic inputs is the duration of signals. According to the mechanics of destruction, short-term dynamic signals of less than 20 seconds, for example, can hardly enter into resonance and lead to serious disturbances of massive buildings. Buildings between 3 and 16 floors are considered seismically vulnerable. Almost all such buildings are equipped with elevators. This enables them to be combined into a neural network. Existing elevator devices represent no less than 70 percent of the cost of such a national neural network.

Contemporary anti seismic engineering monitoring for real time processing of building dynamical behavior. Contemporary anti seismic engineering monitoring for real time processing of building dynamical behavior is developed in this report [1–24]. Proposed national neuron network can be used in addition for seismic engineering monitoring by elevator devices improvement. Velocity sensors, mounted in elevator shaft have negligible low price and they elaborated in a real time frequency analyses of seismic signals in the reminded building as an addition digital result of the system. The amplitude frequency transfer function is important engineering data for the building response under seismic and wind dynamical loadings. This data is elaborated of each computer of the building under investigation. In the network all several million results of elevator devices are taking into account in real time for seismic or wind dynamical loadings for the seconds.

Active and passive wind and earthquake protection systems. These systems are the main part of the proposed national neural network for wind and earthquake protection based on the renovation of the existing elevator devices. The active control system mounted in reinforced concrete elevator shaft is presented in the Fig. 3 A. The passive control system is presented in the same Fig. 3 B.

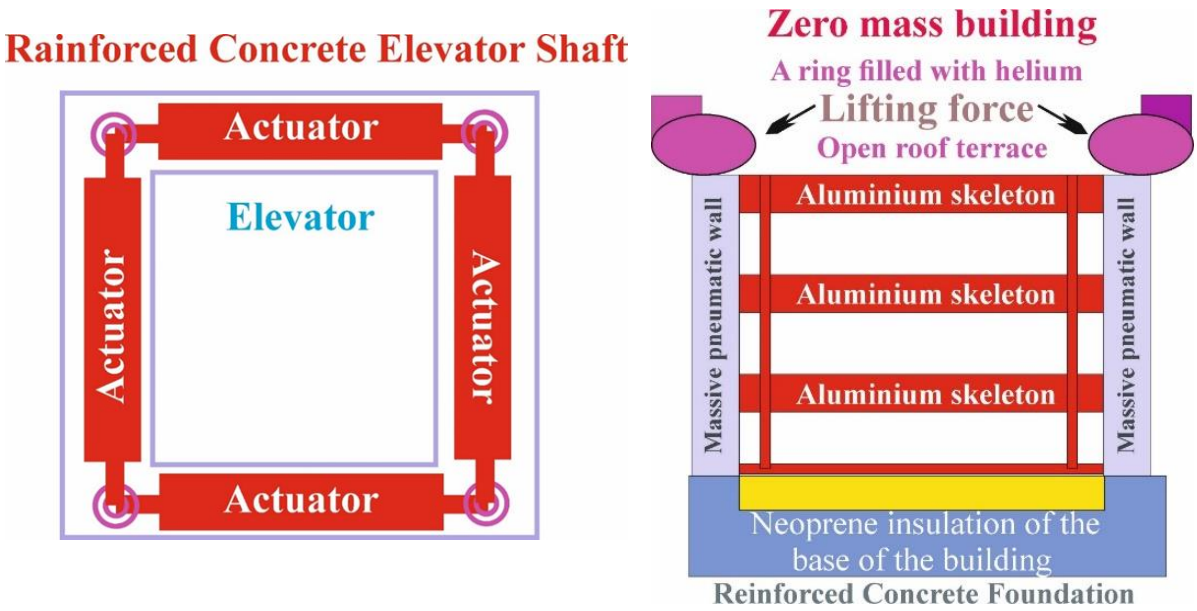


Fig. 3. Active and passive control systems – seismic, wind and fire protection of building and facilities. A) Active control system B) Passive control system

Structural Modal Analysis. On the Fig. 4 and Fig. 5 are given the Structural Modal Analysis for the Example building.

Early warning systems [8, 9]. All known seismic early warning systems (SEWS) are based on the basic physical property of seismic wave propagation. Equation : $\frac{V_p}{V_s} = 2^{-\frac{1}{2}}$ is the fundamental link on which kinematic SEWS functions. Here V_p is the velocity of the longitudinal P wave, V_s respectively of the transverse wave in [km/s]. These velocities differ from the velocities of oscillation of the media through which the seismic waves travel. The oscillating speeds of the particles are much smaller. The relation between the velocities of the waves always exists in the rigid ideal body and is an immanent property of any perfectly elastic medium. P-waves have compression/extension motions of solid layer particles and travel parallel to the wave propagation ray.

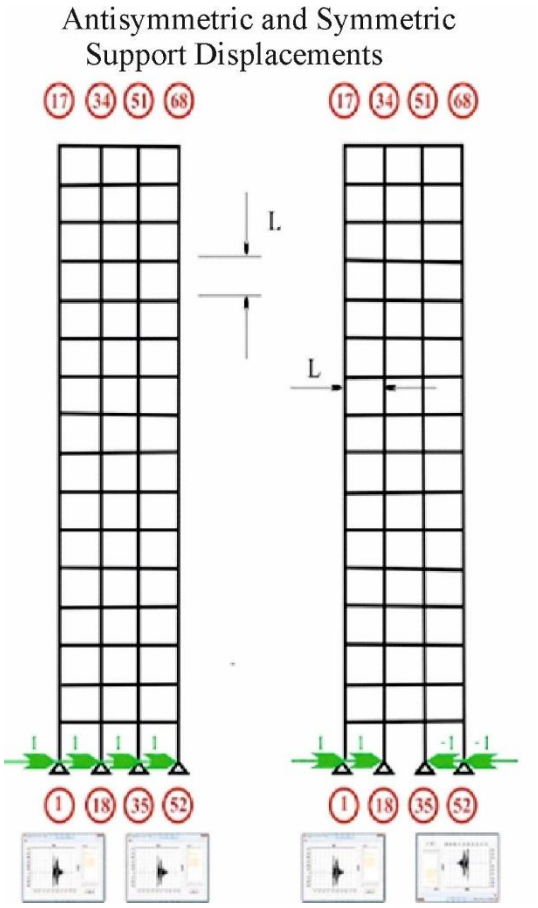


Fig. 4. Example building
Calculated by SAP 2000 [12] and MatLab [13]

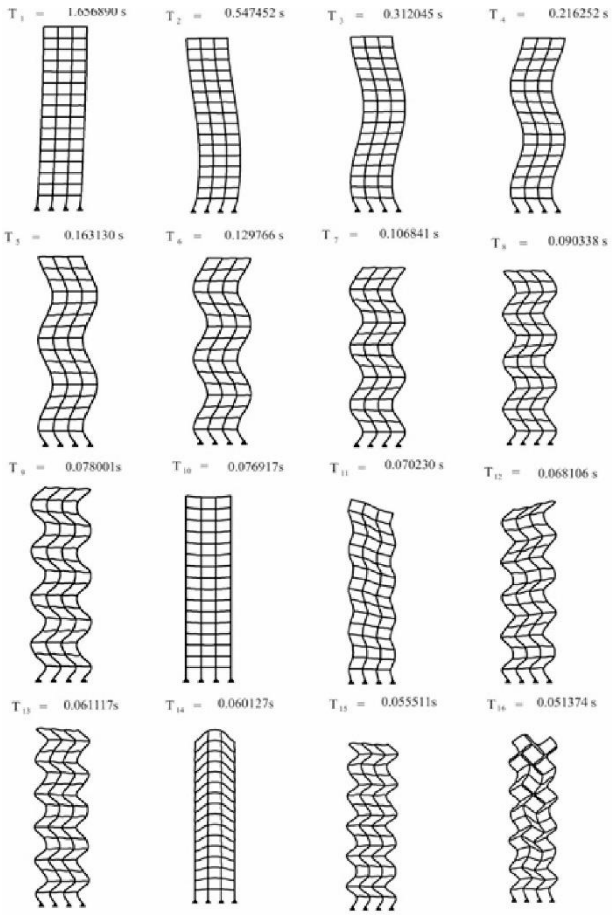


Fig. 5. Eigenmodes and Eigenperiods.
Calculated by SAP 2000 [12] and MatLab [13]

These waves are the fastest and have the highest speed in the wave packet – between 6 and 8 km/s. P-wave amplitudes are often the lowest in the entire phase packet of any seismic wave emitted by the seismic source and have less destructive potential. S-waves – have several times larger amplitudes, a much smaller speed in the wave packet 1-2 km/s but a much greater destructive potential due to the movement of the particles of the medium, perpendicular to the propagation of the wave beam. S-waves do not propagate through liquids. Here, SEWS is used as network startup.

ILLUSTRATIVE EXAMPLE - SEWS - TRANSPORT CASCADE "SHIPKA"

Seismic Outbreaks Table 1

N	Seismic Outbreaks	Coordinates φ[N]	Coordinates λ[N]	Depth [km]
1	Sofia	$23^0\,20'\,00''$	$42^0\,40'\,00''$	10
2	Kresna	$23^0\,10'\,00''$	$41^0\,50'\,00''$	10
3	Plovdiv	$25^0\,00'\,00''$	$42^0\,10'\,00''$	10
4	Gorna Oriahovica	$25^0\,50'\,00''$	$43^0\,10'\,00''$	10
5	Shabla	$28^0\,30'\,00''$	$43^0\,30'\,00''$	10

Seismic Outbreaks



Fig. 6. Seismic outbreaks towards a future early warning system at transport stunt "Shipka"

Seismic Outbreaks Table 2

N	Seismic Outbreaks	Distance [km]	T_p [s]	T_s [s	T_s [s]- T_p [s]
1	Gorna Oriahovica	70	13.6	20.8	7.2
2	Plovdiv	90	18.4	31.3	12.9
3	Sofia	180	30.0	51.8	21.8
4	Kresna	210	33.8	68.7	24.9
5	Shabla	276	42.0	53.0	31.0
6	Vranchea	380	55.5	99.8	44.3

An example of a technical solution for using the neural network of inertial motors for damping dynamic impacts from an earthquake or wind. Only an idealized example of a technical solution is presented here. The actual application requires a detailed engineering design for each specific building in the network according to the BDS and other normative acts.

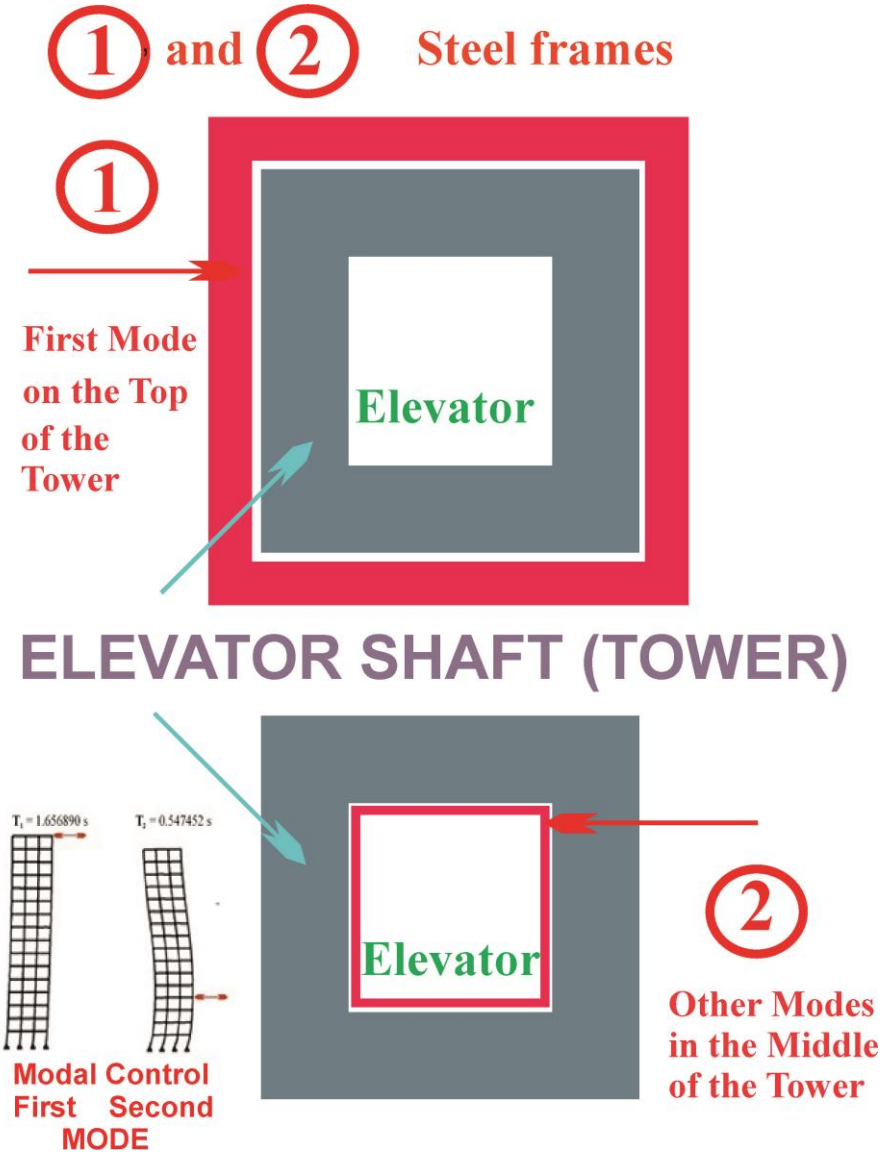


Fig. 7. Location of the inertial motors for the first and second modes of vibration (Fig. 2) for the example building of Figure 1. Compensating the earthquake (wind) dynamic effects with inertial motors in the higher modes (greater than 1) is associated with significant technical difficulties, affecting the final result insignificantly (less than 10%). It is recommended to offset only the first form.

Conclusions. Three type of building with elevator devices are described in the report. Buildings up to 3 floors are very rigid and high frequency type. They have not necessity of dynamical protection. by neural networks. Buildings between 3 to 16 floors are of dynamic vulnerability type. They are of seismic vulnerability type. Buildings over 16 floors are of wind dynamical type. Dynamic vulnerability type buildings are protected by neural network over the elevator renovation. Such a neural network guarantees 100% protection of people and animals in existing buildings with elevator devices during a hurricane wind or an earthquake of arbitrary magnitude, arbitrary duration and spectral composition of seismic signals. The system with passive control is also protected against fire. An addition result of the report is proposed contemporary anti seismic engineering monitoring for real time processing of building dynamical behavior. The cost of contemporary anti seismic engineering monitoring system is negligibly small. The main cost of the proposed neural network is not high because the elevator devices in the existing buildings are already built and functioning. The neural

network is switched on through an early warning system [8, 9]. The active inertial motors are powered by electricity and diesel generators simultaneously.

Acknowledgments. The authors express their heartfelt gratitude to: Corresponding Member of BAS Professor SDrSci. Venelin Zhivkov, Professor SDrSci. Nikolay Minchev, Professor SDrSci. Dr. Simeon Panev, Professor SDrSci. Kamen Ishtev, Professor SDrSci. Garo Mardirossyan for the invaluable help in the development of this report. Special acknowledgments for financial support by GPS Control EAD.

References:

1. Ph. Philipoff, (1987), Modeling of soil-structure interaction systems under seismic loadings, Ph. D Dissertation, Institute of Mechanics-BAS, Sofia, Bulgaria, 1987 (in Bulgarian).
2. 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).
3. 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).
4. 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).
5. 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).
6. 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, (Сибирский журнал вычислительной математики, РАН Сиб.отд-ние Новосибирск), Том 12, №2, pp. 221–230 (in Russian).
7. Jivkov, Venelin, 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).
8. Yamuna Kalurachchi, Maurizio Indirli, Boyko Ranguelov, Francesco Romagnoli, (2014). The ANDROID Case Study; Venice and its Territory: Existing Mitigation Options and Challenges for the Future, Procedia Economics and Finance 18 (2014) 815 – 824 © 2014 Published by Elsevier B.V. doi: 10.1016/S2212-5671(14)01007-7. Proc. 4th Int. Conf. on Building Resilience, Building Resilience 2014, 8-10 September 2014, Salford Quays, United Kingdom, (in English).
9. Parushev, I., B. Ranguelov, T. Iliev, E. Spasov., (2015). Kinematic modeling of idealized system for early registration and warning in case of an earthquake., Proc. 7th BgGS National Conf. With I. Partic."GEOPHYSICS 2015". pp. 1–8. (on CD)
10. 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).
11. Jivkov, Venelin, 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).
12. 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).
13. 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).
14. 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).
15. Живков, Венелин, 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).
16. Филипов, Филип, (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).
17. 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)

18. Живков, Венелин, Симеон Панев, Филип Филипов, (2023), ИЗ ДЕБРИТЕ НА МЕХАНИКАТА, (Through the bowels of mechanics), Mechanics of Mashines, 127,Year XXXI,No 1,ISSN 0861-9727, pp. 3–31, (in Bulgarian)
19. 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
20. https://www.168chasa.bg/article/13720667
21. Karapetkov, Stanimir, 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).
22. Karapetkov, Stanimir, 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).
23. Кондов, Венелин, Диана Банкова,(2023), Управление на сеизмичния риск, (Seismic Risk Management), Дни на механиката. Варна,2023, ISSN 0861-9727, (in Bulgarian)
24. SEISMIC, WIND AND FIRE PROTECTION OF BUILDINGS AND FACILITIES THROUGH RENOVATION OF EXISTING ELEVATOR DEVICES, Input number № BX-4786/27.09.2024, Patent Office of Republic of Bulgaria.

SEISMIC SIGNAL PROCESSING IN SOME WAVE PROPAGATION PROBLEMS THROUGH DYNAMICAL CONDENSATION APPROACH

Stanimir Karapetkov[1],Emad Abdulahad[10], Kamen Ishtev[1], Diana Bankova[1], Elka Radeva[1], Venelin Kondov[8], Dimo Dimov[9], Petia Minkova[1], Daniela Arnaudova[1] , Simeon Panev[1] , Ivan Demerdzhiev[2], Philip Philipoff[3]*, Venkatanathan Natarajan[4], Mario Muñoz Organero[5], Mehmet Salih Bayraktutan[6] , Blagovest Panev[7], Ilian Dinev[10], Galina Maslarska[10]

[1]Technical University - Sofia
[2]"Demerdzhev, Petrov, Baev"
[3]Institute of Mechanics-BAS,*
e-mail: philip.philipoff.decable.dregan@gmail.com, Corresponding author
[4]Sastra University, India
[5]Universidad Carlos III de Madrid, Spain
[6]Freelancer. Erzurum, Turkiye.
[7]LevIns Insurance Company
[8]Kondov & Kaliqi design team, Rome, Italy
[9]BestVet Clinic
[10]University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy-Sofia
[10]Ilian Dinev, GPS Control EAD
[10]Galina Maslarska, GPS Control EAD

Technical University – Sofia
University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy-Sofia, GPS Control EAD

***Keywords**: Frequency domain theorems, Multi degree of freedom dynamical FEM model, Dynamical condensation, Local and Global future seismic activity assessment.*

Introduction. Dynamic vulnerability type buildings are protected by neural network over the elevator renovation. Such a neural network guarantees 100% protection of people and animals in existing buildings with elevator devices during a hurricane wind or an earthquake of arbitrary magnitude, arbitrary duration and spectral composition of seismic signals.

ОБРАБОТКА НА СЕИЗМИЧНИ СИГНАЛИ ПРИ НЯКОИ ПРОБЛЕМИ С РАЗПРОСТРАНЕНИЕТО НА ВЪЛНИ ЧРЕЗ ПОДХОД НА ДИНАМИЧНА КОНДЕНЗАЦИЯ

Станимир Карапетков, Емад Абдулахад, Камен Ищев, Диана Банкова, Елка Радеа, Венелин Кондов, Димо Димов, Петиа Минкова, Даниела Арнаудова , Симеон Панев, Иван Демерджиев, Филип Филипов, Венкантхан Натараджан, Марио Моньос Органеро , Мехмед Салих Байрактутан, Благовест Панев, Илиян Динев, Галина Масларска

Technical University – Sofia
University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy-Sofia, GPS Control EAD

***Ключови думи:** Теореми в честотната област, Динамичен МКЕ модел с много степени на свобода, Динамична кондензация, Локална и глобална оценка на бъдеща сеизмичната активност.*

***Резюме.** Сградите от тип динамична уязвимост са защитени от невронна мрежа при обновяването на асансьора. Такава невронна мрежа гарантира 100% защита на хора и животни в съществуващи сгради с асансьорни устройства по време на ураганен вятър или земетресение с произволен магнитуд, произволна продължителност и спектрален състав на сеизмичните сигнали.*

1. Introduction

On the 28 December 2022 press group 24 hours (24 Hours - 168 Histories) warned that a catastrophic earthquake is coming in the Balkans: https://www.24chasa.bg/articla/13797525

On December 28, 2022, Associate Professor Philip Philipoff shared with "24 hours - 168 stories" that the Balkans has accumulated huge seismic potential. After a weekrealized an earthquake on the island of Crete with a magnitude of M=5.7 In a month and a week, on February 6, 2023, they will be realized the pair of earthquakes - twins in the Karamanmarash region with magnitudes M=7.7 and M=7.6. Such a phenomenon with a pair of twin epicenters realized once in 500 years. The study is summarized previous publications of the authors: [2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14] and the results of the other authors [6,7]. Some people sense the dangers - this is inherited from animals. The dog, which has descended from the wolf by domestication, has the keenest sense of danger in the living world. Ten days before the disaster in Fukushima, a large group of Bulgarian scientists felt a sense of danger and tried to get help from the then Bulgarian government [9]. On March 11, 2011, the Japanese managed to withdraw the nuclear fuel from the Fukushima plant. If a parallel plant had been switched on within 10 minutes (seconds) and the temperature drop had started immediately, the disaster could have been avoided

2. Main Results and Discussions

Seven frequency domain theorems proofed by the authors [4, 5, 11] are presented in the paper as follows:

• Theorem 1 (The phenomenon “Symmetry” in the time domain corresponds to the phenomenon “Conjugation” in the frequency domain). The complex Fourier F(jω) spectra of the symmetric real functions in the first and second quadrants are conjugated as well as.

• **Theorem 2.** The complex Fourier F(jω) spectra of the symmetric real functions in the third and fourth quadrants are conjugated respectively.

• **Theorem 3** (The phenomenon “Anti Symmetry” in the time domain corresponds to the phenomenon “Anti Conjugation” in the frequency domain). The complex Fourier F(jω) spectra of the anti symmetric real functions in the first and third quadrant are anti conjugated as well as.

• **Theorem 4.** The amplitudes of the functions in first and second quadrants are both positive, while these of the amplitudes for the functions for third and four quadrants are both negative. The functions under investigation could be of arbitrary amplitudes – negative or positive. The corresponding complex Fourier F(jω) spectra also are of arbitrary type amplitudes - negative or positive.

• **Theorem 5** (Frequency indistinguishable). Four quadruple symmetric real functions are frequency indistinguishable.

• **Theorem 6** (The phenomenon “Symmetry” in the time domain corresponds to the phenomenon “Conjugation” in the frequency domain. The phenomenon “Anti Symmetry” in the time domain corresponds to the phenomenon “Anti Conjugation” in the frequency domain. The simultaneous operation of the Theorems 1 and 3 leads to even and odd decomposition of the Fourier complex spectrum of the common function $F^{common\ function}(j\omega)$ with length N in the time domain. This result represents spectral function, composed by the equivalent nonzero real and imaginary spectral parts with length N/2 in the frequency domain $R_{\mathrm{e}}^{even\ left}(\omega)$ and $jI_m^{odd\ right}(\omega)$) as follows: (1)

$$F^{common\ function}(j\omega) = 2\left(R_{\mathrm{e}}^{even\ left}(\omega) + jI_m^{odd\ right}(\omega)\right) \quad (1)$$

• **Theorem 7** Of all the displacements satisfying the kinematic graphic conditions, a stationary (extreme) conception of the potential energy communicates precisely those displacements that satisfy the equilibrium equations of the task. an important requirement of the cited potential energy theorem is that the unknown required displacements of the problem must satisfy the given values of the boundary displacements S_1 and S_2. From here it immediately follows that the INDESTRUCTIBILITY of the nodes of the neural network is guaranteed if the total VELOCITIES in the direction of movement of the inertial motors caused by the external influences and the controlling influences are equal to ZERO. The theorem is proved.

Theorem 6 for example, can be interpreted as an analog variant of the James Cooley and John Tuckey FFT scheme [1]. Here $F^{common\ function}(j\omega)$ is Fourier complex spectrum with length N in the time domain $R_{\mathrm{e}}^{even\ left}(\omega)$ and $jI_m^{odd\ right}(\omega)$ are imaginary spectral parts with length N/2 in the frequency domain. A dynamic Geoid model is developed with a very large number of dynamic degrees of freedom. Master and Slave variables are introduced. A condensed description is constructed using the dynamic condensation method. It involves the Master degrees of freedom as variables. Slave variables are condensed and participate implicitly in a condensed description. Condensation is

performed according to the Gaussian algorithm. The condensed description explicitly contains only the Master degrees of freedom, but has the accuracy of the initial description. In the condensed description, boundary conditions and loads with external effects in the direction of the Slave degrees of freedom are implicitly accounted for by participating in the condensed equations. This makes it possible to account for all degrees of freedom and all external influences in the final solution. The condensed finite element model, for example, is implemented on a real-time supercomputer. Future local (certain region) or global (whole Earth) seismic activity with all degrees of freedom in the condensed description is estimated. As a result, a prospective estimate of the global seismic activity forward in time is obtained. The condensed description is on that 20% of the planet Earth on which there is seismic activity. The remaining degrees of freedom are not lost, but are accounted for implicitly. As a result, coordinates, frequency composition, duration of seismic signals (for example, velocities) along the direction of the Master variables are obtained. Destructibility conditions are formulated according to the mechanics of destruction, and areas of failure are marked in which there is a risk of destruction with casualties. These results are compared with experimentally obtained real-time measurements from GNSS.

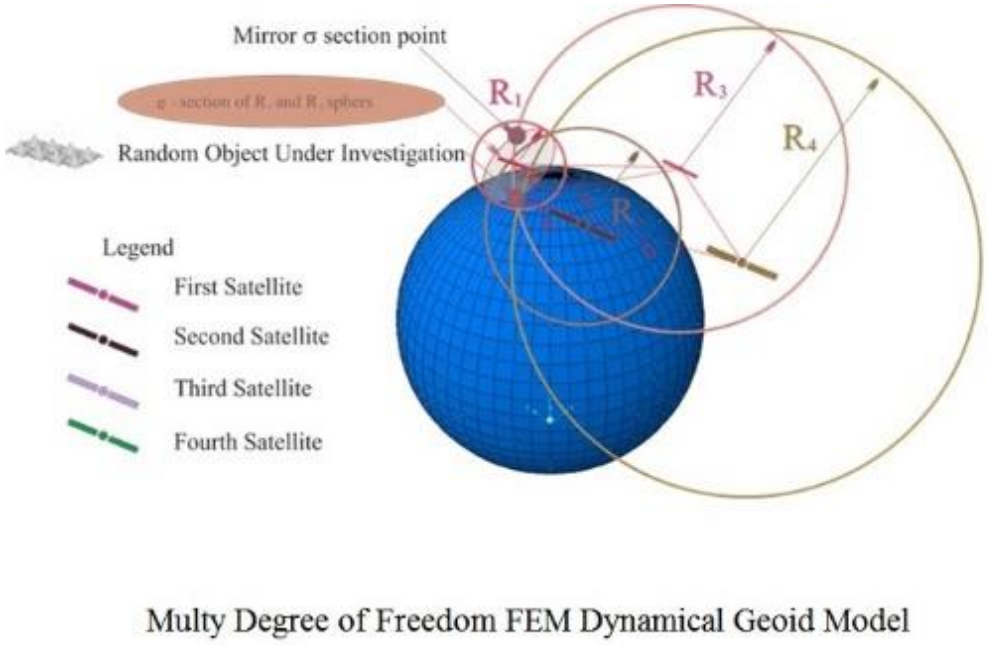


Fig. 1. Global Dynamical FEM Model of the Earth

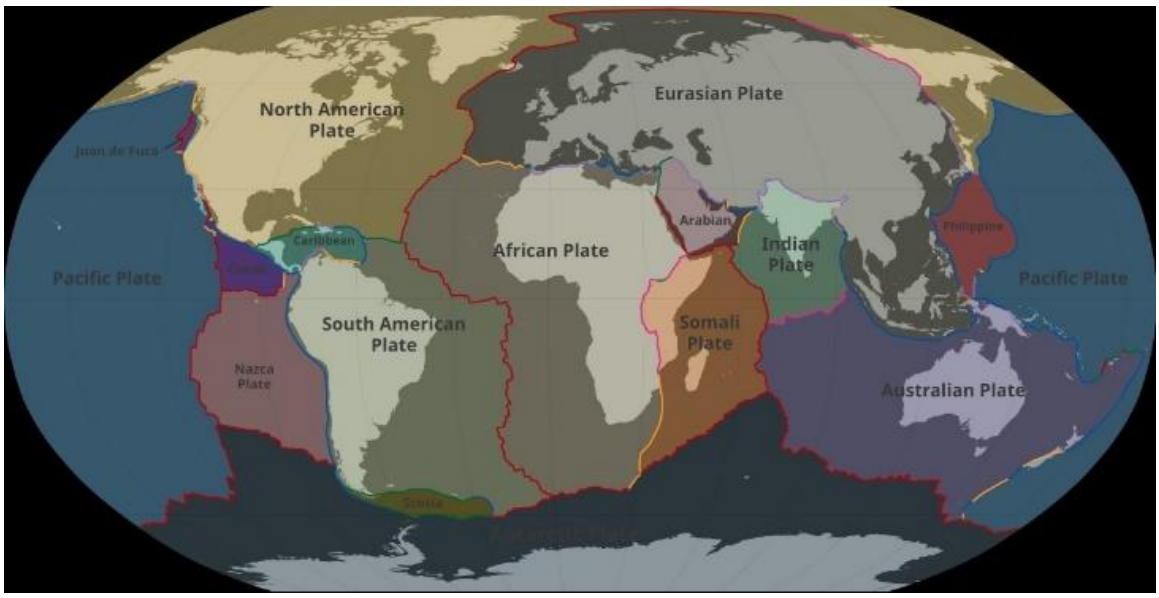


Fig. 2. Tectonic Plates of the Earth

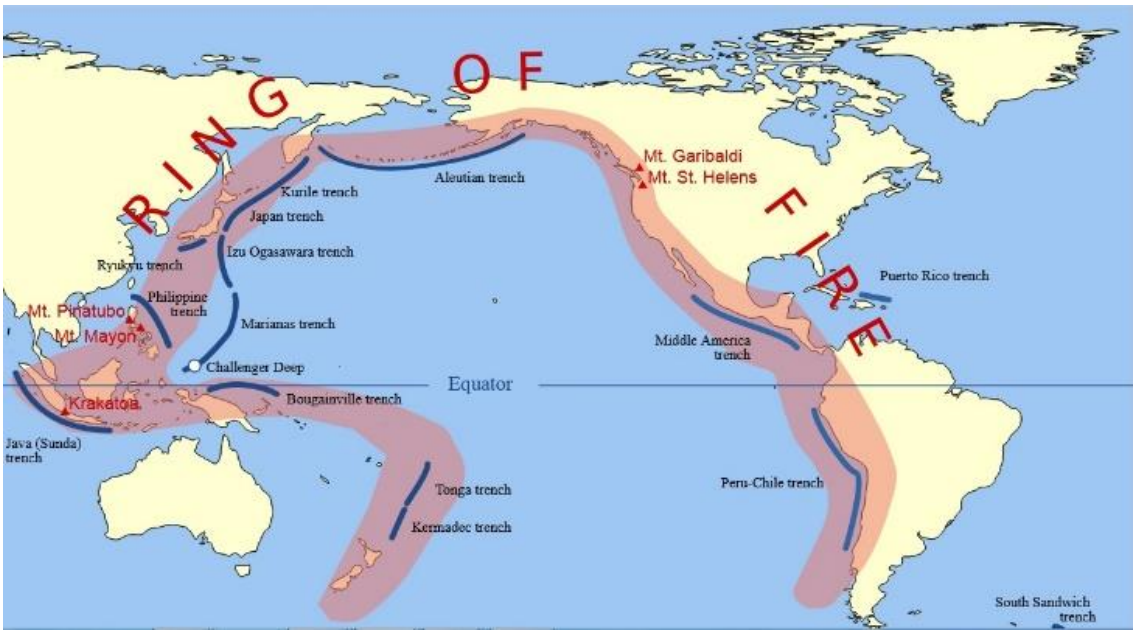


Fig. 3. Ring of Fire

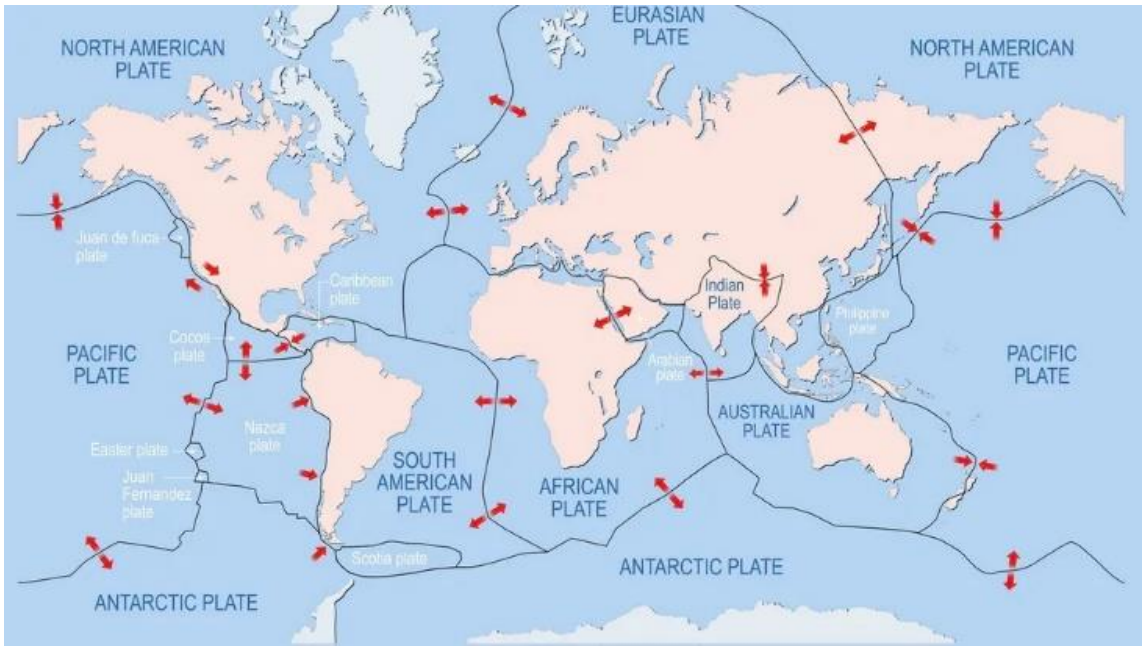


Fig. 4. Tectonic plates and tectonic movements [6, 7]

3. Conclusions

The report proposes a hybrid dynamic model based on the finite element method with a large number of dynamic degrees of freedom in combination with a GNSS system. The method of dynamic condensation is used. The Bulgarian version of this method is based on the protected three dissertations 1) Dineva, P., (1986), "Dampening and control of the movement of structures under seismic impacts", 2) Philipoff, Ph., (1987), "Modeling of systems "environment-structure" under seismic impacts", Ph.D. Dissertation, Institute of Mechanics - BAS, Sofia, Bulgaria, 1987, 3) Ishtev, K., (2002), "Models and management of construction facilities under seismic impacts" , Dissertation "Doctor of Technical Sciences", 2002. It involves the Master degrees of freedom as variables. Slave variables are condensed and participate implicitly in a condensed description. Condensation is performed according to the Gaussian algorithm. The condensed description explicitly contains only the Master degrees of freedom, but has the accuracy of the initial description. In the condensed description, boundary conditions and loads with external effects in the direction of the Slave degrees

of freedom are implicitly accounted for by participating in the condensed equations. This makes it possible to account for all degrees of freedom and all external influences in the final solution. The condensed finite element model, for example, is implemented on a real-time supercomputer. Numerical results are combined with real-time GNSS measurements. Numerical results are combined with real-time GNSS measurements. The model can be useful in earthquake prediction.

4. Acknowledgments

The authors express their gratitude to administrative management of TU Sofia, Kondov & Kaliqi Design Team and administrative management of UASG for their support in the development of this study.

References:

1. 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).
2. 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, impact factor= 1,766, Pages 1889–1898 http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X06001594
3. Kurteva, Maya, Philip Philipoff, Dimitar Dimitrov, (2009), Assessment of Some Elements of Environmental Risk Factors in the Bulgarian Mountains, Comptes rendus de l'Acad´emie bulgare des Sciences, Tome 62, Number 6, impact factor= 0,343, pp-745-752, http://www.proceedings.bas.bg/
4. Philipoff, Ph., D. Demirev, A. Yusuf, M. Islam, D.Stankov, D.Bankova, Ph. Michaylov, (2010), Some Psychology and Technical Aspects of a Rescue Operation in the Musala Peak Region (Rila Mountain), Procedia Social and Behavioral Sciences, Elsevier, WCPCG2010 http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042810014837
5. Jivkov, Venelin, Philip Philipoff, Anastas Ivanov, Mario Mucoz, Galerida Raikova, Mikhail Tatur, Philip Michaylov., (2013), "Spectral properties of quadruple symmetric real functions", Applied Mathematics and Computation – Elsevier, impact factor= 1,766, 221 (2013) 344–350 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0096300313007261
6. Цановски, Ю., Лекционен курс по „Глобални навигационнио спътникови системи и мрежи", Университет по архитектура, строителство и геодезия, София, 2015г.
7. Цановски, Ю., Лекционен курс по „Прецизни GPS измервания", Университет по архитектура, строителство и геодезия, София, 2016/2017г.
8. 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 http://www.scibulcom.net/
9. Живков, Венелин, Филип Филипов , Румяна Божинова , Йордан Танковски , Петър Гецов , Георги Сотиров, Гаро Мардиросян, Атанас Ковачев , Стоян Велкоски , Борис Грозданов4, Диана Банкова, Анелия Панева, (2017), НЯКОИ МОДЕЛИ НА ПОВЕДЕНИЕ В ЗАДАЧИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА РИСКА ОТ ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ, ТРАНСПОРТНИ ПРОИЗШЕСТВИЯ И ПРОИЗВОДСТВЕНИ АВАРИИ, (SOME MODELS OF BEHAVIOR IN TASKS FOR RISK MANAGEMENT OF NATURAL DISASTERS, TRANSPORT ACCIDENTS AND INDUSTRIAL ACCIDENTS), Конференция: психология - теория и практика, Варна, хотел Черно море, 6-7 май 2017, ISSN: 2367-508X
10. Venkatanathan Natarajan, Philip Philipoff, (2018), Observation of surface and atmospheric parameters using ''NOAA 18'' satellite: a study on earthquakes of Sumatra and Nicobar Is regions for the year 2014 (M > 6.0), Natural Hazards Volume 92, Issue 2, 1 June 2018, Pages 1097-1112 Springer Science + Business Media B.V., part of Springer Nature 2018, Received: 7 May 2015 / Accepted: 22 February 2018, Impact factor= 2.427
11. Филип Филипов, (2023), Национална невронна мрежа за сеизмозащита и ветрозащита на сгради и съоръжения, (National neural network for seismic protection and wind protection of buildings and facilities), Дни на механиката Варна, 2023, ISSN 0861-9727.
12. Кондов, Венелин, Диана Банкова, (2023), Управление на сеизмичния риск, 1 и 2 част, (Seismic Risk Management, Part 1 and 2), Дни на механиката.Варна,2023, ISSN 0861-9727.
13. Petya Minkova, https://www.24chasa.bg/, 20 дни по рано може да се прави прогноза за катастрофлни земетръси със сателитни данни и суперкомпютри, 13 Юли 2024, (Catastrophic earthquakes can be predicted 20 days ahead with satellite data and supercomputers), https://www.24chasa.bg/index.php/register
14. SEISMIC, WIND AND FIRE PROTECTION OF BUILDINGS AND FACILITIES THROUGH RENOVATION OF EXISTING ELEVATOR DEVICES, Input number № BX-4786/27.09.2024, Patent Office of Republic of Bulgaria.

ОЦЕНКА НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ИЗЛЪЧВАНИЯ В ДИАПАЗОНА ОТ 100 kHz ДО 7 GHz В УРБАНИЗИРАНА СРЕДА (СТОЛИЧНА ОБЩИНА)

Димитър Теодосиев, Анна Бузекова-Пенкова, Юрий Матвийчук, Гаро Мардиросян

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

Ключови думи: *околна среда, здраве, мониторинг, електромагнитно замърсяване, телекомуникации, урбанизирана среда.*

Резюме: *Електромагнитното замърсяване в условията на урбанизирана територия е много актуален проблем, свързан основно с развитието и усъвършенстване на мобилните комуникации. В работата е представен метод, апаратура и софтуер за получаване на информация за електромагнитните излъчвания и възможностите за експресен анализ на промените в техните характеристики в урбанизирана градска среда, за продължителни периоди от време. Анализирани и оценени са резултатите от проведените измервания в зависимост от местно време, разстояние от базовите станции, натоварване на мобилните мрежи и условията на околната среда.*

ASSESSMENT OF ELECTROMAGNETIC EMISSIONS IN THE RANGE FROM 100 kHz TO 7 GHz IN AN URBAN ENVIRONMENT (METROPOLITAN MUNICIPALITY)

Dimitar Teodosiev, Anna Bouzekova-Penkova, Yuri Matviichuk, Garo Mardirossian

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: dteod@space.bas.bg, a_bouzekova@space.bas.bg

Keywords: *Environment, health, monitoring, electromagnetic pollution, telecommunications, urban areas.*

Abstract: *Electromagnetic pollution in the conditions of urbanized territory is a very current problem, mainly related to the development and improvement of mobile communications. The work presents a method, equipment and software for obtaining information about electromagnetic radiation and the possibilities for express analysis of changes in their characteristics in an urbanized urban environment, for extended periods of time. The results of the measurements were analyzed and evaluated depending on local time, distance from the base stations, mobile network load and environmental conditions.*

1. Въведение

Развитието и приложението на радиокомуникационните технологии и свързаното с това неконтролирано увеличаване броя и вида на средствата за мобилни комуникации води до нарастване на нивото на електромагнитните излъчвания (ЕМИ) и фоновия шум (ФШ) в урбанизирани територии [1–5]. Съвременните научни изследвания показват, че високите нива на ЕМИ и ФШ, предизвикат влошена електромагнитна съвместимост на съществуващите радио средства в градска среда, където тяхната концентрация е висока. Електромагнитните излъчвания с антропогенен произход влияят върху нашето ежедневие. Биологично активни са и могат да предизвикат редица вредни последствия за здравето на хората [6–9]. Поради това са приети пределно допустимите норми за облъчване с нейоноизиращи лъчения, регламентиращи условията за пребиваване на хората в среда с електромагнитни лъчения, приети и публикувани в редица международни и национални закони и наредби [10–12]. Неконтролираното нарастване на ЕМИ, води до увеличаване на ФШ, което от определено ниво нагоре може да влоши

качеството на радиокомуникационните връзките и дори да направи отделни части от честотния спектър неизползваеми.

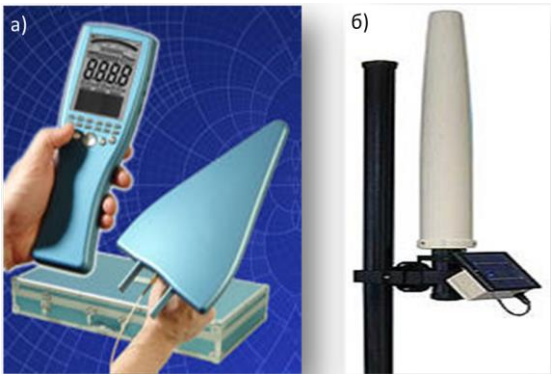
При изучаване и търсене начини за решаване на възникващите проблеми, свързани с нарастване нивото на ЕМИ в урбанизирани територии, е извършването на мониторинг на разпределението, характеристиките и интензитета на електромагнитните излъчвания върху различни фактори на околната среда, както и техническите параметри на източниците на нейонизиращи лъчения [13–16].

В настоящето изследване е разгледан въпросът за динамиката на електромагнитните излъчвания в честотния диапазон от 100 kHz до 7 GHz. Акцентирано е върху проследяване на денонощните изменения в интензитетите и честотите на електромагнитни (ЕМИ) излъчвания в избрани обекти на територията на град София. Измерванията са проведени в райони, характеризиращи се с по-ниска степен на урбанизация, различна концентрация на източници на ЕМ лъчения, от телевизионни и радиопредаватели, базови станции на мобилните оператори и др.

2. Метод на измерване:

Измервателна апаратура

Измерванията бяха проведени с мобилна аппаратура Narda Multi-Band EMF Area Monitor (Narda AMB-8057-03) (Фиг. 1) на американската фирма Narda Safety Test Solutions. Този тип апарати са с изотропни антени (слънчев панел (Фиг. 1б)) и се използват за контрол на електромагнитните полета. Апаратът измерва, записва в цифрови файлове и предоставя възможности за визуализиране и преглед на информацията, в базата с данни от измерванията, по избор: за определена дата или седмица; за определен период от време - седмица, или денонощие, за целия честотен диапазон (100 kHz – 7 GHz); за определен поддиапазон, от честотния диапазон (100 kHz – 7 GHz), пикови стойности (Peak) или усреднена стойност (RMS) за определена честота; за определен интервал от време от денонощието, за наблюдаване на фини ефекти в разпределението на излъчваната мощност за дадена честота, като с червена линия е отбелязано пределно допустимото ниво на излъчване за тази честота.



Фиг. 1. Мобилна аппаратура Narda Multi-Band EMF Area Monitor (Narda AMB-8057-03)

С мобилна апаратура Narda AMB–8057-03 може да бъдат извършвани настройки от разстояние, чрез мобилна връзка, а също така и да бъдат изтегляни натрупаните данни от измерванията, записани в паметта на прибора автоматично, или по команда, в определен времеви интервал, определен и или избран предварително. Това даде възможност да се проследи динамиката на електромагнитното излъчване от антените, както в началото на работния ден, характеризиращ се със силен трафик на мобилните комуникации, така и в края на деня, когато трафикът значително намалява.

3. Измервания, резултати и дискусия:

Проведени са измервания на електромагнитни полета в диапазона 100 kHz – 7 GHz, от излъчващи обекти за мобилна комуникация и други неидентифицирани излъчватели на ЕМП в този диапазон, намиращи се в близост до изследвани два обекта в гр. София, кв. Банкя, Столична Община, през интервал приблизително от четири месеца.

Обект - 1, гр. София, кв. Банкя, ул. „Александър Станболийски“ (централна част): Измервания на електромагнитни полета в диапазона 100 kHz – 7 GHz, от излъчващи обекти за

мобилна комуникация и други неидентифицирани излъчватели на ЕМП в този диапазон, в близост до изследвания обект, проведени в периода 14–21 Септември 2023 г.

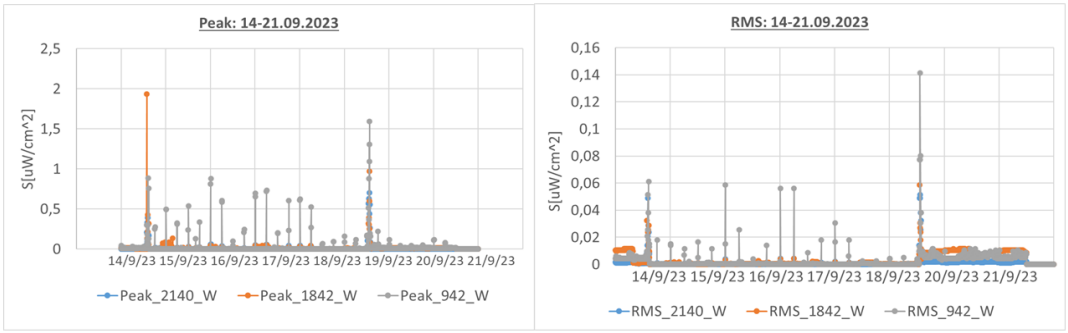
Таблица 1. Обобщени резултати от максималните измерени стойности (Peak) за отделните времеви интервали, както и усреднените стойности (RMS) за шест минутни интервали

Дата	Време [час, мин.]	Макс. усреднена стойност на измереното ЕМП RMS 942MHz [μW/cm²]	Макс. усреднена стойност на измереното ЕМП RMS 1842MHz [μW/cm²]	Макс. усреднена стойност на измереното ЕМП RMS 2140MHz [μW/cm²]	Макс. пикова стойност на измереното ЕМП Peak 942 MHz [μW/cm²]	Макс. пикова стойност на измереното ЕМП Peak 1842 MHz [μW/cm²]	Макс. пикова стойност на измереното ЕМП Peak 2140 MHz [μW/cm²]	Макс. допустима стойност на ЕМП по БДС [μW/cm²]
14.09.23	18:48-19:12	0,02	0,00	0,00	0,89	1,93	0,39	≤ 10
15.09.23	04:48-07:12	0,012	0,001	0,002	0,33	0,003	0,004	≤ 10
15.09.23	09:36-14:24	0,017	0,0005	0,0000	0,55	0,003	0,005	≤ 10
15.09.23	16:48-19:12	0,012	0,005	0,001	0,35	0,004	0,003	≤ 10
16.09.23	00:00-02:24	0,06	0,004	0,005	0,89	0,05	0,055	≤ 10
16.09.23	04:48-07:12:	0,026	0,001	0,0000	0,60	0,005	0,004	≤ 10
16.09.23	16:48-19:12	0,015	0,004	0,005	0,025	0,004	0,003	≤ 10
17.09.23	00:00-02:24	0,057	0,014	0,015	0,7	0,05	0,04	≤ 10
17.09.23	04:48-07:12	0,0056	0,005	0,0001	0,74	0,05	0,06	≤ 10
17.09.23	16:48-19:12	0,017	0,0015	0,0014	0,61	0,013	0,015	≤ 10
18.09.23	00:00-02:24	0,31	0,00045	0,00055	0,63	0,04	0,05	≤ 10
18.09.23	04:48-07:12	0,63	0,004	0,005	0,53	0,015	0,014	≤ 10
18.09.23	16:48-19:12	0,0025	0,0015	0,0012	0,1	0,015	0,010	≤ 10
19.09.23	12:00-14:24	0,141	0,06	0,053	1,6	0,97	0,7	≤ 10
20.09.23	07:12-14:24	0,012	0,012	0,002	0,05	0,015	0,01	≤ 10
21.09.23	00:00-02:24	0,0104	0,005	0,002	0,12	0,005	0,004	≤ 10

В Таблица 1 в зелено са изписани датите на измерване, извършени в почивните дни от периода на измерването, а в синьо – извършени измервания в работни дни. Показано е времето в което е имало най-големи пикове в измерените усреднени и пикови стойности, за този времеви интервал.

Анализът на резултатите от измерванията в Обект-1, представени в Таблица 1 и графиките на Фиг. 2, показва че:

- ***Максималните пикови стойности (Peak)*** на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за два от честотните диапазони 1842 MHz и 2140 MHz, са много по-ниски, от пределно допустимите по стандарт 10 μW/cm². За честота 1842 MHz те варират от 0,003 до 1,93 μW/cm². За честота 2140 MHz – от 0,004 до 0,39 μW/cm². което е на порядъци по-малко от пределно допустимите стойности по стандарт от 10 μW/cm².
- ***Максималните пикови стойности (Peak)*** на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за честотния диапазон 942 MHz, варират в диапазона от 0,1 до 0,89 μW/cm², което е на порядък по-малко от пределно допустимите по стандарт стойности от 10 μW/cm².
- ***Максималните усреднени стойности (RMS)*** на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за два от честотните диапазони 1842 MHz и 2140 MHz, са на повече от два порядъка по-ниски, от пределно допустимите по стандарт 10 μW/cm². За честота 1842 MHz те варират от 0,001 до 0,005 μW/cm², а за честота 2140 MHz - варират от 0,001 до 0,015 μW/cm².
- ***Максималните усреднени стойности (RMS)*** на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за честотния диапазон 942 MHz, варират в широк диапазон от 0,01 до 0,63 μW/cm², което също е много по-малко от пределно допустимите по стандарт стойности от 10 μW/cm².



Фиг. 2. Максимални пикови стойности (Peak) и Максимални усреднени стойности (RMS) от измервания на електромагнитни полета в Обект-1 за изследвания период

От данните представени на Фиг. 2, за всичките осем дни на измервания, се наблюдава разлика в нивата на измерените електромагнитни полета, както за усреднени, така и за пикови стойности, в изследвания и анализиран честотен диапазон, за интервалите от време преди обяд до около 12:00 и след обяд от 16:00 до около 21:00 часа. Също така се вижда повтаряща се в дните тенденция на спад в нивата на излъчваната мощност от мобилните оператори след 21:00 часа, което корелира с края на работния ден и интензивното ползване на устройства за мобилни комуникации. Тази тенденция на разлика, се повтаря и при сравняване между работните и почивните дни, като почивните дни се характеризират с по-ниски нива на излъчваната мощност на електромагнитните лъчения, основно от антените на базовите станции на мобилните оператори.

Анализът на данните показва също така наличие на повтарящи се пикове в резултатите, както при усреднените, така и за пиковите стойности, на измерените нива на ЕМИ, в едни и същи моменти от денонощието, а именно: около 00:00 часа в полунощ, 06:00 часа на преди обяд, около 12:00, а също и около 18:00 часа.

Резултатите от всички тези измервания, показват многократно по-ниски нива, от пределно допустимите, за една урбанизирана територия, в която работят и целодневно пребивават хора.

Обект - 2, гр. София, кв. Банкя, ул. „Восток“ (в периферията): Измервания на електромагнитни полета в диапазона 100 kHz – 7 GHz, от излъчващи обекти за мобилна комуникация - базови станции, в близост до изследвания обект, проведени в периода 27 – 29 януари 2024 г.

Таблица 2. Обобщени резултати от максималните измерени стойности (Peak) за отделните времеви интервали, както и усреднените стойности (RMS) за шест минутни интервали

Дата	Време [час, мин.]	Макс. усреднена стойност на измереното ЕМП RMS 942 MHz [μW/cm²]	Макс. усреднена стойност на измереното ЕМП RMS 1842 MHz [μW/cm²]	Макс. усреднена стойност на измереното ЕМП RMS 2140 MHz [μW/cm²]	Макс. пикова стойност на измереното ЕМП Peak 942 MHz [μW/cm²]	Макс. пикова стойност на измереното ЕМП Peak 1842 MHz [μW/cm²]	Макс. пикова стойност на измереното ЕМП Peak 2140 MHz [μW/cm²]	Макс. допустима стойност на ЕМП по БДС [μW/cm²]
от 27.01.2024 до 28.01.2024	от 16:00 ч. на 27.01.2024 до 10:40 ч. на 28.01.2024	0,12	0,06	0,03	0,05	0,21	0,12	≤ 10
от 28.01.2024 до 29.01.2024	от 11:30 ч. на 28.01.2024 до 11:00 ч. на 29.01.2024	0,06	0,03	0,01	0,085	0,005	0,0012	≤ 10

Анализът на резултатите от измерванията в Обект-2, представени в Таблица 2 и графиките на Фиг. 3, показва че:

- Максималните пикови стойности (Peak) на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за два от честотните диапазони 1842 MHz и 2140 MHz, са на повече от порядък и половина по-ниски, от пределно допустимите по стандарт 10 μW/cm², за измерванията проведени на 27.01–28.01.2024 г. За честота 2140 MHz те варират от 0,12 до 0,21 μW/cm².

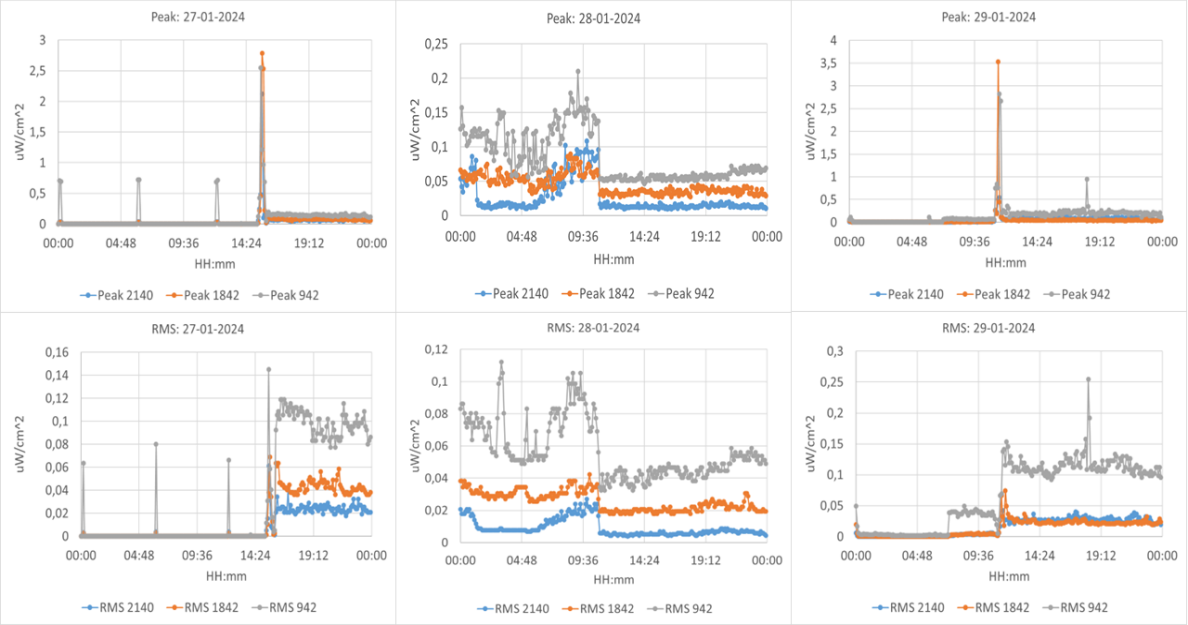
- Максималните пикови стойности (Peak) на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за честотния диапазон 942 MHz, варират от 0,05 до 0,085 μW/cm², което е повече от два порядъка по-малко от пределно допустимите по стандарт стойности от 10 μW/cm².

- Максималните пикови стойности (Peak) на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за измерванията проведени на 28.01–29.01.2024 г. за трите честотни диапазона 942 MHz, 1842 MHz и 2140 MHz, варират от 0,01 до 0,06 μW/cm², което е повече от два порядъка по-малко от пределно допустимите по стандарт стойности от 10 μW/cm².

- Максималните усреднени стойности (RMS) на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за измерванията проведени на 27.01–28.01.2024 г. за честотните диапазони, 1842 MHz и 2140 MHz, са на повече от два порядъка по-ниски, от пределно допустимите по стандарт 10 μW/cm². За честотния диапазон 942 MHz, те варират около 0,1 μW/cm², което е почти на два порядъка по-ниско от пределно допустимите по стандарт стойности от 10 μW/cm².

- Максималните усреднени стойности (RMS) на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за измерванията проведени на 28.01–29.01.2024 г. за

честота 1842 MHz, са още по-ниски и варират в диапазона от 0,01 до 0,06 μW/cm^2, което е на повече от два порядъка по-ниско от пределно допустимите по стандарт стойности от 10 μW/cm^2.



Фиг. 3. Максимални пикови (Peak) и максимални усреднени стойности (RMS) от измервания на електромагнитни полета в Обект-2 за изследвания период

От данните представени на графиките показани на фиг. 3, за трите дни на измервания, се наблюдава запазване на много ниски нива на измерените електромагнитни полета, за интервалите от време както през нощта, така и в работно време през деня. На графиките както за Peak и RMS се наблюдават много високи пикове в началните моменти на включване на антената. Това е в следствие на преходните процеси, свързани с механичното пренасяне на антената, както и смяна в местоположението на антената от точка в друга точка в измерваният обект.

Заключение:

1. В резултат от направените непрекъснати измервания в Обект-1, за период от осем дни (14–21 септември 2024), на нивата на излъчваната мощност, в диапазона от 100 kHz до 7 GHz, с използване на сертифицирана мобилна апаратура NARDA AMB-8057-03, може да се направи извода, че нивата на излъчваната мощност на електромагнитните лъчения в Обект-1, са под пределно допустимата норма от 10 μW/cm^2 по БДС.

2. Резултатите от направените непрекъснати измервания, за период от три дни (27–29 януари 2024 г.), на нивата на излъчваната мощност, в диапазона от 100 kHz до 7 GHz, с използване на сертифицирана мобилна апаратура, NARDA AMB-8057-03, показват, че нивата на излъчваната мощност на електромагнитните лъчения в Обект-2, са под пределно допустимата норма от 10 μW/cm^2 по БДС.

3. В резултат от всички направени измервания, проведени през интервал приблизително четири месеца в два обекта – гр. София, кв. Банкя, можем да заключим, че тези измерени стойности са многократно по-ниски от пределно допустимите нива, за една урбанизирана територия, в която работят и целодневно пребивават хора.

Литература:

1. Bullot, T., D. Gaiti, G. Pujolle, H. Zimmermann. A piloting plane for controlling wireless devices, Telecommun. Syst, 2008, 39, 195–203, doi 10.1007/s11235-008-9125-x.
2. Nikolova, Z., V. Poulkov, G. Iliev, K Egiazarian. New adaptive complex IIR filters and their application in OFDM systems. Journal of Signal, Image and Video Processing., 2010, 4(2), 197–207.
3. Report ITU-R M.2370-0 (07/2015), IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030, International Telecommunication Union, 2015,16.

4. Digital Europe White Paper on 5G Spectrum, 2015, 4.
5. Wiedemann P. M. and H. Schultz. The Precautionary Principle and Risk Perception: Experimental Studies in the EMF Area, Environmental Health Perspectives, 2005, 113(4), 402–405.
6. WHO, Fact sheet N 193, Electromagnetic fields and public health, 2014.
7. Rothman, K. J. Health Effects of Mobile Telephones, Epidemiology, 2009, 20(5), 653–655.
8. Нормативна база на Р България за защита на населението от влиянието на нейонизиращи лъчения и изисквания на Световната здравна организация и Директиви на ЕС:
9. Наредба № 9 от 1991 г., на МЗ и МОСВ (ДВ бр. 35 от 1991 г., Изм. и Доп., ДВ бр. 8 от 2002 г.).
10. Council of the European Union, “Council Recommendation of 12 July 1999 on the Limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)”, Official Journal of the European Communities, L 199/59, Brussels, Belgium, July 1999.
11. Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the Minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (18th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EC).
12. Закон за устройство на територията (ЗУТ), в сила от 31.03.2001 г., Обн. ДВ. бр.1 от 2 Януари 2001 г., изм. ДВ. бр. 41 от 24 Април 2001 г., изм. ДВ. бр. 94 от 12 Ноември 2021 г., доп. ДВ. бр. 42 от 7 Юни 2022г.
13. Getsov, P., D. Teodossiev, E. Roumenina, M. Israel, G. Mardirossian, G. Sotirov, S. Velkoski, P. Gajesek, D. Simunic, K. Iliev. Development of a Strategy and Methods for Monitoring of Electromagnetic Pollution in the Environment of the Western Balkans, Scientific results of the SEE-ERA.NET Pilot Joint Call, Edited by Jana Machačová, Katarina Rohsmann, 2009, 95–101. ISBN 978-3-200-01567-8.
14. Теодосиев, Д., Г. Мардиросян, Л. Филчев, Р. Гюров, Б. Сребров, П. Димитров, Цв. Среброва. Резултати от пилотно мониторингово изследване на разпределението и характеристиките на електромагнитните полета в диапазона 800 MHz – 2200 MHz в градска среда, Сп. Екологично инженерство и опазване на околната среда, 2009, 3–4, 74–81. ISSN: 1311-8668.
15. Viel J-F, et al. Radiofrequency exposure in the French general population: Band, time, location and activity variability, Environ Int. 2009, doi:10.1016/j.envint.2009.07.007.
16. Filchev, L., D. Teodosiev, R. Nedkov, D. Borisova, B. Kehayov, I. Iliev, T. Tsvetkov. Web based EMF monitoring in urban environment, Proc. of SPIE, 2019, 11174, 111741S, © SPIE, CCC code: 0277-786X/19/$21, doi: 10.1117/12.2533559.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗЕЛЕНИТЕ ПЛОЩИ В ГРАДСКАТА СРЕДА С ИЗПОЛЗВАНЕ НА МЕТОДИ НА МАШИННО САМООБУЧЕНИЕ И ГЕОГРАФСКИ ИНФОРМАЦИОННИ СИСТЕМИ

Елица Узунова, Иван Стоев, Гаро Мардиросян

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

Ключови думи: *дистанционно наблюдение, сателитни изображения, градска среда, растителност, географски информационни системи.*

Резюме: *Растителността е особено важна в градската среда, тя е силно свързана с човешкото здраве и повишава качеството на живот. Целта ни е да създадем метод за изчисляване на зеленината в градска среда, като използваме публично достъпни спътникови изображения, географски информационни системи, общ устройствен план на града, класификация на земната повърхност „Корине“ и софтуер с отворен код.*

EXPLORING GREEN SPACES IN URBAN ENVIRONMENTS USING MACHINE LEARNING AND GEOGRAPHY INFORMATION METHODS SYSTEMS

Elitza Uzunova, Ivan Stoev, Garo Mardirosian

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

Keywords: *remote sensing, satellite imagery, urban environment, vegetation, Geographic Information Systems.*

Abstract: *Vegetation is particularly important in urban environments, it is strongly linked to human health and increases quality of life. Our goal is to create a method for estimating greenness in urban environments using publicly available satellite imagery, geographic information systems, the city's master plan, Corine land cover classification, and open source software.*

Въведение

Зелените площи в урбанизираните райони са важен елемент за поддържане на здравословна и устойчива среда за обитаване. Те осигуряват множество екологични, социални и икономически ползи. На първо място, зелените площи като паркове, дървесни насаждения и озеленени улици действат като "бели дробове" на градовете. Те помагат за пречистване на въздуха, като абсорбират въглероден диоксид и освобождават кислород. Освен това растителността намалява замърсяването, като улавя праховите частици и токсичните вещества, присъстващи в атмосферата.

От друга страна, зелените пространства играят важна роля в регулирането на температурата в градовете, особено в борбата с ефекта на „градския топлинен остров“. В урбанизираните райони, където бетонът и асфалтът задържат топлина, зеленината може да намали температурите и да осигури естествено охлаждане. Това е особено важно в контекста на изменението на климата и увеличаващите се летни температури. Растителността подобрява психичното здраве, и повишава физическата активност, а също така е полезна за социалното сближаване. Градските зелени площи могат да осигурят местообитание на широк спектър от растителни и животински видове, което увеличава биоразнообразието в градските райони. И което е не по-малко важно, по-зелените градски райони имат по-ниски нива на насилствени и имуществени престъпления.

Непрекъснатите екологични, социални и икономически трансформации в градовете превръщат управлението на градската зелена покривка в основно предизвикателство за държавните администрации и вземането на решения относно управлението и планирането на естествените ландшафти.

Една от основните задачи на съвременните градоустройствени планове е не само създаването на нови зелени площи, но и ефективното управление на съществуващите такива. В този контекст сателитните технологии и географските информационни системи (ГИС) като QGIS играят важна роля за мониторинг и анализ на зелените площи. Чрез тях може да се събира и анализира информация за състоянието на растителността, да се наблюдават промените във времето и да се вземат адекватни решения за опазване и разширяване на зелените територии.

Използването на сателитни изображения, като тези от сателитите Sentinel-2, предоставя възможност за детайлен анализ на зеленината в градовете. С помощта на многоканалните изображения и индекси като NDVI (Нормализиран разпределителен индекс на растителността) или алгоритми за машинно самообучение, можем да получим точна информация за плътността и здравословното състояние на растителността в различни урбанизирани зони. Това е от ключово значение за устойчивото развитие на градската среда и опазването на природните ресурси.

С развитието на технологиите за машинно самообучение (Machine Learning - ML), анализът на зелените площи може да бъде значително подобрен чрез автоматизация и прецизиране на процеса. В QGIS това може да се постигне чрез използването на различни плъгини (добавки), които позволяват прилагането на алгоритми за машинно обучение върху геопространствени данни. Един от тях е разработен специално за обработка на данни от сателити като Landsat, Sentinel-2 и други, като позволява автоматична и полуавтоматична класификация на различни типове земно покритие, включително растителност, водни тела, урбанизирани зони и други.

QGIS улеснява целия процес на работа с мултиспектрални сателитни изображения, като предоставя лесни за използване инструменти за изтегляне на данни, предварителна обработка, изчисляване на индекси и класификация.

С помощта на географските информационни системи комбинираме различни източници на информация, със свободен достъп, за да пресметнем площта на зелените зони и други градски характеристики на територията на град София. За полигон на нашето изследване сме избрали строителната граница на град София, информация за която сме извлекли от общия устройствен план на града. Комбинирали сме с информация от CORINE Land Cover (CLC) класификацията на земното покритие и резултатите от прилагането на полуавтоматична класификация използваща алгоритъмът за спектрално правдоподобие (Spectral Angle Mapper – SAM).

Класификацията на земното покритие по CORINE (Coordination of Information on the Environment) е една от най-разпространените и стандартизирани системи за картографиране и анализ на земното покритие в Европа. Тя е разработена като част от програмата CORINE Land Cover (CLC), стартирана от Европейската агенция за околна среда (EAOC) през 1985 г. Основната цел на системата е да осигури унифицирани данни за земното покритие и земеползването на европейско ниво, като предоставя важна основа за научни изследвания, планиране и вземане на решения, свързани с околната среда.

CORINE Land Cover е изключително ценен инструмент за мониторинг на промените в околната среда, като позволява на страните от Европейския съюз да проследяват трансформациите в земното покритие, причинени от урбанизация, земеделие, обезлесяване и други човешки дейности. Системата предоставя последователна и съвместима класификация на земното покритие на територията на целия континент, като използва йерархична структура с няколко нива на детайлност.

Програмата CORINE е основен източник на данни за разнообразни приложения, включително оценка на въздействието върху околната среда, устойчиво градско планиране и управление на природните ресурси. Чрез своя мащабен пространствен и времеви обхват, тя осигурява информация, която е незаменима за оценка на дългосрочните тенденции в земното покритие. Например, CLC е използвана широко за анализи на промени в горските масиви, разширяване на урбанизираните зони, както и за проследяване на въздействието на климатичните промени върху земеделските площи и естествените екосистеми.

Общият градоустройствен план (ОУП) е дългосрочен документ, който очертава бъдещето развитие на град или селищна територия. Той служи като рамка за планиране, която ръководи растежа, инвестициите и подобренията на инфраструктурата, като същевременно запазва характера и качеството на средата. Съчетава икономически, социални и екологични аспекти, като осигурява устойчиво развитие и подобряване на качеството на живот. ОУП

предоставя балансиран и координиран подход за управление на пространственото развитие на града, като взема предвид икономическите, социалните, екологичните и културните фактори. Строителната граница в Общия устройствен план (ОУП) е ключов елемент, който определя зоните в рамките на дадена територия (град или селище), където е позволено изграждането на сгради и инфраструктура. Тази граница се използва за контролиране на пространственото развитие и за гарантиране, че урбанизацията и строителството се извършват по координиран и устойчив начин, съобразен с дългосрочните цели на плана.

Полуавтоматичната класификация се основава на използването на пробни области (training areas), които потребителят ръчно дефинира върху изображението. Тези пробни области се използват за обучение на алгоритмите за класификация, които след това автоматично прилагат резултатите върху цялото изображение. Тази техника е изключително полезна за точно разграничаване на различни видове земно покритие, като например различни видове растителност, водни обекти и урбанизирани площи. Ще използваме Алгоритъм за спектрално правдоподобие (Spectral Angle Mapper – SAM), Това е алгоритъм за класификация, който се използва за сравнение на спектралната информация на всеки пиксел с референтни спектрални подписи (например подпис на вегетация, вода, урбанизирани площи и др.). Този метод измерва спектралната правдоподобност на пикселите въз основа на "ъгъла" между техните спектрални вектори в многомерно пространство. SAM е особено полезен при работа с хиперспектрални и многоспектрални изображения, където има достъп до множество спектрални канали. Това прави метода ефективен за класификация на земно покритие, където е важно да се идентифицират различни класове, които имат специфични спектрални подписи, като например видове растителност, минерали или други повърхностни материали.

Методика

За изследване на урбанизирани територии и времеви мониторинг на зелените площи в урбанизирана среда (град София) с помощта на сателитни изображения (програмата на ЕКА “Коперникус”), методи на машинно самообучение, ГИС и Общ устройствен план на Столична община сме използвали следната методика.

1. Първата стъпка в процеса е да се получат въздушни или сателитни изображения. (Въздушните изображения обикновено се заснемат с помощта на дронове или самолети, оборудвани с високорезолюционни камери, докато сателитните изображения се получават от различни сателитни сензори, кръжащи около Земята) Използваме Google Earth Engine API, за да получим георефериранu изображения от Sentinel-2 MSI: Многоспектрален инструмент, ниво-1C.

Програмата Sentinel-2 предоставя много спектрални изображения с пространствена разделителна способност (ПРС) от 10 m за видимите и близкоинфрачервените ленти, и 20 m за червената крайна (red-edge) и късовълновата инфрачервена (shortwave-infrared) ленти. ПРС на панхроматичната лента е 10 m. Времевата разделителна способност на изображенията от Sentinel-2 е приблизително 5 дни.

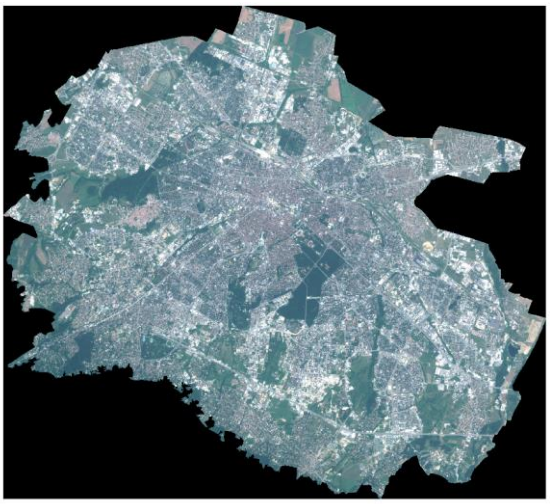
Изрязваме изображенията до следния полигон на София, България:
[23.168293045771108, 42.84699170585309], [23.168293045771108, 42.5613935863229], [23.48209004284142, 42.5613935863229], [23.48209004284142, 42.84699170585309],
като ги филтрираме така, че да имат по-малко от 10% облачни пиксели и да включват само изображения, принадлежащи към зона 34 TFN. Спираме се на датата 22.07.2022 г. (Фиг. 1).



Фиг. 1. Сателитно изображение от 22.07.2022

Така подбраното изображение съдържа както области от застроената част на града, така и земеделски земи и предгрaдия. За целите на нашето изследване искаме да преброим покритието на зеленината именно в жилищните райони и близко до тях, където е достъпна за живущите.

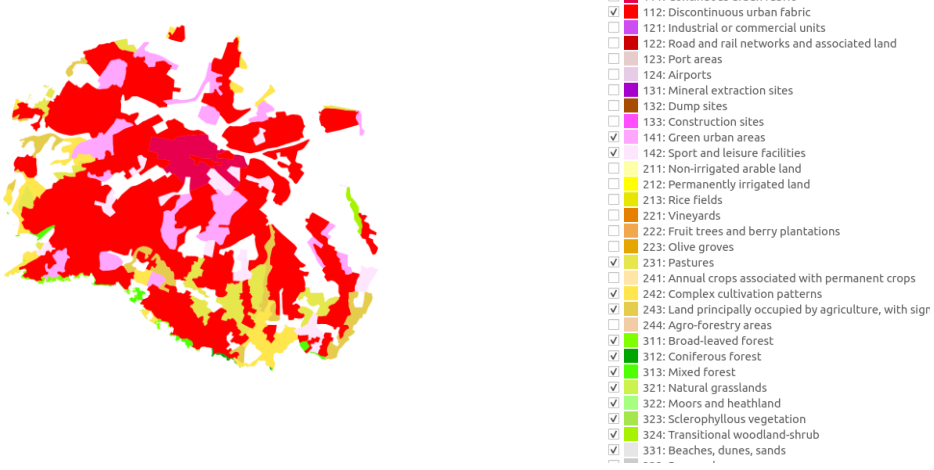
2. Извличаме строителната граница на града от общия градоустройствен план. С помощта на програмата QGIS изрязваме изображението, което сме изтеглили във точка 1. по контура строителната граница. Пикселите извън границата заместваме с 0 в стойностите на всички спектрални ленти (Фиг. 2).



Фиг. 2. Изрязано сателитно изображение от 22.07.2022 по контура на строителната граница на гр.София.

Така полученото изображение все още съдържа зеленина в строителни обекти индустриални зони и около транспортни възли, недостъпна за живущите в района. Затова минаваме към стъпка 3.

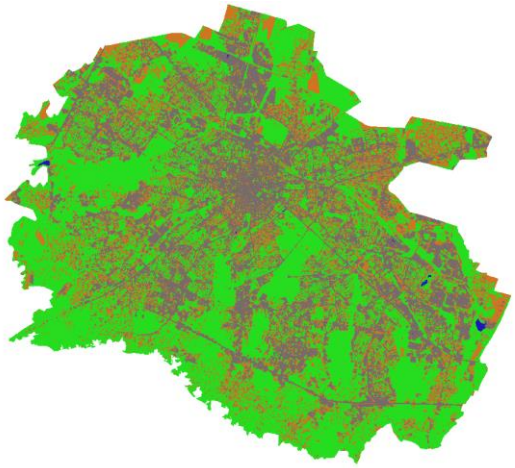
3. Извличане и изрязване по желания контур на данни от “Корине” класификацията на земна повърхност. Като подбираме само категориите които се отнасят към градското застрояване и зелени площи (Фиг. 3)



Фиг. 3. Контури на категории в “Корине” за гр.София

Обединяваме избраните категории в обща маска, която ще приложим върху подбраното изображение.

4. Обучаваме класификация с максимална спектрална близост Spectral Angle Mapper Classification (SAM) и изрязваме резултата по контура на строителната граница. В резултат на класификацията получаваме 4 категории: Вода, Зеленина, Почва, Застрояване (Фиг. 4).



Фиг. 4. SAM класификация за гр.София



Фиг. 5. SAM класификация изрязана по маската от корин категориите за гр. София

5. Налагаме получената в стъпка 3 маска и получаваме класификация само в областите които ни интересуват (Фиг. 5).

След това извършваме броене с помощта на QGIS пикселите попадащи в отделните категории и получаваме следните резултати:

Клас	Площ m^2	Пиксели
Вода	355200	3552
Зеленина	169507600	1695076
Почва	99721200	997212
Застрояване	35015700	350157

Заключение

Изследването демонстрира ефективността на използването на сателитни изображения, методи на машинно самообучение и ГИС инструменти за анализ и мониторинг на зелените площи в урбанизирани територии като София. Чрез комбинирането на многоспектрални данни с висока разделителна способност от програмата Sentinel-2 и пространствено ограничаване, базирано на строителната граница и „Корине“ класификацията, успяхме да извършим прецизна оценка на достъпните за гражданите зелени площи в жилищните райони на града.

С помощта на алгоритъма за класификация Spectral Angle Mapper (SAM) постигнахме сегментиране на основните типове земно покритие – вода, зеленина, почва и застрояване, което ни позволи да идентифицираме зелените площи, достъпни за жителите на град София.

Методът, който използвахме, не само позволява бърз и надежден мониторинг на зеленината в градските райони, но също така може да бъде приложен и в други урбанизирани зони, за да подпомогне устойчивото развитие на градовете. Продължителното използване на такива технологии би могло да подпомогне разработването на политики, насочени към увеличаване на зелените площи, подобряване на качеството на живот и адаптиране към изменението на климата.

Литература:

1. Grote, R. *et al.* Functional traits of urban trees: air pollution mitigation potential, *Front. Ecol. Environ.,* том 14, № 10, с. 543–550, 2016, doi: 10.1002/fee.1426.
2. Huang, M., P. Cui, and X. He. Study of the Cooling Effects of Urban Green Space in Harbin in Terms of Reducing the Heat Island Effect", *Sustainability*, vol. 10, no. 4, Apr. 2018, doi: 10.3390/su10041101.
3. Бейер, К. М., А. Калтенбах, А. Сабо, С. Богар, Ф. Х. Нието и К. М. Малецки. Излагане на зелени площи в квартала и психично здраве: Evidence from the Survey of the Health of Wisconsin, *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, vol. 11, no. 3, pp. 3453–3472, Mar. 2014, doi: 10.3390/ijerph110303453.

4. Университет на Барселона, Exposure to urban greenness has unequal effects on men's and women's mental health. https://medicalxpress.com/news/2022-07-exposure-urban-greenness-unequal-effects.html.
5. Richardson, E. A., J. Pearce, R. Mitchell, S. Kingham. Role of physical activity in the relationship between urban green space and health, *Public Health*, vol. 127, no. 4, pp. 318–324, Apr. 2013, doi: 10.1016/j.puhe.2013.01.004.
6. Wang, M., M. Qiu, M. Chen, Y. Zhang, S. Zhang, L. Wang. How does urban green space feature influence physical activity diversity in high-density built environment? An on-site observational study, *Urban For. Urban Green.",* том 62, с. 127129, юли 2021, doi: 10.1016/j.ufug.2021.127129.
7. Фулър, Р. А., К. Н. Ървайн, П. Девайн-Райт, П. Х. Уорън и К. Дж.Гастон. Психологическите ползи от зелените площи нараставт с увеличаване на биоразнообразието, *Biol. Lett.,* vol. 3, no. 4, с. 390–394, май 2007, doi: 10.1098/rsbl.2007.0149.
8. Maas, J., R. Verheij, P. Groenewegen, S. de Vries, P. Spreeuwenberg. Green space, urbanity, and health: *J. Epidemiol. Community Health*, том 60, с. 587–592, август 2006, doi: 10.1136/jech.2005.043125.
9. Шакълтън, С., А. Фол, Г. Брицке, И. Еделщайн, З. Вентър и Т. Конверс, Престъпността е по-ниска, когато градовете са по-зелени: Evidence from South Africa supports the link. https://phys.org/news/2022-11-crime-cities-greener-evidence-south.html
10. Huerta *et al.* Mapping Urban Green Spaces at the Metropolitan Level Using Very High Resolution Satellite Imagery and Deep Learning Techniques for Semantic Segmentation", *Remote Sens.,* vol. 13, no. 11, Art. no. 11, Jan. 2021, doi: 10.3390/rs13112031.
11. Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-1C | Earth Engine Data Catalog, *Google Developers.* https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/
12. https://sofiaplan.bg/portfolio/oup-sofia/
13. https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover
14. https://www.copernicus.eu/en

ASSESSING ECOSYSTEMS AND THEIR SERVICES IN URBAN AREAS: THE CASE OF URBAN ECOSYSTEM CONDITION INDICATORS IN SOFIA, BULGARIA

Ivaylo Ananiev, Vanya Stoycheva, Stoyan Nedkov

National Institute of Geophysics Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: IvayloAnaniev213@gmail.com, vanya.e.stoycheva@gmail.com, snedkov@gmail.com

Keywords: *CICES, ecosystem services, ES maps, green infrastructure, Urban Atlas*

Abstract: *As the expectation for the increasing world population by 2050, the expected percentage of people living in urban environments would be above around 70%. That will lead to an increase in the needs of the urban ecosystems and the services they provide. To assess their supply potential, we need a clear overview of their state, as well as future projections for their development. Following the Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services (MAES) framework, a methodology for mapping and assessment of urban ecosystems and their services in Bulgaria was developed in 2017. It consists of three main parts: mapping of ecosystem types; assessment of ecosystem condition; and assessment of ecosystem services. In this study, we used the ecosystems database developed during the implementation of the methodology to evaluate the ecosystem condition indicators related to the regulation ES for the case study of Sofia. The indicators with appropriate data were selected to generate maps that represent the ecosystem condition in the case study area.*

ОЦЕНКА НА ЕКОСИСТЕМИТЕ И ТЕХНИТЕ УСЛУГИ В ГРАДСКИТЕ ТЕРИТОРИИ: ИНДИКАТОРИ ЗА СЪСТОЯНИЕТО НА УРБАНИЗИРАНИТЕ ЕКОСИСТЕМИ В СОФИЯ, БЪЛГАРИЯ

Ивайло Ананиев, Ваня Стойчева, Стоян Недков

Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките
e-mail: IvayloAnaniev213@gmail.com, vanya.e.stoycheva@gmail.com, snedkov@gmail.com

Ключови думи: *екосистемни услуги, зелена инфраструктура, карти на екосистемни услуги, CICES, Urban Atlas*

Резюме: *Очакванията са, че до 2050 г. населението на света ще се увеличи, а процентът на хората, живеещи в градска среда, ще надвиши 70%. Това ще доведе до нарастване на нуждите на градските екосистеми и услугите, които те предоставят. За да оценим потенциала им за предлагане, се нуждаем от ясен преглед на състоянието им, както и от бъдещи прогнози за развитието им. Следвайки методическата рамка за картографиране и оценка на екосистемите и техните услуги (MAES), през 2017 г. беше разработена методология за картографиране и оценка на градските екосистеми и техните услуги в България. Тя се състои от три основни части: картиране на екосистемните типове; оценка на състоянието на екосистемите и оценка на екосистемните услуги. В настоящото изследване използвахме базата данни за екосистемите, разработена по време на прилагането на методологията, за да оценим индикаторите за състоянието на екосистемите, свързани с регулиращите на екосистемни услуги за територията на град София. Бяха подбрани индикаторите с подходящи данни, за да се създадат карти, които представят състоянието на екосистемите в изследвания район.*

1. Introduction

With the world population expected to increase by 2050, the percentage of people living in urban environments will be above 70% [1]. That will lead to an increase in the needs of urban ecosystems and the services they provide. On a European Union level, the urban ecosystems cover around 22% of the EU's land surface territory [2]. They provide important ecosystem services (ES),

the most presented of which are water and air filtration, flood regulation, urban heat island mitigation, habitat provision, etc. [2]. The urban green space is identified as a key source of ES. It includes urban forests, parks, gardens, street trees, etc. [2] and the provision of ES is connected with the urban ecosystem's health. Improving this health will be achieved by a set of restoration targets until 2030 [2].

To assess urban ecosystem's health and supply potential, we need a clear overview of their state and future projections for their development. Several projects have applied the Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services (MAES) [3] in Bulgaria. They consist of eight terrestrials and one marine ecosystem [4].

The ecosystem condition could be defined as the overall quality of an ecosystem unit, regarding biological, physical and chemical characteristics, which determines its capacity to provide ES [5]. A common approach to the assessment of the ecosystem condition is the comparison of measurements from the current state regarding the reference state of this ecosystem [6]. The aforementioned is highly applicable to artificial urban ecosystems, as the identified reference state would not be applicable if there is no human influence [6]. However, for artificial urban ecosystems, good condition is expected to represent long-term social-ecological resilience to support human well-being in cities [6].

The primary objective of this study is to evaluate the applicability of the urban ecosystem condition indicators for the assessment of regulating ES, based on the city of Sofia as a case study. We have assessed the available urban ecosystem condition indicators and selected the most prominent from them for further analysis and application for ES assessment.

2. Materials and Methods

2.1. Initial data

The approach prepared for and applied in this study is based on the national methodological framework for mapping and assessing the condition of ecosystems and the ecosystem services they provide. The framework aims to optimize the overall process of defining, mapping, and biophysical assessment of ecosystems and their services in Bulgaria. The methodology applies to the study of urban ecosystems throughout the country, given the existing differences between the areas in and outside Natura 2000, which are caused by the differences in the availability of data on land use and spatial distribution of ecosystems. The methodology provides a set of information on the relevant databases and data sources. The database structure follows the structure in the methodology [7] in terms of the number of vector layers and tables, as well as their scheme and nomenclature tables. The database schema is presented in XML and Personal geodatabase (.mdb) formats that are OCG- and INSPIRE-compatible. It contains three object classes (depending on the type of spatial data—points, lines, or polygons) and three tables containing different information about ecosystems.

Overall, three datasets were used for the assessment of the condition indicators. These are ecosystem subtypes (MAES BG), Urban Atlas classes and updated Urban Atlas dataset with urban green infrastructure. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services (MAES) [3] in Bulgaria have been applied by separate projects, one of which is for the urban ecosystem [7]. We use data for six of the eight terrestrial ecosystem types which cover the case study (urban, cropland, grassland, woodland and forest, heathland and shrub, and freshwater). The case study covers 221.53 km^2 of which 93% are the urban ecosystems (nine out of ten subtypes).

The Urban Atlas dataset is a product of Copernicus, which is the European Union's Space program's Earth observation component [8]. The Urban Atlas consists of a very high-resolution land use and land cover dataset of the Functional Urban Areas (FUA) [8]. We have extracted the part of the case study that covers Sofia FUA while performing additional analyses and cross-walking between the Urban Atlas database (version 2018), ecosystem types, and the newly added classes for urban green infrastructure from the Sofiaplan dataset [9].

To improve the accuracy of the dataset regarding urban green infrastructure (UGI), the main source of ES in urban ecosystems, we have applied the dataset for the UGI from Sofiaplan [9], derived from Sentinel-2 products.

The data for ecosystem condition in the case study area were extracted from the GIS database developed under the national mapping of the ecosystems. Indicators are a subset of multiple possible attributes that can be used to quantify the state of a landscape, watershed, or ecosystem [10]. In this case, the proposed condition indicators assess the state of urbanized ecosystems, and the structure and processes in them [11, 12]. There are 20 indicators (18 basic and 2 optional) in the methodology.

2.2. Processing and analyses of ecosystem condition data

For the processing of the ecosystem condition data, tables containing an assessment of individual indicators and tables containing parameters with values for individual indicators have been

reviewed. All data are analyzed with two software packages, Microsoft Excel 2016 and QGIS 3.16. The information from the tables is tied to a spatial layer in a GIS environment to check the individual indicators for the different ecosystem types.

The analysis of the tabular information and their integration into a spatial layer show that all tables with the evaluation of indicators were made based on both quantitative and qualitative data. Almost all indicators have missing information or simply there isn't any available data for individual ecosystem types. After reviewing the tables containing values for the different parameters and going through the same process of analysis and processing, it becomes clear that the values are obtained both based on expert assessment for some of the parameters and quantitative data as well. Again, there is also a lack of data on individual ecosystem types.

2.3. Mapping of ecosystem condition

The mapping of ecosystem condition was done with three different datasets, ecosystem types, Urban Atlas (UA) classes, and the updated UA with green infrastructure. The ecosystem types dataset consists of nine urban ecosystem subtypes. The largest area is covered by J1: residential and public areas; J5: urban green areas (including sports and leisure facilities), and J6: industrial sites (including commercial sites).

The Urban Atlas dataset [8] for the case study consists of 22 of 27 classes overall. On the contrary from the ecosystem types, the highest area is covered by Class 12100, 'Industrial, commercial, public, military and private units', over 21%. Other highly represented were classes 11210 'Discontinuous Dense Urban Fabric (S.L.: 50–80%)' (17.72%) and 14100 'Green urban areas' (15.64%) [13].

The third dataset consists of the updated UA dataset with the additional green infrastructure classes. The UGI was divided into 16 categories, which cover 48% of the case study (the largest area occupied the "Green area in discontinuous urban fabric" and "Ruderal vegetation").

The indicators were assessed based on the quality of the data and their applicability to produce maps. Each indicator was assessed on the following parameters: 1) Assessment availability; 2) Discrepancies between the database and the methodology; 3) Discrepancies between the value and score (within the database); 4) Discrepancies between indicators and parameters; 5) Missing data (based on the number of polygons and/or ecosystem subtypes). The applicability of the indicators was assessed using a used a three-level scale: 0 – not applicable; 1 – yes, applicable; 2 – fully applicable.

3. Results

3.1. Ecosystem condition indicators

The results of the indicators' applicability are given in table 1. Five indicators have the highest score 2 (fully applicable). Only one indicator (soil heterogeneity has the lowest score of 0 (not applicable). The rest of the indicators could be defined as partly applicable and further study and their applicability is needed. Following each indicator's applicability scores, ES, two indicators, plant diversity and air heterogeneity, we selected produce ecosystem condition maps.

Table 1. Applicability of indicators for mapping and assessing ecosystem services (0 – not applicable; 1 – yes, applicable; 2 – fully applicable)

Indicator name	Assessment availability	Discrepancies Methodology/ Database	Discrepancies score/value	Discrepancies indicator/ parameter	Missing data	Overall applicability
Plant diversity	1	1	0	0	0	2
Animal diversity	1	0	0	0	0	1
Habitat diversity	1	0	1	0	0	2
Invasive species	1	0	0	0	0	1
Other biotic heterogeneity (naturalness etc.)	0	1	0	0	0	1
Soil heterogeneity	0	0	0	0	0	0
Hydrological heterogeneity	1	0	0	0	0	1
Air heterogeneity	1	1	0	0	0	2
Geomorphological heterogeneity	1	0	0	0	0	1
Disturbance regime	1	0	0	0	0	1
Other abiotic heterogeneity indicators	1	1	0	1	0	2
Energy balance (capture, storage)	1	0	0	0	0	1
Entropy production	0	0	0	0	1	1
Metabolic efficiency	1	0	1	0	0	2

Other energy budget indicators	0		0	0	1	1
Matter balance (input, output)	1	0	0	1	0	1
Matter storage	0	0	0	0	1	1
Element concentrations (other state variables)	1	0	0	0	0	1
Efficiency measures	1	0	0	0	0	1
Water balance (input, output)	1	0	0	1	0	1
Water storage	1	0	0	0	0	1
Other state indicators	0	0	0	0	1	1
Efficiency measures	1	0	0	0	0	1

3.2. Mapping of ecosystem condition in Sofia

The results of the mapping present the spatial distribution of the two indicators—plant diversity and air heterogeneity (fig. 1). The plant diversity shows better condition with most of the territory with a score of 4 (good condition), and the rest of the territories with a score of 3 (moderate condition). Limited areas have very bad condition (score 1). The second indicator (air heterogeneity) presents different results, as the predominant part of the case study area varies between bad (score 2) and moderate (score 3) condition. Again, limited area has very bad condition. The maps produced using Urban Atlas and Sofiaplan data give more detailed spatial distribution.

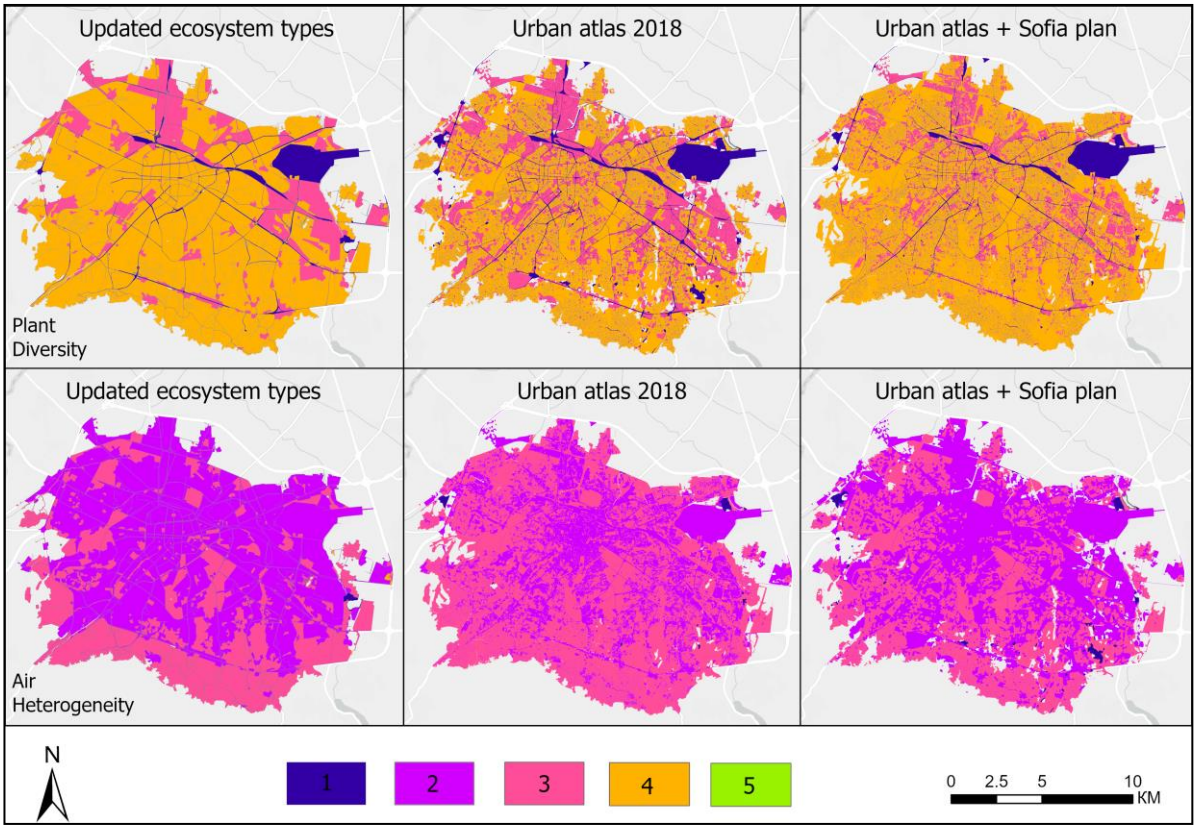


Fig. 1. Urban ecosystem condition indicators assessment with three different databases.
Legend: 1 – very bad, 2 – bad, 3 – moderate, 4 – good, 5 – very good.

Conclusions

In this study, we developed an approach for the evaluation of the applicability of urban ecosystem condition indicators from the national ecosystem mapping under MAES for the case study of Sofia. The available urban ecosystem condition indicators for the case study of Sofia were assessed and the results give the opportunity to select the most appropriate for mapping of ecosystem condition. The proposed approach gives an overview of the current state of the urban ecosystems and their capacity to supply ES. Selecting the MAES BG indicator to assess ecosystem condition and map

the ES spatial distribution will be the next step for identifying the key supplying and key demanding areas for each ES.

Acknowledgments: The study was carried out within the INES project (INtegrated assessment and mapping of water-related Ecosystem Services for nature-based solutions in river basin management), funded by the National Science Fund of the Bulgarian Ministry of Education and Science, under Grant No KP-06-N-54/4.

References:

1. Wahba Tadros, S. N., Wellenstein, A., Das, M. B., Palmarini, N., D'Aoust, O. S., Singh, G., Restrepo Cadavid, P., Goga, S., Terraza, H. Cr., Lakovits, C., Baeumler, A. E. N., Gapihan, A. T. Demographic Trends and Urbanization (English). Washington, D.C.: World Bank Group. 2021. http://documents.worldbank.org/curated/en/260581617988607640/Demographic-Trends-and-Urbanization
2. Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869
3. Maes, J, Teller A, Erhard M, et al. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020. Publications office of the European Union, Luxembourg. 2013. https://doi.org/10.2779/12398
4. Bratanova-Doncheva, S., Chipev, N., Gocheva, K., Vergiev, S., Fikova, R. Methodological framework for assessment and mapping of ecosystem condition and ecosystem services in Bulgaria. Conceptual bases and principles of application, 2017. ISBN:978-619-7379-21-1. http://www.iber.bas.bg/sites/default/files/2018/MAES_2018/A1%20INTRO_ENG%20PRINT.pdf
5. Rendon, P., Erhard, M., Maes, J., & Burkhard, B. Analysis of trends in mapping and assessment of ecosystem condition in Europe. Ecosystems and People, 2019, 15(1), 156–172. https://doi.org/10.1080/26395916.2019.1609581
6. European Commission: Joint Research Centre, Vallecillo, S., Maes, J., Teller, A., Babí Almenar, J., Barredo, J., Trombetti, M., Abdul Malak, D., Paracchini, M., Carré, A., Addamo, A., Czúcz, B., Zulian, G., Marando, F., Erhard, M., Liquete, C., Romao, C., Polce, C., Pardo Valle, A., ...Gumbert, A. EU-wide methodology to map and assess ecosystem condition: towards a common approach consistent with a global statistical standard, Publications Office of the European Union. 2022. https://data.europa.eu/doi/10.2760/13048
7. Zhiyanski, M., Nedkov, S., Mondeshka, M., Yarlovska, N., Vassilev, V., Borisova, B., Bratanova-Doncheva, S., Gocheva, K., Chipev, N. Methodology for assessment and mapping of urban ecosystems condition and their services in Bulgaria. Cloprint, Sofia, 2017, 82 pp. ISBN 978-619-7379-03-7. https://eea.government.bg/en/projects/Ecosystems/urbanes/URBAN_ENG.pdf
8. European Environment Agency (2020) Mapping Guide for a European Urban Atlas v6.2. URL: https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library//urban_atlas_2012_2018_mapping_guide
9. Sofiaplan. Green areas. Version 18.05.2020. Sofiaplan Open source data portal. 2020. https://api.sofiaplan.bg/datasets/410?_ga=2.35755680.121527727.1729067223-1075718534.1719845307
10. Walker, J. Environmental indicators and sustainable agriculture. In: McVicar, T.R., Li Rui, Walker, J., Fitzpatrick, R.W. and Liu Changming (eds), Regional Water and Soil Assessment for Managing Sustainable Agriculture in China and Australia, ACIAR Monograph, 2002, No. 84, 323–332.
11. Chapin, F.S., P. Matson, H. Mooney. Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg, 2002. ISBN 0-387-95443-0. 396 pp.
12. Maes, J., Zulian, G., Thijssen, M. et al. 2016. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. Urban Ecosystems. 4th MAES report. Publications office of the European Union, Luxembourg, 2016. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC101639
13. Stoycheva, V, Nedkov S (2024) The performance of two urban flood regulation models using different input data. Under review

ТИПОВЕ АИС ЗА ФИНИ ПРАХОВИ ЧАСТИЦИ В БЪЛГАРИЯ – СРАВНИТЕЛНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ, БРОЙ И РАЗПОЛОЖЕНИЕ

Мария Димитрова

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

Ключови думи: *атмосферно замърсяване, ФПЧ, PM1, PM2.5, PM10, АИС*

Резюме: *В работата са представени различните типове автоматични измервателни станции за фини прахови частици PM1, PM2.5 и PM10 на територията на България, които са достъпни за получаване на свободни данни. Показани са карти на местоположението им, техния брой и сайтове за сваляне на данни.*

Направено е сравнение на техните основни характеристики. Направен е анализ на териториалното разпределение и препоръки за по-добро покритие на измерванията.

Представени са два пример за използване на данни от различните източници и липсата на такива – взривът в склад за фойерверки в Елин Пелин и пожарът на сметището е Цалапица.

TYPES OF AIS FOR FINE DUST PARTICLES IN BULGARIA – COMPARATIVE CHARACTERISTICS, NUMBER AND LOCATION

Maria Dimirova

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

Keywords: *atmospheric pollution, fine dust particles, PM1, PM2.5, PM10, AMS*

Abstract: *The work presents the different types of automatic measuring stations for fine dust particles PM1, PM2.5 and PM10 on the territory of Bulgaria, which are available for obtaining free data. Maps of their locations, numbers and download sites are shown.*

A comparison of their main characteristics is made. An analysis of the territorial distribution and recommendations for better coverage of the measurements were made.

Two examples of the use of data from different sources and the lack thereof are presented – the explosion in a fireworks warehouse in Elin Pelin and the fire at the landfill in Tsalapitsa.

Въведение

Атмосферното замърсяване е от основно значение за здравето и живота както на човека, така и на селскостопанските и диви животни, културната и естествена растителност, климатичните промени.

Официалните данни за качеството на атмосферния въздух в България се дават от - Националната автоматизирана система за контрол качеството на въздуха се състои от 50 стационарни пункта, в т.ч. 34 автоматични измервателни станции (АИС), 9 пункта с ръчно пробонабиране и последващ лабораторен анализ и 7 автоматични ДОАС системи.

Пунктовете за контрол качеството на атмосферния въздух (КАВ) са разположени в 34 населени места. Данните постъпват в реално време в Националната база данни и са предварителни. След проверка за достоверност и верифицирането им, окончателните данни се публикуват в тримесечните бюлетини, издавани от ИАОС.

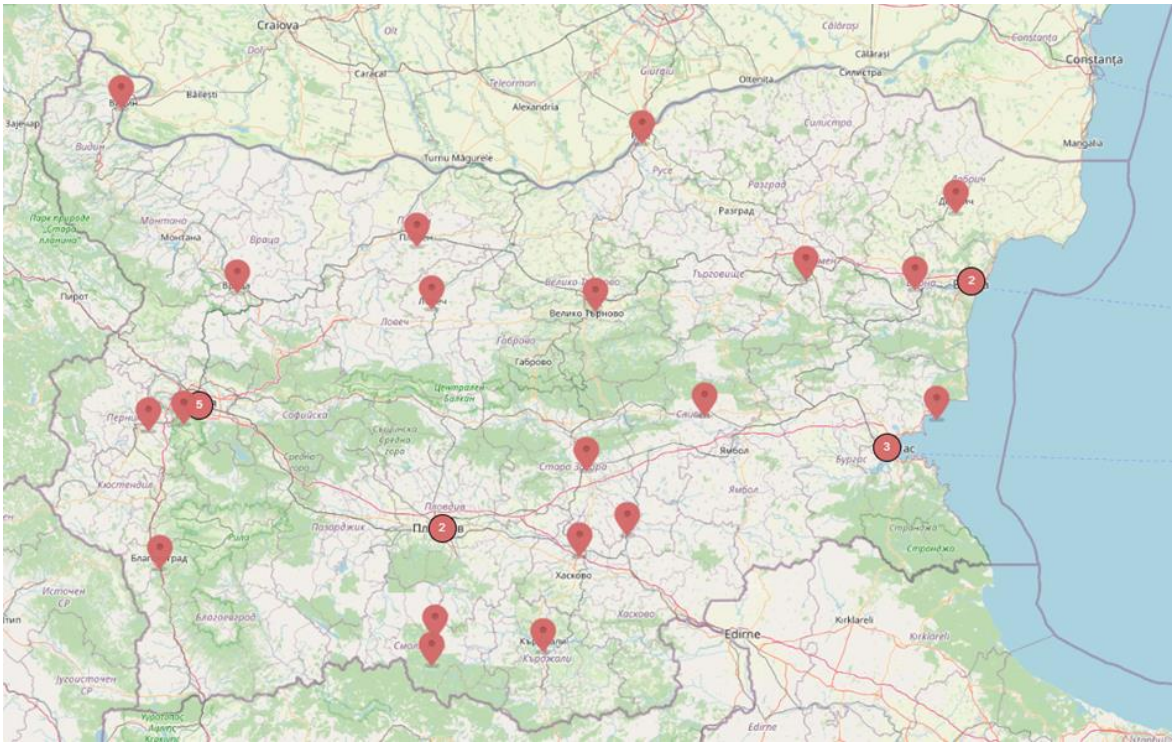
Информацията за състоянието на атмосферния въздух от всички пунктове за мониторинг постъпва в централен диспечерски пункт в ИАОС.

На локално ниво информацията постъпва в регионални диспечерски пунктове, разположени в съответните РИОСВ [1].

Стойности на наблюдаваните показатели Азотен двуокис – NO2, Азотен оксид – NO, Атмосферно налягане. Бензен, Въглероден оксид – CO, Озон – O3, Относителна влажност, Серен диоксид – SO2, Скорост на вятъра, Слънчева радиация, Температура, Фини пр. частици

Финитe прахови частици се измерват в няколко основни показателя, като КАВ покрива 2 от тях, а именно PM2.5 и PM10.

На Фиг. 1 е показано разпределението на АИС, чиито данни са достъпни в КАВ на територията на страната..



Фиг. 1. Разположение ма АИС на територията на България

Не всички станции, обаче измерват свата показателя за ФПЧ. Особено зле е положението с PM2.5 [3]. Такива са само 3 АИС за PM2.5 и 29 за PM10, като данни има едва от 2015 година насам.

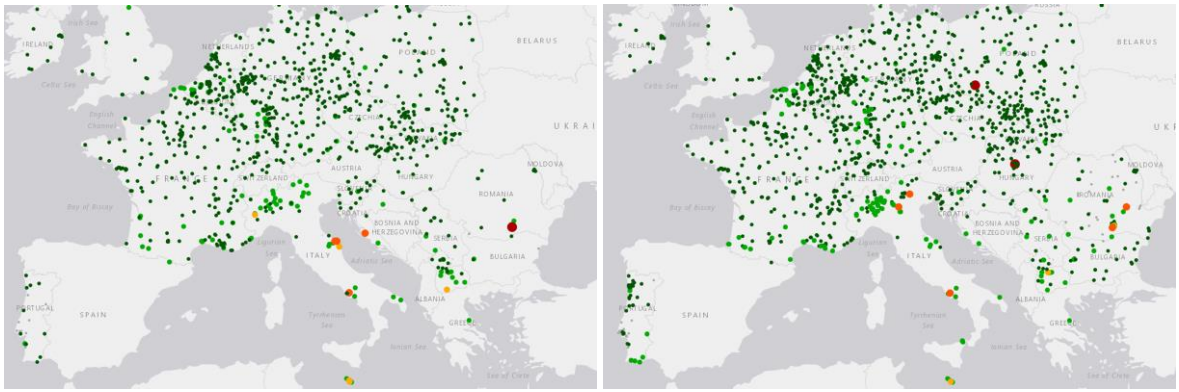
Като се има предвид още, че пет от описаните АИС са на територията на град София, а 6-тата е в близост до него, всички останали с изключение на АИС Рожен са в големите населени места, наличното количество данни е крайно недостатъчно за проследяване на състоянието на атмосферния въздух над България.

Цел на настоящата работа е да се представят наличните свободно достъпни данни за ФПЧ на територията на България и да се анализират възможностите за тяхното използване.

Налични източници на данни за фини прагови частици в България

Вторият основен и напълно официален източник за данни за ФПЧ от 2013 година насам е Европейския портал – European Air Quality Portal [3, 4]. По негови данни можем да работим с 41 АИС за PM10 и 9 за PM2.5, като данни са налични единствено за всяка една година за всеки един замърсител и всяка една станция по отделно на интернет адрес [5], като данните са или почасови, или дневни и за някои станции постъпват с голямо закъснение – понякога повече от година.

На Фиг. 2 е представено разпределението на наличните данни в реално време за АИС от този източник по отделно за PM2.5 и PM10 за Европа



Фиг. 2. Налични в реално време данни за PM2.5 и PM10 в Европейския портал за качество на въздуха

Както се вижда от фигурата, в България, както и в другите южни Европейски страни, подложени в това число и на нахлувания на Сахарски прах, наличните АИС за ФПЧ, са много малко.

Отделните общини притежават и други източници на информация за ФПЧ.

Столична община, например, разполага с още 2 АИС – в Бусманци и Требич, които подават данни за PM2.5 и PM10 от средата на 2022-ра година [6], както и с мобилна станция от началото на 2021-ра. Данните от останалите налични станции са достъпни от началото на 2007 година, като има и архивни данни за от станцията на Орлов мост, която функционираше до края на 2015-та. Данните и от трите източника са достъпни за целия период на тяхното функциониране на интернет адрес [6].

Община Бургас също разполага с данни от 3 допълнителни АИС и от 1 мобилна станция [7]. Достъпни за минал период са само данните от мобилната станция и 1 от 3-те АИС.

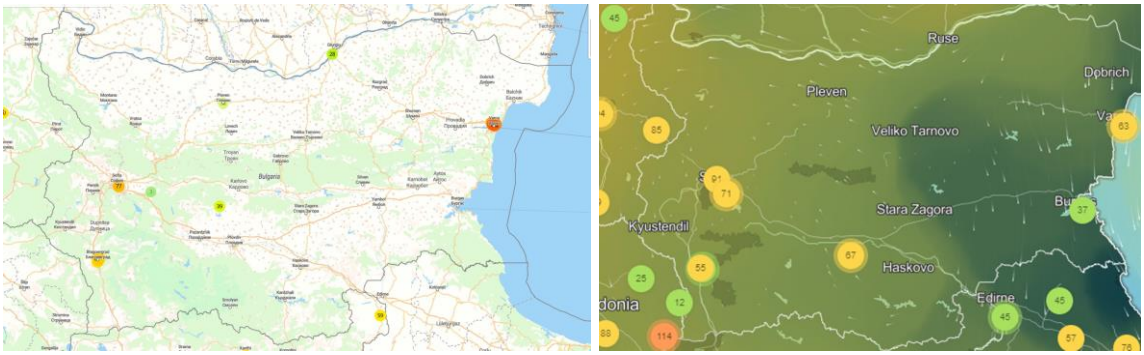
В последното десетилетие се появиха множество производители на сензори за качеството на атмосферния въздух, които са свободно достъпни за закупуване, лесни за инсталиране и получаване на данни от широк кръг потребители, както от частни лица, така и от организации от всякакъв тип. Някои от тях предоставят интерактивни уеб базирани платформи за данни. Освен PM2.5 и PM10, тези датчици измерват още един показател за наличие на ФПЧ – PM1. Тук ще представя 2 такива, чиито сензори работят и продължават да се разполагат на територията на България.

Първият производител е Purple air [8]. На територията на България са разположени датчици както следва:

- Варна – 5 станции;
- Благоевград – 12-тина, които работят непостоянно, около 7 надеждни
- София – 1 на адрес Елемаг 32 – от 2020
- Огняново – от 2022
- Русе и Старосел и Плевен – от тази година

Вторият производител е IQAir [9]. Наличните станции са както следва:

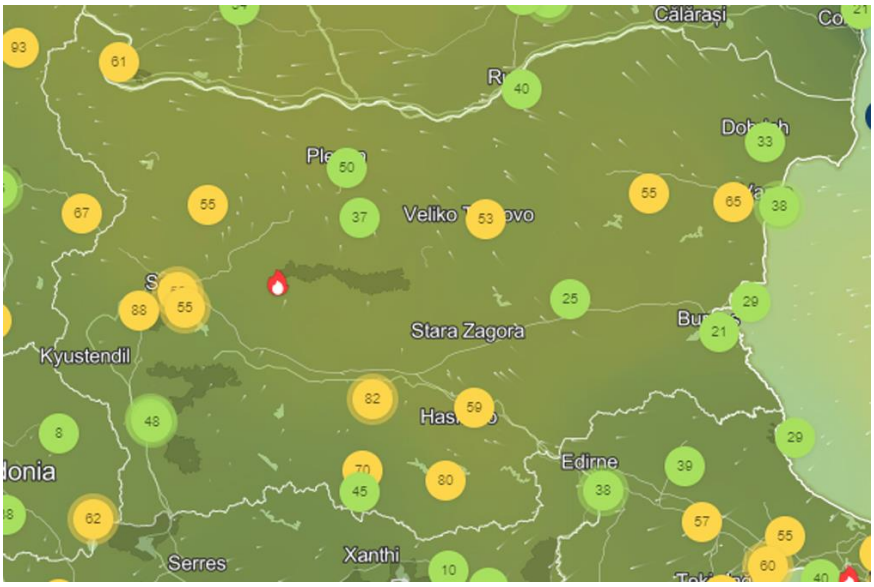
- Бургас – 2 работещи и 6 потенциални датчика
- София – 3
- Пловдив – 2.



Фиг. 3. Териториално разпределение на датчиците на Purple air и IQAir

На Фиг. 3 е представено териториалното разпределение на наличните датчици от двата типа. На фигурата отдясно са представени и наличните от първата фигура датчици, т.к. техните данни са налични в сайта на IQAir [9].

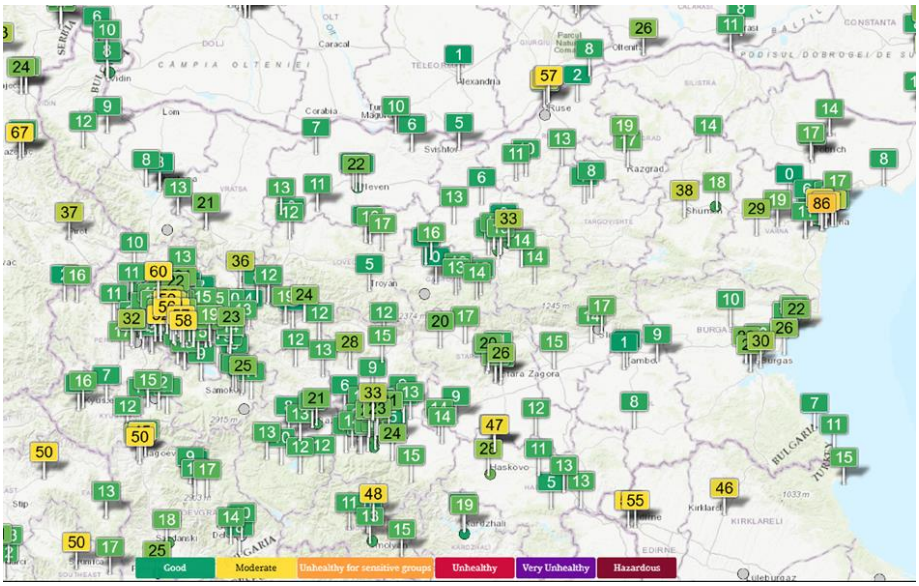
Интересното при сайта на втория производител е, че там са достъпни данни за месец назад както на собствените му датчици, така и на тези на Purple air. От пролетта на тази година се представят и данни някои от наличните АИС на територията на страната, както е показано на Фиг. 4. Предоставят са данни и за налични пожари по данни от NASA – FIRM [10], прахови бури и топли вълни.



Фиг. 4. Териториално разпределение на датчиците с достъпни данни на сайта на IQAir [9]

Основният източник на данни за ФПЧ, който е изграден изцяло от евтини любителски сензори с много добро покритие в големите градове на Европа е Senzor.Comuniti [11, 12]. Той представлява управлявана от сътрудници глобална сензорна мрежа, която създава отворени данни за околната среда. “Неговата мисия е да вдъхновяваме и обогатяваме живота на хората, като предлагаме платформа за колективното любопитство в природата, което е истинско, радостно и позитивно” [11].

На Фиг. 5 е представено покритието на сензорите му в България по данни от сайта [12]. Данните за ФПЧ PM1, PM2.5 и PM10 са достъпни в .csv формат от декември 2019-та.



Фиг. 5. Териториално разпределение на датчиците от Senzor.Comuniti [11, 12]

Датчиците от този източник са на порядък повече от останалите изброени. Включва данни основно от Senzor.Comuniti [11], но също така и от всички датчици на Purple air за всички замърсители и целия период, които не са достъпни на собствения им сайт. Включва и наличните официални АИС и техните данни, които, обаче, не винаги могат да бъдат свалени. Само на територията на гр, София съществуват почти 300 сензора, а в близката й околност – между 50 и 100. На останалата територия на страната ни, обаче, разпределението е много по-рехаво.

Случаят Елин Пелин

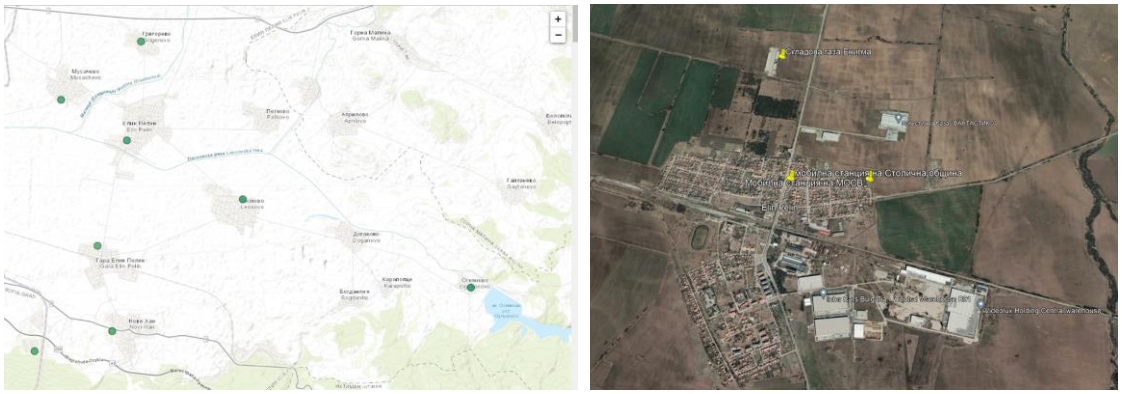
На 25.07.2024 г. около 18:30 часа в склад за фойерверки в близост до село гара Елин Пелин възниква пожар с няколко последователни експлозии. На Фиг. 6 е представен изглед на района.



Фиг. 6. Складова база Енигма – Елин Пелин и прилежащите й територии

В района няма инсталирана АИС. Съществуват само няколко любителски датчика от Senzor.Comuniti, които са разположени както следва – Елин Пелин, Гара Елин Пелин, Мусачево, Нови хан, Лесново. Положението им е представено на Фиг. 7. Те, обаче дават среднодневни данни за PM2.5 и PM10, както и максимални измерени за деня стойности.

През нощта на 25-ти на място пристигат 2 мобилни станции – станцията на Столична община [6] и мобилна станция на МОСВ [13], които се разполагат както е показано на Фиг. 6. Първите измервания и от двете са от 1 часа на 26.07 – 6 часа след началото на събитието. Станцията на столична община предоставя публични данни за всички измерени показатели за периода 1 до 24 часа на 26.07.2024, след което се мести на ново местоположение, показано на Фиг. 7 и възобновява измерванията си от 16 часа на 27.07.2024.



Фиг. 7. Разположение на измервателните станции Senzor.Comuniti
и на мобилните станции след на 27.07.2024 г.

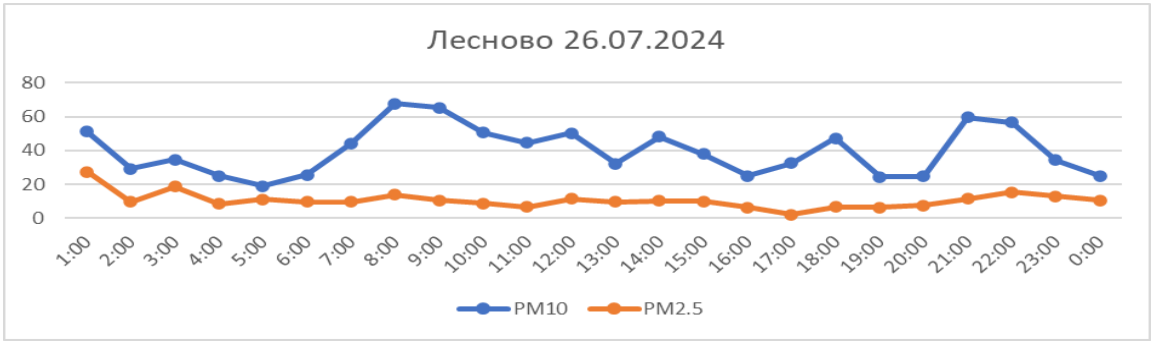
МОСВ предоставя само частични данни от мобилната си станция, която е с постоянно местоположение, показано на Фиг. 6. Данните са следните:

1. Предварителните данни от мобилната лаборатория, събрани през последните часове, показват следното: Отчетени са повишени стойности на фини прахови частици (ФПЧ $_{10}$). При средноденонощна норма от 50 микрограма/м3, в 1:00 часа след полунощ часовата концентрация е била 55 микрограма/м3, в 3:00 часа – съответно 85 mg/m3, в 4:00 часа – 128 mg/m3 (максималната измерена стойност), докато в 12 часа днес вече са отчетени 12 mg/m3. Предстои да бъдат събрани достатъчно данни за 24-часовия период, за се извърши окончателна оценка. Няма регистрирани превишения на средночасовите норми за серен диоксид, азотен диоксид и озон. Няма регистрирани превишения на осемчасовата норма за въглероден диоксид.Мобилната станция ще продължи да следи качеството на въздуха в района и да предоставя информация за актуалното състояние. [14]

2. По предварителни данни в първите часове след възникването на пожара бяха отчетени повишени стойности на фини прахови частици (ФПЧ 10). Максимално из-мерената стойност е в 4:00 часа след полунощ – 128 микрограма/м3, като до 12 часа днес стойностите бяха нормализирани до 12 mg/m^3. Данните, събрани през следобедните часове днес за часова концентрация на фини прахови частици (ФПЧ 10) показват тенденция за нормализиране: в 13 часа – 13 mg/m^3, в 14 часа - 12 mg/m^3, в 15 часа – 12 mg/m^3, в 16 часа – 13 mg/m^3, в 17 часа – 11 mg/m^3. [15].

3. Независимо че в първите часове след възникването на пожара бяха отчетени повишени стойности на фини прахови частици (ФПЧ 10), вече има достатъчно данни да бъде генерирана средноденонощната стойност за изминалото денонощие на 26 юли. Тя е 39 микрограма/м3, което не превишава регламентираната норма от 50 микрограма/м3. [16]

Графиката на почасовите стойности по данни от мобилната станция на Столична община за 26.07.2024 [6] са представени на Фиг. 8.



Фиг. 8. Времево поведение на атмосферното съдържание на ФПЧ на 26.07.2024

Както се вижда от графиката, периодични превишавания на ПДН за денонощие от 50 μg/m^3 се наблюдават периодично. Станцията, обаче, е разположена далеч от местоположението на събитието (на повече от 10 km), позиционирана е зад сградата на Община Лесново, под високи дървета и се намира практически на пътя на интензивен трафик.

Снимките на мобилните станции, показани на Фиг. 6 са от следобедните часове на 26.07.2024 и са на автора на настоящата работа.



Фиг. 9. Времево поведение на атмосферното съдържание на ФПЧ на 26.07.2024 по данни от мобилната станция на МОСВ.

На Фиг. 9 са представени наличните измервания за PM10 от мобилната станция на МОСВ [14, 15]. Станцията е позиционирана сравнително подходящо, на по-малко от километър от събитието, отново на пътя гара Елин Пелин – Лесново, но с почти пряка видимост към мястото му.

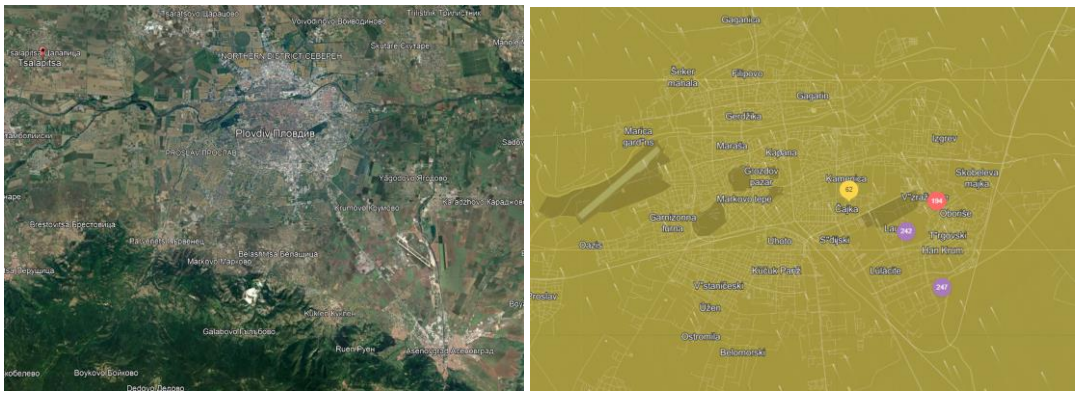
Данните от мобилната станция на Столична община след 16 часа на 27.07 от позицията на по-малко от 1 km от събитието, не показват превишаване на ПДН по нито един от измерваните показатели.

Четирите сензора на Senzor.Comuniti, които могат да отчетат влияние на събитието са тези в гара Елин Пелин, град Елин Пелин, Мусачево и Лесново. Данните от тях, обаче са среднодневни и максимални измерени стойности. Нито един от тях не показва отклонение от обичайните такива.

Замърсяването на въздуха в района на Пловдив поради пожар на сметището в Цалапица

В следобедните часове на 1.08.2024 възниква пожар на сметището край Цалапица. В сутрешните часове на 2.08 над град Пловдив е обгазен, издава се предупреждение за опасна концентрация на ФПЧ и препоръки за населението.

На Фиг. 10 е представен района на град Пловдив, местоположението на сметището, както и разположението на двете действащи в град Пловдив АИС [2], както и двата налични AQAir [9] датчика.



Фиг. 10. Район около Пловдив и разположение на АИС и IQAir датчиците

И двете АИС дават данни в реално време само за PM10, като АИС Каменица предоставя данни и за PM2.5, но не и в реално време.

На територията на град Пловдив се разположени 25 датчика за ФПЧ от типа Senzor.Comuniti, 4 датчика от същия тип има в Асеновград и множество такива работят в населените места непосредствено около Пловдив.

На Фиг. 11 и 12 е представена динамиката на замърсяването с ФПЧ – PM2.5 от двете IQAir станции



Фиг. 11. PM2.5 за периода 1-3.08.2024 по данни от Bittel



Фиг. 12. PM2.5 за периода 1-3.08.2024 по данни от EnterCRM

Както се вижда от двете фигури, максимални стойности се наблюдават преди обяд на 2.08.2024, като превишаването на ПДН продължава над 5 часа и в максималната си стойност е около 175 μg/m³ – седем пъти над нея.

На Фиг. 13 и 14 са представени данните за PM10 от двете АИС по данни от [2].



Фиг. 13. PM10 за периода 1-3.08.2024 по данни от АИС Каменица



Фиг. 14. PM10 за периода 1-3.08.2024 по данни от АИС Тракия

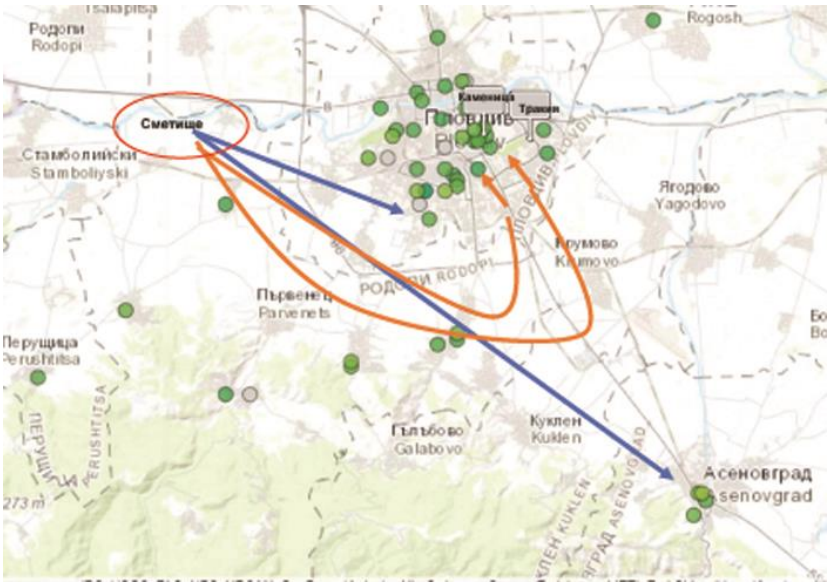
Най-интересно в случая е изобилието на данни от датчиците Senzor.Comuniti, т.к. те ни дават възможност да проследим и пространственото разпределение на замърсяването.

Наблюдава се следното:

– превишаването на ПДЧ е по-силно за PM2.5 отколкото за PM10
– по-силно е замърсяването в южните и югоизточни части на града. В северните то е няколко пъти по-слабо

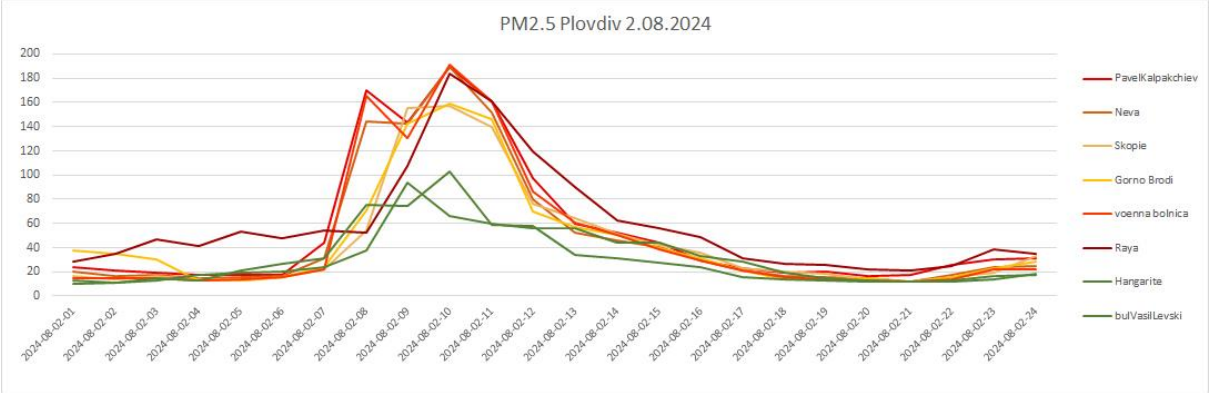
– силно превишаване на ПДН се наблюдава по една дъга от запад към юг, югоизток около града.
– Замърсяване, макар и слабо се наблюдава по същото време и в Асеновград.

На Фиг. 15 е представено схематично разположението на датчиците и предполагаемо движение на въздушните маси от сметището към територията на град Пловдив.



Фиг. 15. Схема на движението на ФПЧ

На Фиг. 16 е представено времевото поведение на PM2.5 по данни от [11] за няколко от датчиците на територията на град Пловдив.



Фиг. 16. Времево поведение на PM2.5 на 2.08.2024 в град Пловдив

В тъмно зелено са данните от два датчика в северната част на града. Останалите са разположени в южната, западната и централната част на града.

В югоизточната част, където се намират двата датчика от типа IQAir, няма действащи такива от тип Senzor.Comuniti.

Поведението на PM10 не е представено, т.к. в случая то е аналогично, като стойностите на PM10 в този случай са по-ниски от тези на PM2.5.

Дискусии

Интересното тук е, че данни за PM2.5 от двете АИС в Пловдив, от всички АИС в София и от някои други из страната могат да се получат от сайта на IQAir [9], като те са за един месец назад на дневна база, и за период от около 3 дни за средночасовите измервания. След изтичане на този период данните не се предоставят като архив.

На сайта на Senzor.Comuniti [11] единствените архивни данни са за PM2.5 и PM10 на дневна база и то като минимална и максимална измерени стойности и медиана.

В същото време данни за PM2.5 от изброените АИС не са налични в официалните страници [1, 2, 4]. Единствено налични, но със закъснение от повече от година са тези от АИС Каменица от [4].

По този начин, за бързо развиващите се процеси, каквото е едно инцидентно замърсяване, ако данните не се съберат навреме, те се губят и процесите не могат да бъдат изследвани.

Съвместното използване на данните от различни по тип измервателни прибори дава една по-пълна картина на динамиката и ареала на разпространение на дадено събитие. Сравняването на конкретните стойности, обаче, следва да се извършва много внимателно.

Заключение

В заключение можем да отбележим, следното:

- Официалните АИС в България са малко и дават данни основно за PM10 и то в големите населени места
- Наличната от други източници информация е основно за София и някои големи градове, но не е пълна и следва внимателно да се проверява при използване
- Мобилните измервателни станции са едно добро решение за случаи на извънредни ситуации, стига да пристигат навреме, да се позиционират правилно и да предоставят публични данни.

За да могат да се правят по-качествени анализи и да се изследват извънредни събития, следва да се работи по разширяването на мрежите от измервателни прибори, по-доброто предоставяне на данни от тях и по изграждането на единна система за събиране и по-пълно представяне на данни от различните налични източници.

Литература:

1. Столична община – Качество на атмосферния въздух - https://airmon.sofia.bg/
2. КАВ - https://www.eea.government.bg/kav/
3. Прегьова, Й., Димитрова, М.. Прахово замърсяване на територията на България по наземни данни. Proceedings SES 2023, Space Research and Technology Institute Bulgarian Academy of Sciences, 2023, ISSN:2603-3313, 174-178
4. European Air Quality Portal - https://discomap.eea.europa.eu/Map/UTDViewer/UTDViewer/
5. Данни от European Air Quality Portal - https://discomap.eea.europa.eu/map/fme/AirQualityExport.htm
6. Столична община, качество на атмосферния въздух - https://air2.sofia.bg/airpublic/air/data/forecasts/measures/list/
7. Качество на атмосферния въздух в община Бургас - http://87.126.141.158/burgas/
8. Purple air - https://www2.purpleair.com/
9. IQAir - https://www.iqair.com/
10. NASA – FIRMS- https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:24hrs;@26.0,42.4,8.2z
11. Citizen Science project sensor.community – https://sensor.community/en/
12. Данни за ФПЧ над България - https://aqicn.org/map/bulgaria/
13. МОСВ - https://www.moew.government.bg/
14. Информация от мобилната станция на МОСВ от 26.07.2024 - https://www.moew.government.bg/bg/v-12-chasa-dnes-stojnostite-za-kachestvoto-na-vuzduha-v-selo-gara-elin-pelin-se-normalizirat/
15. Информация от мобилната станция на МОСВ от 27.07.2024 - https://www.moew.government.bg/bg/dannite-ot-izmervaniyata-pokazvat-tendenciya-za-normalizirane-na-stojnostite-za-kachestvo-na-vuzduha-v-selo-gara-elin-pelin/
16. Информация от мобилната станция на МОСВ от 27.07.2024 - https://www.moew.government.bg/bg/kum-dneshna-data-pokazatelite-za-kachestvoto-na-vuzduha-v-selo-gara-elin-pelin-ne-nadvishavat-reglamentiranite-normi/

АНАЛИЗ НА ПРОСТРАНСТВЕНОТО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА ПРАХОВОТО ЗАМЪРСЯВАНЕ НАД СОФИЯ ПО ДАННИ ОТ АИС

Мария Димитрова

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

Ключови думи: *прахово замърсяване, PM1, PM2.5, PM10*

Резюме: *В работата са представени данни за пространственото разпределение на фини прахови частици PM2.5 и PM10 за периода 2020–2024 по данни от 289 любителски станции. Територията е разделена на осем области и е сравнена степента на замърсяване.*

Представени са първоначални данни за PM1 от 4 налични АИС в София. Сравнена е степента на замърсяване с фини прахови частици PM10 и PM2.5, както и сравнение на получените средни стойности за отделните избрани области с данните от наличните АИС.

ANALYSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF DUST POLLUTION OVER SOFIA FROM AIS DATA

Maria Dimitrova

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

Keywords: *dust pollution, PM1, PM2.5, PM10*

Abstract: *The work presents data about the spatial distribution of PM2.5 and PM10 fine dust particles for the period 2020–2024 based on data from 289 amateur stations. The territory is divided into eight areas and the degree of pollution is compared.*

Initial data for PM1 from 4 available AIS in Sofia are presented. The degree of pollution with PM10 and PM2.5 fine dust particles was compared, as well as a comparison of the obtained average values for the individual selected areas with the available AIS data.

Въведение

Финитe прахови частици (ФПЧ) са основният и най-масов замърсител на атмосферния въздух. Те са сериозен проблем за качеството на въздуха в град София и създават потенциален риск за здравето на експонираното на повишени нива на прах население. Самото наименование подсказва, че ФПЧ са съставени от твърди частици, малки водни капчици и допълнително адсорбирани на повърхността им други химически субстанции (органични съединения, метали, алергени под формата на фрагменти от полени, плесени, спори).

Здравните ефекти, зависят от размерите, от химическия състав и от участъка на дихателната система, до който достигат. Праховите аерозоли се образуват редица природни процеси (вулкани, бури, земетресения); разнообразни антропогенни дейности (добивна промишленост, строителство, горивни процеси, транспорт); като вторичен продукт от различни химически процеси, протичащи в атмосферата.

Частиците над 10 микрона в диаметър, достигат само до горните отдели на дихателната система, където се задържат и елиминират от ресничестия епител. Могат да провокират оплаквания предимно от дразнене на очите, носа и гърлото.

ФПЧ с размери между 10 и 2,5 микрона достигат до белите дробове. ФПЧ с размери под 2,5 микрона в диаметър, достигат до алвеолите, откъдето могат да попаднат в кръвообращението, а чрез него до всички органи и системи в организма.

Потенциалният риск за населението, експонирано на прахови аерозоли, варира в продължение на целия човешки живот. Рискът е по-висок през детството, поради покъсите дихателни пътища и намалява с окончателното развитие и съзряване на организма. С напредването на възрастта, рискът отново нараства поради действието на вече появили се хронични заболявания в зрялата възраст, особено тези, довели до нарушение на локалния имунитет.

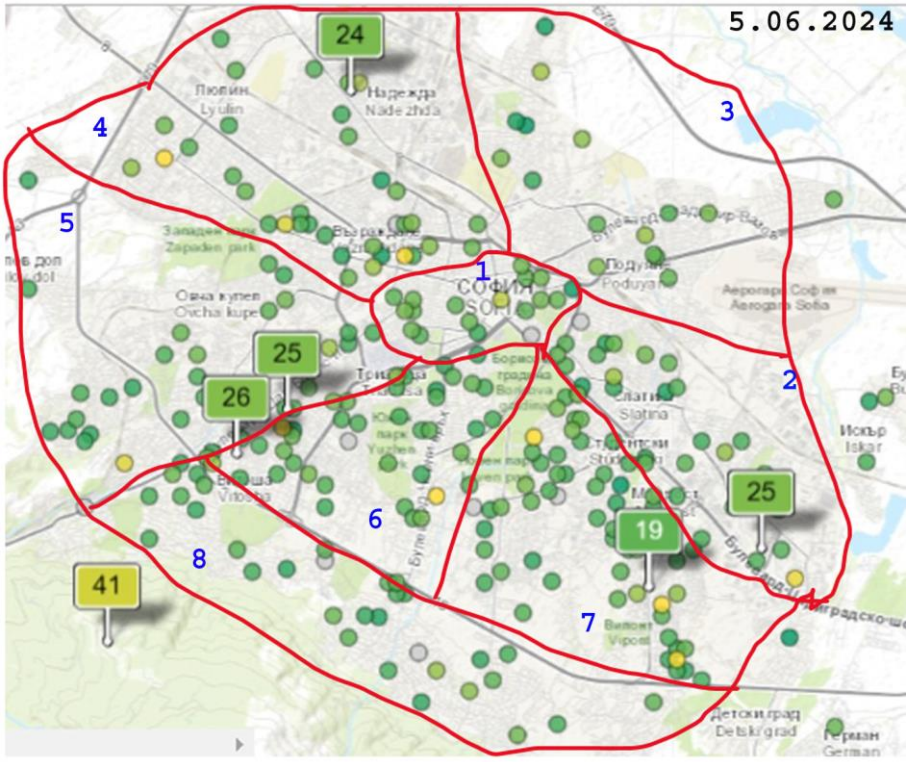
В зависимост от времето на експозиция, ФПЧ провокират разнообразни здравни ефекти както при здрави, така и при хронично болни. Продължителното влияние на ФПЧ с размери под 10 микрона, води до усложняване на съществуващи заболявания на респираторната или сърдечносъдовата системи. Най-често наднормени концентрации на ФПЧ в Столицата се наблюдават през студените месеци. Географското разположение на града – котловина, с недостатъчно добра вентилация, наличието на температурни инверсии, ползването на локални битови инсталации за отопление на твърдо гориво и повишен трафик в работните дни, създават условия за задържане на замърсителите в приземните слоеве [1].

На територията на град София са разположени множество сензори за мониторинг на ФПЧ PM2.5 и PM10, а в последно време и такива за измерване на PM1.

Цел на настоящата работа е да бъде изследвано териториалното разпределение на праховото замърсяване на град София по наземни данни.

Използвани данни и метод

За целта на настоящата работа са използвани данните от 289 наземни датчика за фини прахови частици PM2.5 и PM10 от типа Senzor.Comuniti [2, 3], които са разположени на територията на град София. На Фиг. 1 е показано териториалното разпределение на датчиците.



Фиг. 1. Разположение на датчиците за ФПЧ в гр. София

Територията на гр. София условно е разделена на 8 области, както е показано на Фиг.1.

За всяка една област са събрани данните от намиращите се в нея датчици. Данните от всеки датчик са филтрирани и усреднени за целия период, който за преобладаващото число е от декември 2019 до края на юни 2024.

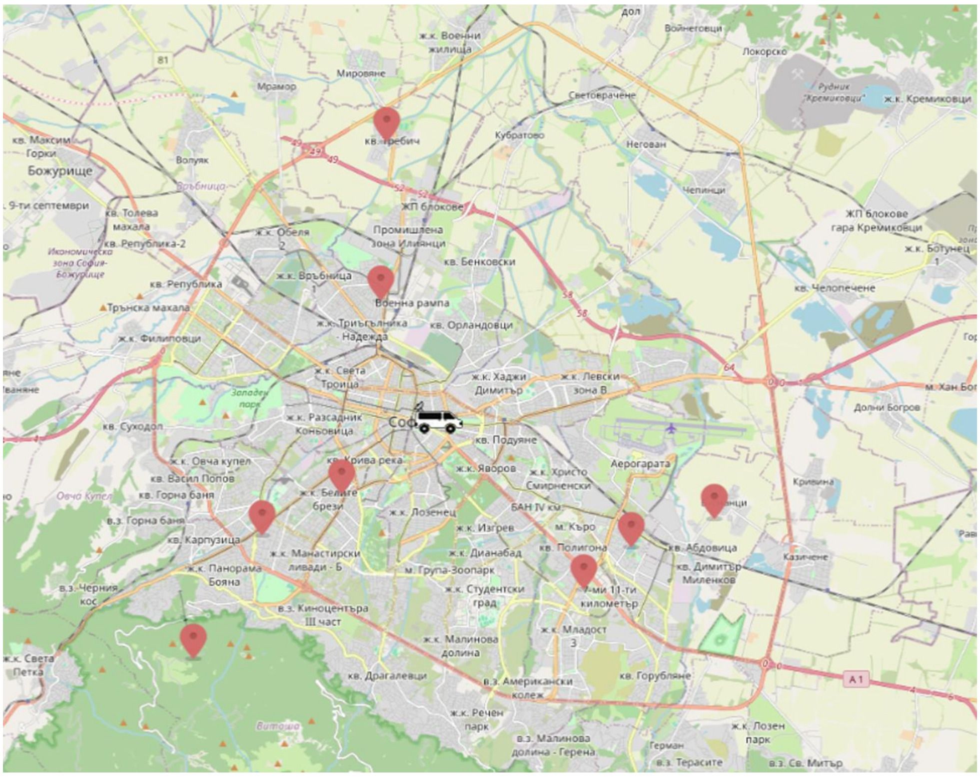
Под филтриране на данните имаме предвид следното. Използваните датчици са любителски и данните от тях се събират и предоставят за ползване автоматично, без

обработка, В някои редки случаи показват характерен дефект – нещо като препълване – стойности 999.9 за PM2.5 или 2555.9 за PM10. Тези стойности, заедно с нулевите измервания са премахнати.

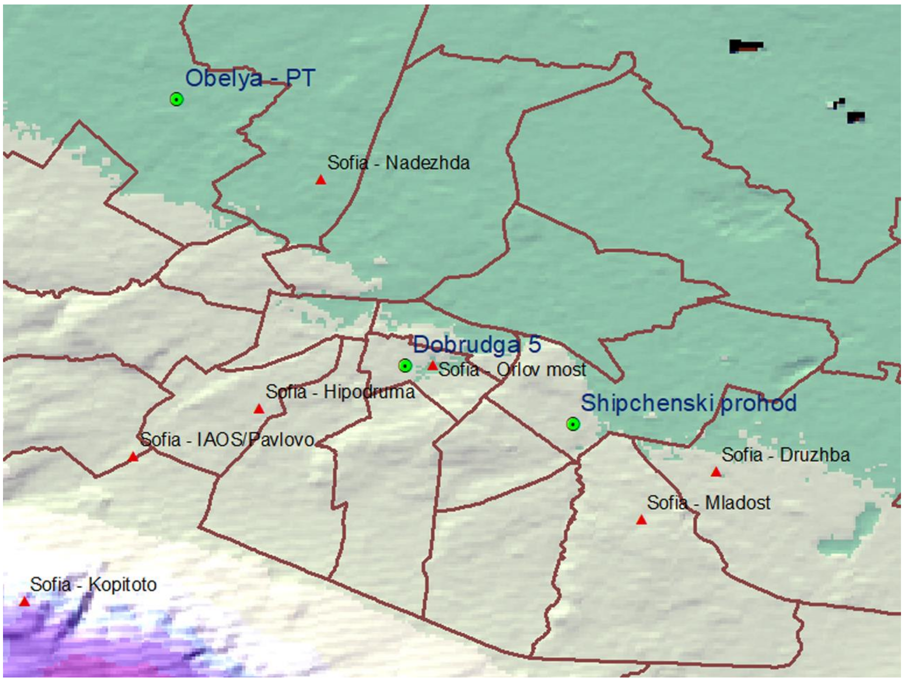
За сравнение са използвани данните от наличните на територията на гр. София АИС и мобилната станция на Столична община, чието местоположение е показано на Фиг. 2 [4]

Данните от мобилната станция могат да бъдат използвани, т.к. тя през по-голямата част от периода се намира в стационарно положение на адрес ул. Париж 5. Използвани са само измерванията от това местоположение на мобилната станция.

Данните от АИС в София са усреднени за същия период – декември 2019 – юни 2024 година.



Фиг. 2. Местоположение на АИС – град София



Фиг. 3. Местоположение на IQAir датчиците в град София

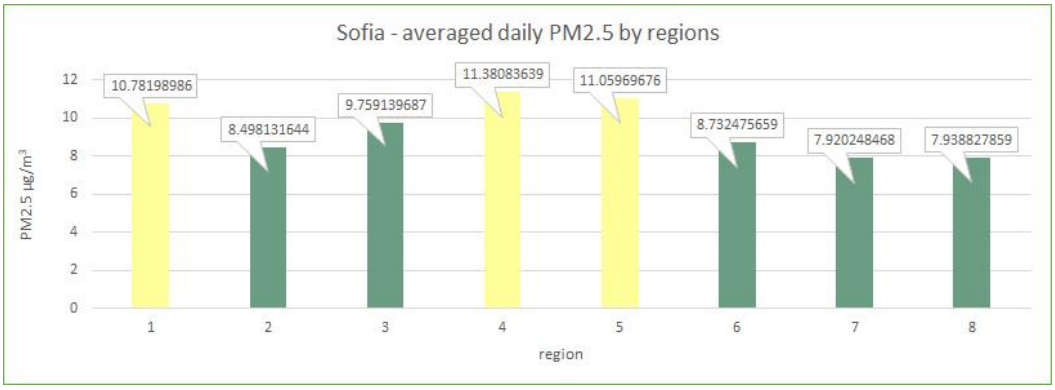
От началото на 2024 година на територията на град София по проект с ФНИ [5] са разположени и въведени в експлоатация три датчика от тип IQAir [6], които дават данни освен за PM2.5 и 10, още и за PM1.

На Фиг. 3 е показано местоположението на тези 3 датчика.

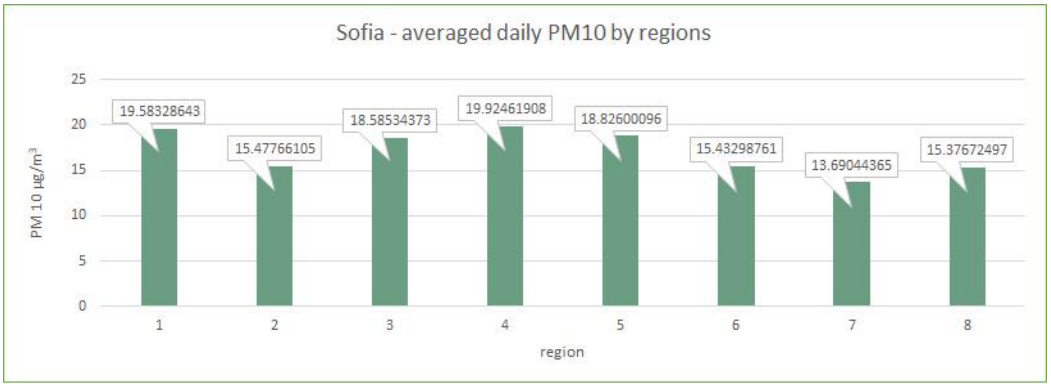
Данните от тези датчици са за много кратък период и са представени тук само като предварителен резултат.

Резултати

На Фиг. 4 и 5 са представени съответно средните дневни стойности на PM2.5 и PM10

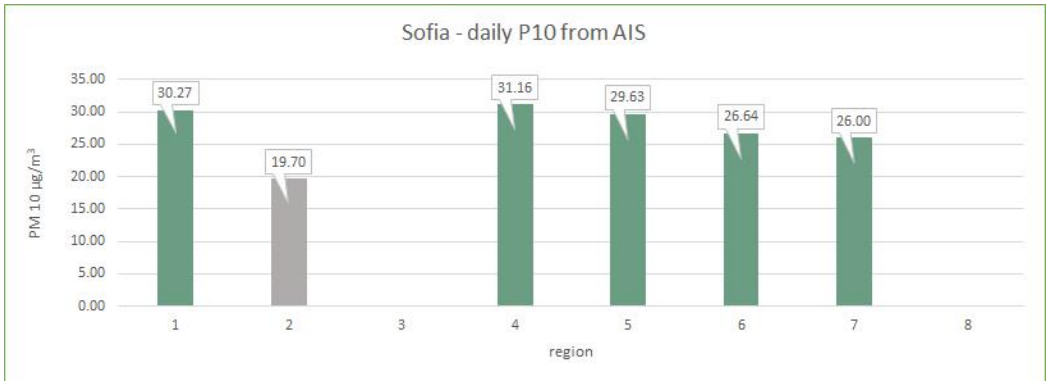


Фиг. 4. Усреднени дневни стойности на PM2.5 по области



Фиг. 5. Усреднени дневни стойности на PM10 по области

За сравнение на Фиг. 6 са представени средните стойности на PM10 по данни от АИС и мобилната станция на столична община.



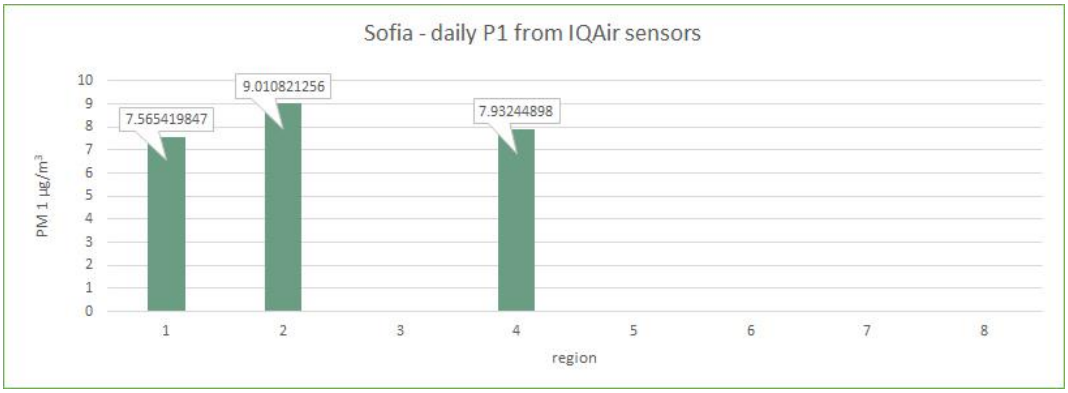
Фиг. 6. Усреднени дневни стойности на PM10 по данни от АИС и мобилната станция на Столична община

Измерените стойности са представени за съответния район, в който е разположена съответната АИС. Данните от АИС Дружба – район 2 не са представителни, т.к. има много липсващи такива за избрания период.

Както се вижда от горните 3 фигури, най-ниски стойности на ФПЧ има в район 7 който обхваща най-общо Младост, Мусагеница, Изток и Студентски град. Максимални стойности се наблюдават в западните части на града и централната градска част.

Предварителни резултати за PM1

На Фиг. 7 са представени усредните дневни стойности на PM1 по данни от 3те IQAir датчика



Фиг. 7. Усреднени дневни стойности на PM1 по данни от IQAir датчиците в София

На територията на град София е разположен и един датчик от тип Purple air [7], който е разположен на адрес ул. Елемаг 32 – 7-ми район според избраните за целта на настоящата работа. Данни от него има от края на май 2022 година. Получената усреднена стойност за PM1 по данни от него е 16.65 µg/m^3, което е много по-високо от представените на фиг. 7 стойности.

Изводи и дискусии

В настоящата работа е установено че западните квартали на София са по-силно запрашени от източните и южните такива. Направеното териториално разделяне тук е от съображения за налична инфраструктура – големи пътни артерии и др., естествено разделяне по квартали, релеф и др. То може да бъде прецизирано при наличие на други меродавни съображения.

Направено е усредняване за целия период края на 2019 – средата на 2024 година. В бъдеще е целесъобразно да бъде разгледано времево – по години и сезонно – по месеци.

Макар и любителски, използваните сензори са от един и същ тип. По този начин, дори самите стойности на параметрите PM2.5 и PM10 да могат да бъдат оспорени, сравнителните регионални тенденции не подлежат на съмнение.

Стойностите на PM10 от АИС са около 1.5 пъти по-високи от тези на използваните датчици. Това сравнение не е много точно, т.к се сравнява по 1 АИС за някои от районите със средна стойност от измерване на 30 до 60 такива. Освен това, данните от АИС са среднодневни, докато при другите е използване медиана, т.к. предоставяните данни съдържат единствено минимална и максимална за деня стойност, медиана и общо количество за 24-те часа на денонощието.

Литература:

1. РЗИ – София - https://srzi.bg/uploads/pages/Zdravosloven_kontrol/3.Faktori_na_jiznenata_sreda/1.Atmosferen_vyzduh/prahovi_chastici.pdf
2. Citizen Science project sensor.community – https://sensor.community/en/
3. Данни за ФПЧ - https://aqicn.org/map/bulgaria/
4. Столична община - Данни за качеството на атмосферния въздух - https://air2.sofia.bg/airpublic/air/data/forecasts/measures/list/
5. Filchev, L., Dimitrova, M., Trenchev, P., Jelev, G., Chanev, M., Cahyadi, M.. Preliminary Results from Smart Integrated Devices for Telemedicine to Combat COVID-19 Toward New Resilience City - Smart4COV19/Telemedicine Project. Proceedings of 3rd National Workshop with international participation under the EU Copernicus programme, Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences (SRTI-BAS), 2023, ISBN:978-619-7490-16-9, DOI:https://doi.org/10.5281/zenodo.10439070, 56-63
6. IQAir - https://www.iqair.com/
7. Purple air - https://www2.purpleair.com/

АНАЛИЗ НА ДАННИ ЗА КРИЗИТЕ С ХИДРОЛОЖКИ, ГЕОЛОЖКИ И АТМОСФЕРЕН ПРОИЗХОД НА ТЕРИТОРИЯТА НА БЪЛГАРИЯ ЗА ПЕРИОДА 2010–2020 Г.

Ралица Берберова, Биляна Костова

Нов български университет, Департамент „Природни науки”
e-mail: rberberova@nbu.bg

Ключови думи: *статистически данни, кризи, природни бедствия, България*

Резюме: *Представени са резултати от проучване и анализ на официални статистически данни за настъпили кризи с хидроложки, геоложки и атмосферен произход на територията на България за периода от 2010 до 2020 г. по области. Резултатите показват, че кризите, причинени от природни бедствия, заемат трето място. Хидроложките събития, представени от наводненията, заемат най-голям процент от кризите с естествен произход, следвани от атмосферните и геоложките опасности. Установено е, че част от наводненията, породили кризи, са с антропогенен произход, поради което резултатите трябва да се приемат с определени условности.*

DATA ANALYSIS OF HIDROLOGICAL, GEOLOGICAL AND ATMOSPHERIC CRISES ON THE TERRITORY OF BULGARIA FOR THE PERIOD FROM 2010 TO 2020

Ralitza Berberova, Bilyana Kostova

New Bulgarian University, Department of Natural Sciences
e-mail: rberberova@nbu.bg

Keywords: *statistical data, crises, natural disasters, Bulgaria*

Abstract: *The analysis of official statistical data for hidrological, geological and atmospheric crises on the territory of Bulgaria for the period from 2010 to 2020 broken down by area is presented. The results show that the crises caused by natural disasters take third place. Hydrological events, represented by floods, are the largest percentage of natural crises, followed by atmospheric and geological hazards. It has been established that part of the floods that have caused crises are of anthropogenic origin, therefore the results have to be accepted with certain conditions.*

Въведение

Кризи, причинени от проявата на естествени хидроложки, геоложки и атмосферни процеси и явления, или комбинация от такива, се случват всяка година в страната ни. Мястото, времето и степента на тяхната проява предопределят дали ще има и в какъв размер биха били последиците от тях. Сред кризите, които най-често засягат България са тези, причинени от наводнения, свлачища, вятърни бури [1–8].

Изучаването и мониторингът на природните бедствия и причинените от тях кризи са важни по отношение на превенцията от тях. Една от мониторинговите дейности е тяхната регистрация [9–11].

Организациите, които се занимават с регистрация, изучаване, проследяване, превенция, реакция и други дейности, свързани с природните бедствия, са много – това са научни институти и университети, държавни, областни и общински администрации, неправителствени организации. Една от държавните институции е Националният статистически институт (НСИ), който всяка година публикува данни за настъпили кризи в страната и

последиците от тях, вкл. за тези по причина на естествени процеси и явления. Данните се публикуват от НСИ, Секция „Регионална статистика и показатели за мониторинг“, подсекция „Кризисни събития” [12].

Целта на настоящата работа е да се анализират официални данни за настъпили кризи с хидроложки, геоложки и атмосферен произход по области в страната за периода от 2010 до 2020 г.

Обект и метод

Обект на проучване са данни за настъпили кризи, причинени от природни процеси и явления в България за периода 2010–2020 г., официално публикувани от НСИ [12].

Данните са извлечени, допълнително систематизирани и обобщени, както следва:

1. Кризите, според причината за тяхната проява, са отнесени в следните основни групи:
- *Природни бедствия* – тук са отнесени свлачища; земетресения; наводнения; бури, торнадо, смерч, вихрушка; градушки; снежни бури, снегонавявания; заледявания, измръзвания; засушавания;
- *Пожари* – от всякакъв произход;
- *Аварии и катастрофи* – аварии, катастрофи с превозни средства;
- *Замърсявания* – химически замърсявания, с битови и опасни отпадъци и др.;
- *Други кризи с природен и антропогенен произход* – в тази група са включени кризи по причини, различни от посочените до момента, вкл. епидемии по хора и животни, каламитет.

2. Кризите, причинени от проявата на природни процеси и явления, са отнесени в три класификационни групи:
- *Хидроложки* – представени са единствено от наводненията;
- *Геоложки* – тук са отнесени свлачища и земетресения;
- *Атмосферни* – бури, торнадо, смерч, вихрушка, градушки, снежни бури, заледявания, засушавания.

Въпреки допълнителното систематизиране на кризите, възникват следните ограничения при работата с данните:
- не могат да бъдат разграничени възникналите и разпространили се по естествен път, например пожари и епидемии по хора и животни, причинили кризисна ситуация в даден район;
- не може да се проследи дали проявата на конкретен процес или явление провокира една или повече кризисни ситуации. Трябва да се има предвид, че едно природно бедствие може да засегне няколко общини, което да доведе до повече от една регистрирана криза;
- не могат да бъдат проследени напълно връзките между отделни кризи с природен произход.

Резултати и дискусия

Съгласно официално публикуваните данни общият брой на кризите, които са настъпили в страната в периода 2010–2020 г., е 43634. От тях кризите, причинени от проявата на природни процеси и явления, определящи ги като природни бедствия, са 14,39 % или това са 6278 такива кризисни събития (Фиг. 1). Процентът на кризите, настъпили следствие на природни бедствия, дори е по-висок, тъй като към тях трябва да се вземат предвид и част от кризите, причинени от пожари, както и част от тези, отнесени в групата на други събития с природен и антропогенен произход, тъй като част от тях, може да са изцяло по естествени причини.

Относителният дял на кризите, групирани по причина на проявата, е представен на Фиг. 1. Установено е, че природните бедствия са на трето място като причина за появата на кризи в България след авариите и катастрофите, които заемат 45,31 % и пожарите, които са 39,54 %. Едва 0,77 % от кризите в разглеждания период се дължат на замърсявания и други причини.

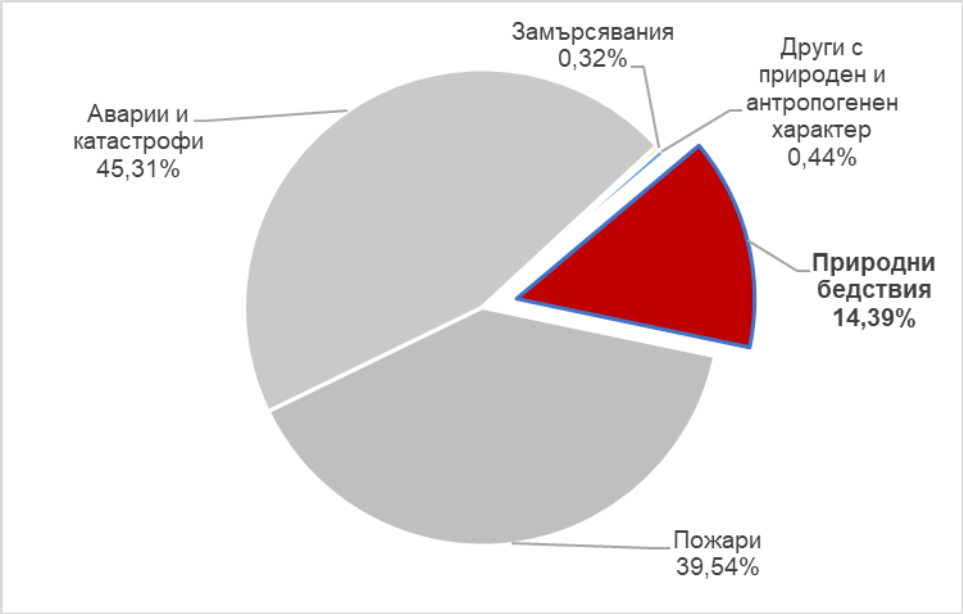
На Фиг. 2 са представени обобщени резултати за относителния дял на кризите, причинени от геоложки, хидроложки и атмосферни процеси и явления.

Броят на кризите с хидроложки произход е 3533 (56,28 %), което ги поставя на първо място сред причините за появата на криза следствие на природно бедствие. Наводненията са единственото явление, което е включено в тази група. Сред причините за тяхната поява допринасят както екстремални атмосферни процеси и явления като интензивни и

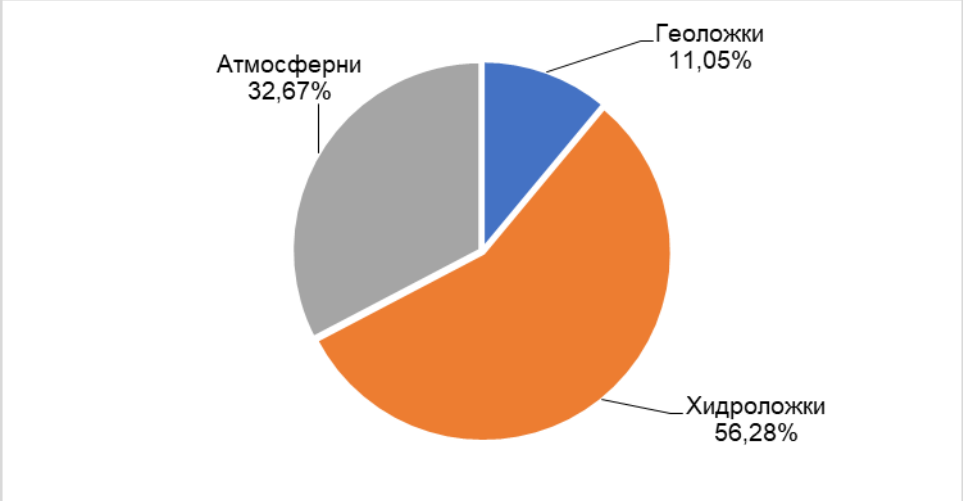
продължителни валежи, снеготопене и др., така и това, че България има гъста речна мрежа, голям брой язовири, микроязовири, обезлесяване на терени и др. [13, 14].

Следват кризите, причинени от екстремални атмосферни процеси и явления – 2051 броя или 32,67 %.

Броят на кризите с геоложки произход е най-малък – 694, или 11,05 %, но те не трябва да бъдат подценявани, тъй като страната заема територия с висока сеизмична, свлачищна и срутищна активност, която е особено повишена в определени зони [19–27].



Фиг. 1. Относителен дял на кризите по причина за появата им за периода 2010–2020 г.



Фиг. 2. Относителен дял на кризите от природни бедствия по класификационна група за периода 2010–2020 г.

На Фиг. 3, 4 и 5 са представени резултатите от обобщението на кризите с природен характер, разпределени по вид на хидроложки и геоложки процеси и явления – наводнения, свлачища и земетресения, и по области. За атмосферните кризи няма данни, тъй като подобна информация по години и по области не се публикува от НСИ.

Фиг. 3 показва, че в разглеждания период няма област в България, която да не е била засегната от поява на криза вследствие на наводнение. За разглеждания период най-голям брой такива кризи се отчитат в област Сливен – 928 бр., следвани от област Смолян (612 бр.) и Бургас (362 бр.). Другите области с настъпили над 100 бр. кризи са Варна (158), Кърджали (157 бр.), Стара Загора (147 бр.), Велико Търново (147 бр.), София (124 бр.) и Плевен (102 бр.).

Съгласно актуалните Планове за управление на риска от наводнения [14], и по конкретно в Предварителните оценки на риска от наводнения по район на басейново

управление (РБУ) тези области попадат изцяло или в по-голямата си част в обхвата на три РБУ – Източнобеломорски (областите Сливен, Стара Загора, Смолян и Кърджали) [15], Черноморски (областите Бургас, Варна) [16] и Дунавски (областите Велико Търново, София и Плевен) [17].

В разработените предварителни оценки се представят данни за регистрирани наводнения в периода 2011–2019 г. по РБУ – период, съвпадащ в много голяма степен с разглежданите данни от НСИ за кризи. В тях се посочват също така причините за настъпилите наводнения. От тях се вижда, че с най-голям относителен дял за трите РБУ са били наводненията от дъждовен тип, следвани от речните наводнения, или комбинация – дъждовно-речен тип, и в много по-малка степен друг тип наводнения. Основните причини за наводненията са естествено преливане на река, подприщване или намаляване на проводимостта, преливане на защитни съоръжения, повреда в инфраструктурни съоръжения и др.

Сред областите, които попадат в обхвата на Западнобеломорски район няма такива с настъпили повече от 100 броя кризи за периода 2010–2020 г. За разлика от другите три РБУ при този се отчитат най-голям брой настъпили наводнения от речен тип, следвани от тези от дъждовен тип и/или дъждовно-речен [18].

Според тези данни най-вероятните причини за появата на кризите в разглежданите области за периода 2010–2020 г. са именно от тези типове наводнения и по посочените причини, т.е. при част от наводненията трябва да се вземе предвид антропогенния фактор. Важно е да се обърне внимание и на факта, че едно настъпило наводнение може да доведе до появата на повече от една регистрирана криза, както и че може да има наводнение, при което да не се появяват и/или отчитат кризи, ако не са засегнати хора и то не е довело до материални щети.



Фиг. 3. Брой и разпределение по области на кризите, причинени от наводнения за периода 2010–2020 г.



Фиг. 4. Брой и разпределение по области на кризите, причинени от свлачища за периода 2010–2020 г.



Фиг. 5. Брой и разпределение по области на кризите, причинени от земетресения за периода 2010–2020 г.

Обобщените данни за настъпили кризи от свлачища на територията на отделните области в страната ни са представени на Фиг. 4. От тях не става ясно дали тези кризи са причинени единствено от свлачищни процеси или част от тях са вследствие на срутища. Областта с най-голям брой кризи (над 100) е Кърджали – 162 бр., следвана от Смолян (91 бр.) Тези две области съвпадат напълно с определените райони за срутищна и свлачищна опасност в България и попадат в срутищно-свлачищен район Източни Родопи [19–27]. Областите, в които няма отчетени кризи за периода са Разград, Силистра, Стара Загора и Ямбол.

Фиг. 5 показва, че по отношение на кризите, настъпили след земетресение, на водещи позиции са областите Перник (9 бр.), Пазарджик (7 бр.), Варна и Сливен – по 6 броя. Тези области попадат в райони с активни разломи и различна степен на сеизмична опасност, която варира от 7 до 9 степен по MSK-64 [19–21].

Заключение

Резултатите от обобщението и анализа на данните за възникнали кризи от хидроложки, геоложки и атмосферни процеси и явления в България за периода от 2010 до 2020 г. показват, че:

- Според статистическите данни природните процеси и явления заемат трето място като причина за появата на кризи в страната;
- Данните сочат, че най-голям дял от природните кризи заемат наводненията, но е установено, че част от тях са предизвикани от антропогенни причини, поради което този резултат трябва да се приеме с условности;
- Кризите с геоложки произход заемат най-малък дял, но не трябва да се подценяват, тъй като страната ни попада в сеизмичен район и има зони със срутищна и свлачищна активност. Областите с най-голям брой такива кризи попадат в райони с активни разломи и степен на сеизмична опасност над 7 по MSK и съответно в райони със свлачищна и срутищна активност;
- Непубликуването на данни за кризи, причинени от екстремални атмосферни процеси и явления по вид и област ограничава възможността за тяхното проследяване и анализ;
- Липсата на пълни данни по вид и по област ограничава търсенето на взаимовръзки между отделни кризисни събития.

Благодарности

Настоящата работа е осъществена в Лаборатория по природни бедствия и рискове и Лаборатория по геология към Бакалавърски факултет на Нов български университет.

Литература:

1. Берберова, Р. 2012. Уязвимост на България от природни бедствия, Сборник с доклади Научна конференция с международно участие “Космос, екология, нанотехнологии, сигурност” SENS’2011. БАН. 276-282. ISSN 1313–3888.
2. Берберова, Р. 2012. Природни бедствия в България – състояние и тенденции. НБУ. 147 с. ISBN 978-954-535-699-5.
3. Берберова, Р. 2014. Анализ на статистически данни за наводнения в Р България. Сборник с доклади от IX научна конференция с международно участие SES’2013. 424-428. ISSN 1313–3888.
4. Берберова, Р. 2018. Обзор на възникнали кризисни събития от природни бедствия в България за периода 2004–2016 г. Сборник с доклади от XIV Международна научна конференция SES’2018. ИКИТ-БАН. 375–378. ISSN 2603–3321, ISSN 2603-3321 (online) – *НАЦИД*
5. Берберова, Р. 2018. Природни бедствия в България - кризисни събития за периода 2010–2018 г. Годишник на департамент „Природни науки“. НБУ. 82–87. ISSN 2367-6302 (online)
6. Берберова, Р. 2021. Интерпретация на статистически данни за кризи от природен характер на територията на България за десетгодишен период. Сборник с доклади от XVII Международна научна конференция SES’2021. ИКИТ-БАН. 317–321. ISSN 2603-3321 (online)
7. Берберова, Р., Б. Костова. 2019. Свлачищни кризисни събития на територията на Р. България за периода 2010-2017 г. Сборник с доклади от XV Международна научна конференция SES’2019. ИКИТ-БАН. 227–231. ISSN 2603-3321 (online)
8. Берберова, Р., Р. Гюров, Б. Костова. 2017. Интерпретация на статистически данни за наводнения и свлачища в България. Сборник с доклади от XII научна конференция с международно участие SES’2016. ИКИТ-БАН. 335–339. ISSN 1313–3888.
9. Мардиросян, Г., 2024. Природни бедствия и екологични катастрофи – изучаване, превенция, защита. София: Академично изд. „Проф. М. Дринов”. ISBN 978-619-245-013-7
10. Мардиросян, Г., Б. Рангелов, А. Близнаков, 2011. Природни бедствия – възникване, последици, защита. София: АВИТ КОНСУЛТ. ISBN 978-954-92214-2-8
11. Гецов, П., 2014. Национална аерокосмическа система за мониторинг и защита от природните екокатастрофи. София: Акад. изд. „Проф. Марин Дринов”
12. Национален статистически институт, Подсекция: Кризисни събития: https://www.nsi.bg/bg/content/2891/%D0%BA%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%81%D0%BD%D0%B8-%D1%81%D1%8A%D0%B1%D0%B8%D1%82%D0%B8%D1%8F
13. Министерство на околната среда и водите, Планове за управление на риска от наводнения 2016–2021, https://www.moew.government.bg/bg/vodi/planove-za-upravlenie/planove-za-upravlenie-na-riska-ot-navodneniya-purn/planove-za-upravlenie-na-riska-ot-navodneniya-2022-2027vmchvch/
14. Министерство на околната среда и водите, Планове за управление на риска от наводнения 2022–2027, https://www.moew.government.bg/bg/vodi/planove-za-upravlenie/planove-za-upravlenie-na-riska-ot-navodneniya-purn/planove-za-upravlenie-na-riska-ot-navodneniya-2022-2027/
15. Министерство на околната среда и водите, Предварителна оценка на риска от наводнения в Източнобеломорски район за басейново управление 2022–2027: https://earbd.bg/indexdetails.php?menu_id=809
16. Министерство на околната среда и водите, Предварителна оценка на риска от наводнения в Черноморски район за басейново управление 2022–2027: https://www.bsbd.bg/404.php/index_bg_965885.html?URI=
17. Министерство на околната среда и водите, Предварителна оценка на риска от наводнения в Дунавски район за басейново управление 2022–2027: https://www.bd-dunav.bg/content/upravlenie-na-vodite/plan-za-upravlenie-na-riska-ot-navodneniia-2022-2027/predvaritelna-ocenka-na-riska-ot-navodneniia-v-dunavski-rayon/
18. Министерство на околната среда и водите, Предварителна оценка на риска от наводнения в Западнобеломорски район за басейново управление 2022–2027: https://wabd.bg/content/%d0%bf%d0%be%d1%80%d0%bd-2022-2027/
19. Геоложката опасност в България, карта в М 1:500 000
20. Илиев-Бручев, Ил. (Ред.). 1994. Геоложката опасност в България. Обяснителен текст към карта в М 1:500 000. Изд. на БАН.
21. Бручев, Ил., Е. Ботев, Св. Симеонов, Д. Димитров, Г. Алексиев. 2003. Превантивни мерки срещу земетресенията и свлачищата в България – състояние и перспективи. В: Ил. Бручев и др. (Ред.), Сб. Доклади на Национална научно-практическа конференция „Превантивни дейности за ограничаване и намаляване на последствията от земетресения и свлачища“, ПКЗНБАК, МРРБ, 13–33.
22. Министерство на регионалното развитие и благоустройството, Регистър свлачищата в България, http://geozashtita.bg/
23. Геозащита Перник, http://gz-pernik.mrrb.government.bg/map/
24. Геозащита Варна, http://gz-varna.mrrb.government.bg/map2/
25. Геозащита Плевен, http://gz-pleven.mrrb.government.bg/map2/
26. Национална програма за превенция и ограничаване на свлачищата на територията на Република България, ерозията и абразията по Дунавското и Черноморското крайбрежие 2015–2020 г.
27. Национална програма за превенция и ограничаване на свлачищата на територията на Република България, ерозията и абразията по Дунавското и Черноморското крайбрежие 2022–2027 г.

FORESIGHT FOR GRADUATE PROFESSIONALS IN DISASTER MANAGEMENT

Dimo Zafirov[1], Georgi Georgiev[2]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]Georgiev-consulting GmbH
e-mail: dimozafirov50@gmail.com; Georgi@georgiev-consulting.de

Keywords: *Disasters, accidents, digital modules, specialists with higher education*

Abstract: *This paper provides a precise analysis of typical disaster types in Bulgaria, categorized by internationally recognized classifications, supplemented with statistical information. It delves into existing systems, plans, and strategies for disaster management and response in the country, proposing targeted education and training activities to enhance disaster preparedness, particularly focusing on higher education and lifelong learning. Furthermore, the paper explores the potential for digitalization to revolutionize disaster management practices in Bulgaria.*

Introduction

Bulgaria's susceptibility to various natural and man-made disasters necessitates a thorough understanding of these phenomena for effective disaster management and response.

Disaster Types in Bulgaria: Bulgaria experiences the following typical disaster types:

- ***Natural Disasters:***
  - Floods: Approximately 80 % of Bulgaria's territory is prone to flooding, with an average annual loss estimated at €100 million.
  - Earthquakes: Bulgaria experiences moderate seismic activity, with historical earthquakes causing significant damage, including the 1977 Vrancea earthquake, which resulted in 120 casualties and extensive infrastructure damage.
  - Wildfires: Forest fires are prevalent, particularly during dry and hot summers. In 2020, wildfires affected over 10,000 hectares of land, causing ecological and economic losses.
  - Extreme Weather Events: Bulgaria faces extreme weather events such as storms, hailstorms, and heatwaves, impacting agriculture, infrastructure, and public health.

- ***Man-made Disasters:***
  - Industrial Accidents: Bulgaria's industrial sector poses risks of accidents, such as chemical spills and explosions. Notable incidents include the 2012 explosion at a munitions depot near Sofia, resulting in fatalities and extensive property damage.
  - Transportation Incidents: Road accidents, train derailments, and aviation incidents contribute to man-made disasters in Bulgaria, with fatalities and economic losses.

Foresight method

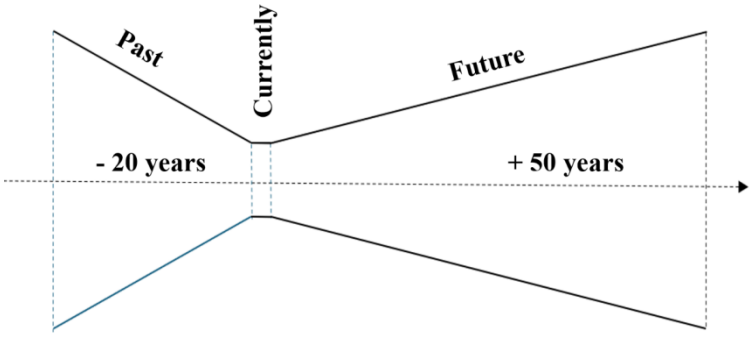


Fig. 1. Foresight method

Past

Systems, Plans, and Strategies for Disaster Management: Bulgaria has established comprehensive systems, plans, and strategies for disaster management and response, including:

- National Disaster Management System: Coordinated by the Ministry of Interior, involving governmental agencies, emergency services, and stakeholders.
- Disaster Preparedness and Response Plans: Developed at national, regional, and local levels, addressing specific disaster scenarios.
- Early Warning Systems: Utilizing meteorological, hydrological, and seismic monitoring networks to provide timely alerts.
- Search and Rescue Operations: Coordinated efforts involving emergency services, military units, and volunteers.
- Public Awareness and Education Programs: Aimed at raising awareness, promoting preparedness, and building community resilience.

Systems, Plans, and Strategies for Disaster Management: Bulgaria has established comprehensive systems, plans, and strategies for disaster management and response, including:

- National Disaster Management System: Coordinated by the Ministry of Interior, involving governmental agencies, emergency services, and stakeholders.
- Disaster Preparedness and Response Plans: Developed at national, regional, and local levels, addressing specific disaster scenarios.
- Early Warning Systems: Utilizing meteorological, hydrological, and seismic monitoring networks to provide timely alerts.
- Search and Rescue Operations: Coordinated efforts involving emergency services, military units, and volunteers.
- Public Awareness and Education Programs: Aimed at raising awareness, promoting preparedness, and building community resilience.

Currently

Normative basis for disasters in Bulgaria

Education and Training Activities for Disaster Preparedness: To significantly increase disaster preparedness in Bulgaria, targeted education and training activities are essential, including:

- Higher Education Programs: Integrating disaster management courses into university curricula, offering degrees in emergency management, risk assessment, and resilience planning.
- Professional Development Workshops: Providing training for government officials, emergency responders, and community leaders on disaster response protocols, crisis communication, and incident command systems.
- Public Awareness Campaigns: Launching public education campaigns on disaster preparedness, evacuation procedures, and emergency kit assembly.
- Simulation Exercises: Conducting tabletop exercises, drills, and full-scale simulations to test response plans, identify gaps, and enhance coordination among stakeholders.
- Community-Based Training: Engaging local communities through workshops, seminars, and training sessions on first aid, CPR, and community emergency response team (CERT) training.

Future

Desired state

Mobility
Disaster Resilient Housing
Critical infrastructure
Ecology

"Horizon scanning" for emerging technologies

Horizon Scanning has an important role in forward-looking, prospective, or anticipatory activities: it serves to explore futures, “emerging issues,” and signals of all kinds, and to evaluate the importance of “things to come.” During the last few years, different “Models of Horizon Scanning” have been developed through testing new methodological combinations and establishing specific “Horizon Scanning” institutions. Horizon Scanning (HS) approaches mainly serve to enhance resilient policy-making, address policy makers needs and concerns regarding new issues, to identify business opportunities by anticipating consumer and societal needs or to prepare society for less expected or rapid changes. The definition of Horizon Scanning used by the European Commission in the project on Horizon Scanning is the following:

Horizon Scanning is the systematic outlook to detect early signs of potentially important developments. These can be weak (or early) signals, trends, wild cards or other developments, persistent problems, risks and threats, including matters at the margins of current thinking that challenge past assumptions. Horizon Scanning can be completely explorative and open or be a limited search for information in a specific field based on the objectives of the respective projects or tasks. It seeks to determine what is constant, what may change, and what is constantly changing in the time horizon under analysis. A set of criteria is used in the searching and/ or filtering process. The time horizon can be short-, medium- or long-term.

Delphi прогнози

Horizon Scanning is a large part of the *Strategic Intelligence* phase of the strategy process described in the different briefs of EFFLA.

Key Trends

1. **Autonomy and Artificial Intelligence (AI)**
   - Development of autonomous drones capable of yes carry out missions without human intervention.
   - Using AI to improving navigation, object recognition and real- ime decision - making time.
2. **Integration with IoT (Internet of Things)**
   - Connecting drones to IoT devices for real-time data collection and analysis time.
   - Improving communication between the drones and others intelligent systems.
3. **Regulatory framework and security**
   - Developing new ones laws and regulations for air control space.
   - Improvement measures for cyber security for protect the drones from hacking attacks
4. **New ones Materials and Batteries**
   - Using light and strong materials for increasing time for flight and payload.
   - Developing new ones batteries and technology for charging for increasing autonomy.
5. **Multispectral and Hyperspectral Cameras**
   - Introduction of advanced cameras for more precise monitoring and data analysis.
   - Applications in the countryside economy, ecology and infrastructure monitoring.

Applications

1. **Military**
   - Intelligence missions and enemy monitoring territories.
   - Dotted striking and delivering materials to the battlefield field.
2. **Rural Farming**
   - Crop monitoring and precision agriculture.
   - Spraying pesticides and fertilizers.
3. **Transport and Logistics**
   - Delivery of small packages and goods to hard to reach places.
   - Using drones for inventory in warehouses.
4. **Medicine**
   - Delivery of medicines and medical equipment to distant regions.
   - Using drones for quickly organ transport for transplantation.
5. **Rescue Missions**
   - Search and rescue of people in disasters.
   - Rescue delivery materials and communication devices.

Challenges

1. **Regulations and Legislation**
   - Creation of unified international standards for control of drones.
   - Conflict resolution between the right to personal life and the use of drones.
2. **Security**
   - Protecting drones from cyber attacks and unauthorized access .
   - Systems development for detection and neutralization of hostile drones.
3. **Technically Restrictions**
   - Increasing time for flight and payload .
   - Improving the reliability and accuracy of navigation systems .

4. **Publicly Perception**
    - Overcoming public concerns regarding safety and privacy.
    - Increasing public awareness and confidence to the technologies for BLS through transparency and education.

Work Group
Expert Groups
Updates;
Expected schedule;
Action plan.

Conclusion

The drones flying systems offer huge potential for set transformation industries and improving the quality of life. Through combining technological innovation with adequate regulatory framework and public approval, BLS can yes they play key role in the future development of our society. The progress in the field of autonomy, the integration with IoT, the new materials and security will be the main ones engines on this one progress.

State of training of specialists with higher education for disaster and accident management in Bulgaria

Existing problems of training specialists with higher education for disaster and accident management.

Desired state of the future training of specialists with higher education in disaster and accident management.

Creating digital curriculum modules for graduate professionals in disaster and emergency action

Education and Training Activities for Disaster Preparedness: To significantly increase disaster preparedness in Bulgaria, targeted education and training activities are essential, including:

- Higher Education Programs: Integrating disaster management courses into university curricula, offering degrees in emergency management, risk assessment, and resilience planning.
- Professional Development Workshops: Providing training for government officials, emergency responders, and community leaders on disaster response protocols, crisis communication, and incident command systems.
- Public Awareness Campaigns: Launching public education campaigns on disaster preparedness, evacuation procedures, and emergency kit assembly.
- Simulation Exercises: Conducting tabletop exercises, drills, and full-scale simulations to test response plans, identify gaps, and enhance coordination among stakeholders.
- Community-Based Training: Engaging local communities through workshops, seminars, and training sessions on first aid, CPR, and community emergency response team (CERT) training.

Recommendations

While Bulgaria has made progress in disaster management, opportunities for improvement remain, particularly in digitalization and education. Recommendations include:

- Investment in Digital Infrastructure: Enhance the resilience and capacity of digital infrastructure to support disaster management operations.
- Capacity Building: Provide ongoing training and professional development opportunities for stakeholders at all levels.
- Collaboration: Foster partnerships between government, academia, NGOs, and private sector entities to leverage expertise and resources.
- Public Engagement: Empower citizens through education, training, and participatory decision-making processes.

Conclusion

In summary, this work offers a precise analysis of disaster types and management strategies in Bulgaria, backed by statistical information. By implementing targeted education and training activities, Bulgaria can build a more resilient society capable of effectively mitigating and responding to disasters, while leveraging digitalization to enhance disaster management practices.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge support for the development and publication of this article from the Erasmus+programme, project KA220-HED-2EF8D879 SUstainable Disaster and Emergency Management processes digitization (SUDEM).

References:

1. A. Cerqua, G. Di Pietro, Natural disasters and university enrolment: evidence from L'Aquila earthquake, Appl. Econ. 49 (2017) 1440–1457, https://doi.org/ 10.1080/00036846.2016.1218431.
2. D. E. S. A. Un, Strengthening Disaster Risk Reduction and Resilience for Climate Action through Risk- Informed Governance, 2022.
3. H. Baytiyeh, Developing effective earthquake risk reduction strategies: the potential role of academic institutions in Lebanon, Prospects 45 (2015) 245–258, https://doi.org/10.1007/s11125-015-9344-3.
4. C. V. Nguyen, N. Minh Pham, The impact of natural disasters on children's education: comparative evidence from Ethiopia, India, Peru, and Vietnam, Rev. Dev. Econ. 22 (2018), 1561–1589, https://doi.org/10.1111/rode.12406.
5. J. Lassa, M. Petal, A. Surjan, Understanding the impacts of floods on learning quality, school facilities, and educational recovery in Indonesia, Disasters 47 (2023) 412–436, https://doi.org/10.1111/disa.12543.
6. E. Q. Borazon, H.-H.H. Chuang, Resilience in educational system: a systematic review and directions for future research, Int. J. Educ. Dev. 99 (2023) 102761, https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2023.102761.
7. L. Gibbs, H. bin Jehangir, E.J.L. Kwong, A. Little, H. bin Jehangir, E. J. L. Kwong, A. Little, H. bin Jehangir, E. J. L. Kwong, A. Little, H. bin Jehangir, E. J. L. Kwong, A. Little, Universities and multiple disaster scenarios: a transformative framework for disaster resilient universities, Int. J. Disaster Risk Reduct (2022) 103132, https://doi.org/10.1016/ j.ijdrr.2022.103132.
8. D. Farris, R. McCreight, The professionalization of emergency management in institutions of higher education, J. Homel. Secur. Emerg. Manag. 11 (2014) 73–94, https://doi.org/10.1515/jhsem-2013-0074.
9. A. M. Esnard, B.S. Lai, C. Wyczalkowski, N. Malmin, H.J. Shah, School vulnerability to disaster: examination of school closure, demographic, and exposure factors in Hurricane Ike's wind swath, Nat. Hazards 90 (2018) 513–535, https://doi.org/10.1007/s11069-017-3057-2.
10. L. Czerniewicz, H. Trotter, G. Haupt, Online teaching in response to student protests and campus shutdowns: academics' perspectives, Int. J. Educ. Technol. High. Educ. 16 (2019) 1–22, https://doi.org/ 10.1186/s41239-019-0170-1.
11. M. A. Peters, H. Wang, M. O. Ogunniran, Y. Huang, B. Green, J. O. Chunga, E. A. Quainoo, Z. Ren, S. Hollings, C. Mou, S. W. Khomera, M. Zhang, S. Zhou, A. Laimeche, W. Zheng, R. Xu, L. Jackson, S. Hayes, China's Internationalized higher education during Covid-19: Collective student Autoethnography, Postdigital Sci. Educ. 2 (2020) 968–988, https://doi.org/10.1007/s42438-020-00128-1.

ИЗКУСТВЕНИЯТ ИНТЕЛЕКТ – МУЛТИПЛИКАТОР НА НЕКОНВЕНЦИОНАЛНИТЕ БОЙНИ ДЕЙСТВИЯ (IRREGULAR WARFARE) ВОДЕНИ ОТ ПОСТМОДЕРНИТЕ ТЕРОРИСТИЧНИ ОРГАНИЗАЦИИ

Добрин Анастасов

Факултет „Национална сигурност и отбрана“ - ВА „Г. С. Раковски“, екс преподавател
e-mail: andrei_kolev1981@abv.bg

Ключови думи: *Изкуствен интелект, неконвенционални бойни действия, постмодерни терористични организации, генеративен изкуствен интелект*

Резюме: *Разгледани са характеристиките на неконвенционалните бойни действия и влиянието на изкуствения и генеративния изкуствен интелект върху водените терористични, информационни и психологически операции, застрашаващи националната, коалиционната и регионалната сигурност. Анализирани са основните насоки на мениджмънта на изкуствения интелект при осъществяване на подготовката, разузнавателното осигуряване, провеждането и пропагандното обезпечаване на терористичните атаки срещу компютърни и комуникационни системи на въоръжените сили и в националните административни и управленски системи, политически и физически лица. Оценени са ефектите на изкуствения интелект при привличането и подготовката на нови членове на терористичните организации.*

ARTIFICIAL INTELLIGENCE – A MULTIPLIER OF IRREGULAR WARFARE CONDUCTED BY THE POST-MODERN TERRORIST ORGANIZATIONS

Dobrin Anastasov

National Security and Defense Faculty Rakovski National Defense College, former lecturer
e-mail: andrei_kolev1981@abv.bg

Keywords: *Artificial intelligence, irregular warfare, post-modern terrorist organizations, generative artificial intelligence*

Abstract: *The characteristics of irregular warfare and the impact of artificial and generative artificial intelligence on the conducted terrorist, information and psychological operations endangering national, coalition and regional security are estimated. The main guidelines of the management of artificial intelligence in the implementation of the training, intelligence preparation, conducting and securing the propaganda effects of the terrorist attacks against computer and communication systems of the armed forces and in the national administrative and management systems, political and physical persons have been analyzed. The effects of artificial intelligence in the recruitment and training of new members of terrorist organizations are assessed.*

Въведение

Съвременната глобална среда за сигурност се характеризира с непрекъснато преструктуриране на двете си основни форми на проявление и нарастване на техният дестабилизиращ ефект:

1. Конвенционални бойни действия (КБД) с всички атрибути на активен сблъсък на редовни и/или паравоенни бойни части:

- войната в Украйна;
- войната в Близкия изток.

2. Неконвенционални бойни действия (НКБД) [1], притежаващи икономически, политически, социални, психологически, информационни и етнически характеристики за действие на национално и международно ниво.

Постмодерните транснационални терористични организации (ПмТНО) активно модифицират характеристиките на НКБД, превръщайки ги в терористични неконвенционални бойни действия за реализиране на целите си в целия спектър на асиметричните заплахи за националната и коалиционната сигурност. Те формират и активно използват терористично неконвенционално бойно пространство (ТНКБП), в което провеждат операции за влияние и създаване на логистичен ресурс за разширяване на кадровия си потенциал и достъп до модерни технологии.

Изкуственият интелект и генеративния изкуствен интелект са инструментите, които ПмТНО използват активно, за да мултиплицират ефектите от провежданите различни по характер операции в реалното и виртуално пространство. По този начин те създават допълнителни измерения на терористичната заплаха и разширяват влиянието си върху средата за сигурност в страните и регионите, в които действат.

Анализ на влиянието на изкуствения интелект върху ефективността на водените от терористичните организации операции в терористичното НКБП

Основните характеристики на терористичните НКБД се определят от оценките, че те притежават индиректни и асиметрични подходи за компрометиране на политическото, икономическото и социалното влияние и авторитет на обекта или структурата срещу които се прилагат. Те обхващат определянето на участниците, конкретните цели, както и формите и методите за тяхното реализиране. Тези бойни действия се осъществяват в рамките на бойно пространство, което се оформя и използва от конкретната терористична организация, била тя постмодерна, транснационална или регионална. Особеност на това терористично бойно пространство за водене на терористичните неконвенционални бойни действия е неговата всеобхватност.

Тя се изразява в:

- комплексното и едновременно с това диференцирано използване на съществуващите географски, климатични, реални инфраструктурни и урбанистични условия на региона на действие или влияние на терористичната организация;

- изучаване и използване на различните по характер, социален и етнически състав и икономическо положение контингенти, които ПмТНО използват за набиране и подготовка като членове на бойните или логистични структури в съответните региони или държави.

Като се отчита транснационалния характер на дейността на терористичните организации(Ислямска държава, Ал Кайда, Хизбуллах, Хамас), следва да бъдат включени подобните елементи и териториални характеристики в регионите, в които организацията планира да води в перспектива такива действия. Основна отлика на така посочените елементи е тяхната динамика във времето, мястото и формата на проявлението им, което оказва влияние върху цялостната дейност на терористичната организация и създава условия за нейното дестабилизиране.

Трябва да се има предвид още една съществена особеност на двете бойни пространства – конвенционалното терористично и неконвенционалното терористично – а именно, тяхната относителна самостоятелност и взаимна връзка.

По същество те не трябва да се отъждествяват и по този начин да се подхожда към анализа и оценката на дейността на съответната терористична организация в тях като еднотипна.

Основната разлика между двете бойни пространства е в начина на използване на силата, като в терористичното конвенционално бойно пространство се провеждат операции с използване на въоръжена сила и причиняване на жертви, докато в терористичното неконвенционално бойно пространство се осъществяват психологически, информационни и вербовъчни операции и се използват активно възможностите на кибертероризма и медийно въздействие и пропаганда.

Необходимо е да се подчертае, че и в двете пространства действа една и съща ПмТНО, което определя оценката, че не може да се очертае рязка и добре структурирана граница между тях. Това се допълва и от вида на използваните средства и подходи за осигуряване постигането на целите на съответните операции.

За реализирането на терористична операция се осъществяват разузнавателни и информационни операции с привличане на съвременно въоръжение, бойна техника, модерни технологии и използване на криптиращи комуникационни средства и компютъризирани средства за командване и управление.

След провеждането на терористичната операция се осъществяват действия по изтегляне и укриване на участвалите терористи и се провеждат пропагандни операции за засилване ефекта от терористичния акт. Тук отново се използват модерни информационни

технологии и в зависимост от възможностите на организацията се прилагат технологии, включващи потенциала на изкуствения интелект и генеративния изкуствен интелект и ефектите на интернет на нещата за разширяване обхвата на медийното и информационно покритие.

Следователно тази взаимна връзка и зависимост в осъществяването на операциите може да се разглежда като основа на формирането и функционирането на „комплексно терористично бойно пространство“, което да притежава двукомпонентните потенциали и динамични характеристики, налични в конвенционалното и в неконвенционалното бойно пространство и по същество оформя екосистемата на ПмТНО.

На настоящия етап постмодерните терористични организации все по-активно използват дуалистичния характер на изкуствения интелект в двете форми на бойни действия и в съответните бойни пространства.

В терористичното КБП характеристиките и потенциала на изкуствения интелект ускоряват реактивността на бойните системи, намаляват габаритите и обема и позволяват създаването на бойни комплекси и индивидуално въоръжение, които действат ефикасно при всякакви атмосферни условия и могат да се противопоставят успешно на въздействието от страна на силите за сигурност.

В терористичното НКБП изкуственият интелект и използването на самообучаващи се машини осигурява обработката на голям обем данни и създаване на протоколи за въздействие върху компонентите на НКБП, било то поотделно или комплексно. Необходимо е да се подчертае, че терористичните организации не притежават достатъчно сили и средства да въздействат върху цялото население на дадена целева страна. Те се ограничават с манипулиране на целеви групи в етнически и етногеографски райони с преобладаващо мюсюлманско вероизповедание. Все по-определено се очертава тенденцията за взаимодействие с десни и крайно десни религиозни групи въз основа на проповядването на деструктивни идеи и омраза [2].

По същество обектите на въздействие имат общи характеристики, базиращи се на социокултурната парадигма. Тя позволява да се оцени човешкото поведение и дейности във времето и пространството и да се очертаят физическите, политическите и културните граници на съприкосновението между различните групи хора, населяващи определена географска територия. Обработката на получената в това отношение информация с използване на инструментариума на изкуствения интелект, интернет на нещата и самообучаващите се машини позволява изработването на оценка за динамиката на формиране на отношението на тези контингенти към дейността на съответните терористични организации и проблемите на политическия, икономическия и социоален живот в съответната страна.

Тази тенденция в действията на транснационалните терористични групи не е нова. Тя винаги е присъствала и определяла профила на съответната група и нивото на заплаха, която тя представлява за сигурността в държавата, региона и в глобален мащаб.

За да оценим нарастването на деструктивния потенциал на ПмТНО от използването на модерни ударни и информационни системи, интегриращи изкуствения интелект, генеративния изкуствен интелект и кибертероризма в арсенала им, следва да отбележим, че на настоящия етап тези форми на въздействие се използват комплексно при провеждане на разузнавателни, информационни и психологически операции.

Така във всяка една тези операции се използва:

- ефектът по отношение на нагласите на целевата група или отделни лица, създаван от кибертероризма;
- усилен от провеждането на съпътстващи пропагандни и медийни операции, реализирани с използването на комуникационни средства с вграден изкуствен интелект;
- успешното камуфлиране на разузнавателния интерес към даден обект чрез използване на генеративния изкуствен интелект.

Тези форми и методи на конвергенция между кибертероризма и изкуствения интелект позволяват на постмодерните транснационални терористични организации да придобият нови качествени характеристики, които се изразяват в:

- активна промяна на структурата, формите и методите на осъществяване на бойните, информационните, психологическите и вербовъчните операции и защитата на кадровия състав;
- приспособяване и/или осъществяване на мероприятия за противодействие на глобалните антитерористични действия, както и на дейността на разузнавателните органи по разкриване и проникване в състава на тези организации;
- широко приложение на дисперсните форми на изграждане и функциониране на основните звена на организацията, при запазване на интегритета и мрежовото структуриране в конкретната страна или регион;
- осигуряване на синхронизация на действията на полевите и логистични структури на организацията в различните региони на базиране;

- следене, коригиране и маскировка на дейностите по финансиране и логистично обезпечаване съществуването и функционирането на ПмТНО;

- активно техническо превъоръжаване и използване на възможностите на модерните технологии в сферата на комуникациите, въоръжението и разузнаването за осигуряване на непрекъснато ръководство на структурите;

- изграждане на открити, явни структури, чрез които да се осъществява дейност в интерес на разширяване влиянието на организацията и осигуряване на прикритие за дейността на скритата структура.

Последната характеристика представлява сериозен опит на терористичните организации като Ал Кайда, Ислямска държава, Хамас, Хизбуллах и хутските въстаници в Йемен да разширят възможностите си за по-широк достъп до граждански, обществени и икономически структури и организации с цел увеличаване на базата от лица, заинтересовани от контакти с тези явни структури и извличане под различни форми на специфична и по-обща информация за конкретизиране на формата и изразните средства на пропагандните послания на отделната терористичната организация. В това отношение особено активно се използва генеративния изкуствен интелект чрез програми, симулиращи диалог или общ разговор, видео и гласови генератори.

Анализът на тези характеристики дава основание да се определи, че постмодерните транснационални терористични организации са придобили по-широки възможности за действие и влияние и по-добре се вписват в контекста на променилата се среда за сигурност на настоящия етап. Така посочените особености на постмодерните терористични организации осигуряват достатъчен потенциал за използване на подходи, даващи бърз и ефикасен пропаганден, боен и организационен ефект. От съществено значение е също така, че ПмТНО прилагат тези подходи за осъществяване на ефективно управление на структурите си в отделните страни на функциониране и повишаване скритостта на подготовката и реализацията на планираните операции.

Следва да се подчертае, че това ниво на ефективност на постмодерните терористични организации се гарантира с широкото приложение на изкуствения интелект в технологичните продукти, които те купуват или придобиват.

Използването на иновативните технологии на изкуствения интелект се съчетава много активно с прилагането на кибертероризма като основен елемент на НКБД в терористичното неконвенционално бойно пространство. Посочените по-горе транснационални постмодерни терористични организации имат сериозен и доказан опит в използването на кибертероризма в оперативната си дейност.

Факторите, обясняващи продължителността на използване на подходите на кибертероризма са:

- сравнително лесния достъп до модерен хардуер и ефективен софтуер;

- качествена и бърза подготовка и преподготовка на операторите на компютърните конфигурации, осигуряващи изпълнението на задачите;

- гъвкавата промяна на генерираните терористични продукти и възможности за използване на съществуващите социални мрежи.

Отчитането тези особености може да обясни продължаващото разрастване на кибертероризма и да се посочат целите, които се преследват с неговото използване:

- проникване в информационната среда;

- създаване на условия за разпространение на ислямистките идеи всред немюсюлманската диаспора;

- манипулиране на информацията, използвана от гражданските, военните и структурите за сигурност и защита на националните интереси;

- нарушаване нивото на защита на инфраструктурни и енергийни обекти на дадената страна;

- проникване и компрометиране на различни военни информационни системи и такива за обработка на разузнавателни данни, добивани от външни източници.

По този начин основните цели и действия на кибертероризма са унищожаване или подмяна на наличната информационна база данни в национален мащаб и създаване на предпоставки за нарушаване функционирането на държавните и обществените структури. Това дестабилизира работата на цялата мрежа и унищожава информация и мултимедия, които не са изгодни за дадената терористична организация и възпрепятстват обмена на данни за дейността ѝ.

Пряк ефект върху дейността на тези организации оказва използването на генеративния изкуствен интелект за осъществяване на пропагандни операции. Той осигурява по-широкото им разпространение и адекватното им въздействие върху целевите групи. Използвайки синтезирани изображения, звук и видео, терористичните групи пропагандират ислямистки и

радикални идеи и по-ефективно въздействат върху представите, чувствата и мислите на хората. Освен това генеративния изкуствен интелект като пропаганден инструмент позволява манипулиране на традиционните информационни средства чрез целенасочено подаване на предварително обработена и камуфлирана дезинформация и особено, ако ефективно се използват социалните медии с техните многомилионни аудитории.

Допълнително направление в използването на генеративния изкуствен интелект от Ал Кайда, Хизбуллах и Ислямска държава е осигуряването на адекватни преводи на пропагандни материали от арабски на различните западни, средноазиатски и африкански езици, както и преводи на различните арабски диалекти.

По същество използването на тази технология осигурява бързина, широк обхват и видима достоверност на терористичните операции за влияние. В това отношение се използват много активно социалните медии като елементи на неконвенционалните бойни действия. Добивайки алгоритмите на съответните платформи те въздействат чрез психологическите операции като елементи на операциите за влияние върху желанията и интересите на целевите групи. Така социалните мрежи осигуряват на терористичните организации много голяма по обем и тематика база данни за всеки и всички. Като използват потенциала на компютърните системи с вграден изкуствен интелект за обработка на тази информация, ПмТНО получават възможности да манипулират и мобилизират членовете на целевите групи за изпълнение на широк спектър от задачи – от извършване на насилствени действия през подкрепа за терористични и въстанически действия до участие във въоръжени джихадистки операции.

В пряка връзка с пропагандната ефективност на генеративния изкуствен интелект е използването му за ускоряване насочването, изучаването и пряката вербовка или постепенното въвличане в терористична дейност на широк и разнообразен контингент от лица не само от арабски, но и от европейски, африкански и азиатски произход. Този подход е особено ефективен при вербовка на терористи-камикадзе. Пример за ефективното използване на модерните технологии в тази дейност е вербовката от Ислямска държава за периода на съществуване на халифата на 41490 души от 80 държави, доказвайки по този начин транснационалния си характер.

Ефективността на изкуствения и генеративния изкуствен интелект се проява много ясно при формирането и използването на виртуалната реалност(metaverse) [3], като форма на въздействие в рамките на провеждане на информационни, разузнавателни и вербовъчни операции в терористичното НКБП. Извеждането на виртуалната реалност в различните социални медии осигурява на терористичната организация пряк достъп до широк кръг, основно, млади хора, на които се предлагат завоалирано джихадистки, религиозни и радикални идейни постулати и подходи. Наред с това виртуалната реалност създава възможности за възстановяване на „присъствието“ на лидери на терористични организации като Бин Ладен, Ал Заркауи или религиозни водачи като Аятолах Хаменей, които да изпращат своите послания и проповеди до милионна аудитория и с изразни средства, които да съответстват на реалната обстановка в съответните страни.

Сериозен мултиплициращ ефект има използването на изкуствен интелект в бойните операции на постмодерните терористични организации. Това пряко е свързано с широкото използване на безпилотни летални средства и автоматизирани коли-бомби от Ислямска държава, Хамас, Хизбуллах, Ал Кайда и хутските въстаници.

Заключение

Разгледаните възможности на кибертероризма, изкуствения интелект и генеративния изкуствен интелект ще се използват от постмодерните терористични организации още по-обвързано с конкретните оперативни, логистични, информационни и пропагандни цели и задачи, което ще повиши ефективността на всеки отделно взет елемент от тези подходи по отношение на осигуряване основните дейности на организациите и запазване на потенциала и влиянието им. Това ще генерира ново ниво на заплаха от тези организации и ще наложи активизиране на допълнителни сили и средства от страна на органите за сигурност за нейното париране.

Литература:

1. US Department of Defense, Summary of the Irregular Warfare Annex to the National Defense Strategy 2020
2. Julia Ebner, The Rage: The Vicious Circle of Islamist and Far-Right Extremism (London and New York: I.B. Tauris & Co. Ltd, 2017), 280 pp., US $15.36 [Paperback], ISBN: 978-1-7883- 1032-1
3. Sam Hunter, Alexis d'Amato, Joel Elson, Austin C. Doctor and Averie Linnel, The Metaverse as a Future Threat Landscape: An Interdisciplinary Perspective (Perspectives on Terrorism, June 2024), ISSN:2334-3745

ПАЗАРНАТА КОНЮНКТУРА: КЛЮЧОВИ ВЪПРОСИ И СТРАТЕГИЧЕСКИ РЕШЕНИЯ

Надя Маринова

Нов български университет – София
e-mail: nmarinova@nbu.bg

Ключови думи: *пазарна конюнктура, стратегии, решения*

Резюме: *Анализът на пазарната конюнктура дава възможност на фирмите да създадат конкурентни инвестиционни стратегии, които да се адаптират към динамичната бизнес среда. Въпреки това, различията в прилаганите конкурентни модели – в специализацията, вътрешната интеграция, качеството на продуктите и др. – водят до различни нива на пазарен успех и рентабилност. Някои фирми са по-печеливши от други, въпреки че оперират при едни и същи условия, поради тяхното стратегическо положение и управленски компетенции. Стратегическите групи, в които се обособяват фирмите в рамките на една бизнес среда, могат да се различават по модели на производство, канали за реализация и други фактори. Бариерата пред мобилността, защитеността на пазарните позиции и способността за адаптация към промените са ключови за рентабилността. Успешното позициониране на фирмата в дадена стратегическа група или нейното преминаване в по-благоприятна група изисква добро планиране и управление на рисковете.*

THE MARKET CONDITION: KEY ISSUES AND STRATEGIC DECISIONS

Nadya Marinova

New bulgarian University – Sofia
e-mail: nmarinova@nbu.bg

Keywords: *market conditions, strategic, decisions*

Abstract: *Market analysis enables companies to create competitive investment strategies that adapt to the dynamic business environment. However, the differences in applied competitive models – in specialization, internal integration, product quality, etc. – lead to different levels of market success and profitability. Some firms are more profitable than others, even though they operate under the same conditions, because of their strategic position and managerial competencies. The strategic groups in which companies are divided within a business environment may differ in terms of production models, sales channels and other factors. The barrier to mobility, the security of market positions and the ability to adapt to changes are key to profitability. Successful positioning of the company in a given strategic group or its transition to a more favorable group requires good planning and risk management.*

Анализът на пазарната конюнктура дава възможност да се правят важни изводи за конкурентна инвестиционна стратегия на фирмите. Обаче, в практиката често се наблюдават фирми, които прилагат различни модели на конкурентни стратегии в производствената специализация, вътрешната интеграция и т.н., и са постигали различни показатели на пазарен дял. Освен това, някои фирми в по-дълъг период превъзхождат своите конкуренти по нива на рентабилност. Независимо, че условията, в които се конкурират всички фирми в дадена бизнес среда са еднакви, възникват въпроси, на които се търсят съответните отговори:

Първо, защо едни фирми са по-печеливши от други и доколко това е свързано с тяхното стратегическо положение?

Второ, по какъв начин различната квалификация на мениджмънта, в организационната дейност, в областта на маркетинга, в намаляването на разходите и други са свързани със стратегическото положение на фирмата и резултатите от нейната дейност?

Прилаганите от фирмите модели на конкурентни стратегии в дадена бизнес среда могат да се различават един от друг по много параметри. Възможен е стратегически избор за модел на фирмата в някои от следните направления:

- в специализацията;
- в авторитета на бранда;
- в каналите за реализация;
- в качеството на продукцията;
- в технологичното лидерство;
- във вътрешната интеграция;
- в ценовата политика;
- в обслужването и т.н.

Всяко от тези стратегически направления може да бъде разглеждано от фирмата с различна степен на детайлизация и да бъдат добавяни и други. Важно е, че тези характеристики създават общата картина за позициите на фирмата.

Стратегическите направления са взаимно свързани помежду си. Фирма с относително ниски нива на цените обикновено притежава позиция с ниски нива на разходите и добро, макар и не най-високо, качество на продукцията. Средство за постигане ниско ниво на разходите може да бъде високата степен на интеграция чрез формиране на съгласуван вътрешен комплекс. Обикновено във всяка бизнес среда оперират фирми, за които са характерни различни, но вътрешно съгласувани комбинации от стратегически направления.

Първа стъпка на структурния анализ в дадена бизнес среда е да се характеризират вариантите на модели за стратегии на всички основни конкуренти по изброените стратегически направления. Това позволява да в бизнес средата се обособят стратегически групи, използващи еднакви или сходни стратегически варианти. В дадена бизнес среда може да функционира само една стратегическа група, ако всички фирми използват една и съща стратегия. Другата крайност е, когато всяка фирма представлява самостоятелна стратегическа група. Обикновено, като правило, съществува неголям брой стратегически групи със съществени различия в моделите на стратегиите между тях.

Стратегическите групи често, но не винаги, се различават по своя модел към маркетинга и продукта. Понякога в такива бизнес среди групите произвеждат еднакви продукти, но техните модели на производство, логистика, вътрешна интеграция са различни. Фирмите могат да имат също и сходни стратегии, но различни отношения с правителствата, които да влияят различно на техните цели. Стратегическите групи са еквивалент на пазарните сегменти и се определят въз основа на по-широка концепция за стратегическото позициониране.

Обособяването на стратегическите групи се използва като модел, предназначен за структурен конкурентен анализ. В същото време това обособяване е и междинен етап за разглеждането на всяка фирма поотделно. В крайна сметка, всяка фирма е уникална и затова класификацията на фирмите в стратегически групи неизбежно поставя въпросът кое от различията в стратегиите е съществено.

Когато в бизнес средата оперира една стратегическа група, тази среда може да се анализира чрез посочените модели за структурен анализ. В този случай структурата на бизнес средата осигурява еднакви потенциални възможности за рентабилност на всички фирми, а фактическата печалба за всяка отделна фирма в дългосрочен план се определя от способността да се реализира общата стратегия.

По-сложен е анализът, когато в бизнес средата оперират няколко стратегически групи. Потенциалът за рентабилност на фирмите, принадлежащи към различни стратегически групи, най-често не е еднакъв, което се обяснява не само от тяхната способност за реализиране на стратегията, но и от различното въздействие върху тях на основните конкурентни сили.

Съществуват много причини за формиране и промени на стратегическите групи в дадена бизнес среда.

Първо, различията в практическия опит или ресурсите, присъщи на фирмите от началото на съществуването им или създавани впоследствие, ги заставят да избират различни стратегически модели. В процеса на развитието на бизнес средата водещи фирми изпреварват други в движението си към определени стратегически групи, защитени от високи бариери пред мобилността.

Второ, фирмите се различават една от друга и по своите цели и отношение към риска. Някои от тях са по-склонни към рискови инвестиции при създаване на бариери пред мобилността. Подразделенията различно са свързани с компанията-майка (например, едни са свързани, други несвързани или самостоятелни), избират различни цели, модели на съответни стратегии за тяхното постигане. Това се отнася, преди всичко, за международни фирми, намиращи се в друга конкурентна ситуация на различни пазари в сравнение с местните фирми.

Друга причина за различията в стратегическите модели на фирмите е свързана с историческото развитие на бизнес средата. За участници с по-голям стаж в дадена бизнес среда съществува възможност да избират модели на стратегии, които за новите конкуренти са по-скъпи. Бариерите пред мобилността, които са резултат от икономии чрез мащаба на производството, диференциацията и други, могат да се променят под влияние на извършвани от фирми инвестиции или екзогенни фактори. Промяната в бариерите за мобилност означава, преди всичко, че първите навлезли в бизнес средата имат възможност да реализират съществено различаващи се стратегии за разлика от участници, появили се по-късно, за които някои стратегии могат да бъдат въобще недостъпни. В същото време, необратимостта на много видове инвестиционни решения в редица случаи не позволява на по-рано навлезли участници да приемат по-късно други стратегии, ползващи се с предимството за по-целенасочен избор.

Обаче, процесът на еволюция в дадена бизнес среда в различни периоди от време създава условия за появата и на нови типове участници. Например, по-късно в бизнес средата е по-вероятно да се включат фирми с големи финансови ресурси, тъй като могат да си позволят да изчакват разрешаването на едни или други неопределености, съществуващи в нея. От друга страна, фирми, разполагащи с по-скромни ресурси, биха могли по-рано да навлязат, когато необходимите за това капиталови разходи не са били толкова високи.

Промените в структурата на бизнес средата могат да способстват или за формиране на нови групи, или да водят до хомогенизацията на групите. Например, с увеличаването на общия мащаб на бизнес средата стратегии, свързани с вътрешна интеграция, с развитието на собствени канали за реализация и система за обслужване, могат да станат по-достъпни за агресивни фирми и да стимулират създаването на нови стратегически групи. По същия начин технологичните изменения или промени в поведението на потребителите могат да променят границите на бизнес средата, отваряйки път за съвършено нови групи. Обратно, зрелостта на бизнес средата, водеща към намаляване изискванията на потребителите към обслужването или към пълнота на асортимента на продукцията, може да намали бариерите пред мобилността, свързани с някои стратегически направления, а също така да намали и броя на групите. В резултат на тези фактори с времето може да се очакват промени в структурата на стратегическите групи и показателите за степента на рентабилност в рамките на бизнес средата.

По същия начин стратегическите групи изпитват в различна степен и пазарна власт по отношение на доставчиците и потребителите. Различията в степента на пазарна власт, която използват различните групи се обясняват от две групи причини:

Първо – стратегиите на групите могат да се определят от разликите в степента на уязвимост пред доставчиците или потребителите, общи за фирми от някоя група.

Второ – техните стратегически модели могат да произтичат от работа с доставчици и потребители, разполагащи с различна пазарна власт. Рамките, в които относителната пазарна власт може да се колебае зависи от бизнес средата.

Стратегическите групи могат да изпитват в различна степен и конкуренцията от страна на субститути, ако са специализирани в производството на различен асортимент, обслужващ различни потребители, имат разлики в нивото на качеството и технологиите, нивото на разходите и т.н. Тези различия могат да породят в една и съща бизнес среда по-голяма или по-малка уязвимост пред заместителите.

Присъствието на повече от една стратегическа група в дадена бизнес среда създава условия за конкурентна борба между тях по отношение на цени, реклама, обслужване и т.н. Обаче, в по-широк план съществуването на много групи, като правило, означава, че конкурентните сили не оказват еднакво въздействие на всички фирми в средата.

Наличието на няколко стратегически групи често оказва влияние върху общото ниво на съперничество в бизнес средата. Различията в стратегиите и външните условия въдят до различия в предпочитанията на фирмите по отношение на риска, периода на планиране, нивата на цените, на качеството и т.н. Тези различия усложняват процеса на разбирателство между фирмите за техните намерения една към друга и реакция на тях, поради което увеличават вероятността за конкурентна борба.

Интензивността на конкурентната борба между стратегическите групи за потребителите в дадена бизнес среда се определя от четири основни фактора:

- първи – пазарната взаимозависимост на групите или степента, в която техните целеви потребителски сегменти се препокриват един с друг;
- втори – степента на диференциация на продукта, постигната от групите;
- трети – броят на стратегическите групи и техните относителни размери;
- четвърти – стратегическата дистанция между групите или степента в която се разминават техните стратегии.

Най-силно влияние върху съперничеството на групите оказва пазарната им взаимозаменяемост или степента, в която се борят за едни и същи потребители или за потребители в различни пазарни сегменти. При висока пазарна взаимозаменяемост различията в стратегическите модели ще водят до най-силни сблъсъци. Ако стратегическите групи са насочени към различни сегменти, те изпитват по-малък интерес една към друга и тяхното взаимно въздействие е значително по-малко. Когато различията между техните потребители стават по-отчетливи, групите започват да се конкурират в по-голяма степен. Когато различните стратегически модели осигуряват диференциация на продукта, ясно разграничавана от страна на потребителите, в съперничеството между групите ще се проявява тенденция за отслабване в сравнение със ситуация, при която предлаганите продукти изглеждат като взаимно заменяеми.

В същото време, колкото по-многобройни и равни по пазарен дял са групите, толкова в по-голяма степен, при равни други условия, асиметрията в техните стратегии, като правило, засилва конкурентната борба. Множеството на групите предполага голямо разнообразие между тях и висока вероятност някоя да провокира съперничество, атакувайки позициите на други групи чрез намаляване на цените или други тактически модели. Обратно, ако стратегическите групи силно се различават по мащаби, например, една има незначителен пазарен дял, а друга много голям, техните стратегически различия по-скоро ще оказват слабо влияние върху характера на съперничеството, тъй като възможностите им за конкурентно въздействие, като правило, са различни.

Последен фактор е стратегическата дистанция, която предполага вероятност за по-енергични сблъсъци между групите, при равни други условия. Фирми със съществено различни стратегически модели за инвестиране, като правило, имат съвършено различни идеи за това, как да се води конкурентната борба, изпитват трудности и недостатък от време, за да разберат поведението си един към друг, а също така как да избегнат погрешните реакции и провокирането на съперничество.

Посочените четири основни фактора определят характера на конкурентната борба за потребители между стратегическите групи в бизнес средата чрез тяхното взаимодействие. Например, най-неустойчива и предизвикваща интензивна конкуренция ще бъде ситуация, когато няколко равни по сила групи, придържащи се към достатъчно различни една от друга стратегии, насочват своите усилия към едни и същи основни групи потребители. Обратно, ситуацията ще бъде евентуално по-стабилна (и печеливша), когато съществува неголям брой крупни стратегически групи, конкуриращи се в различни потребителски пазарни сегменти чрез реализиране на стратегически модели, които в много направления не се различават.

Общите характеристики на пазарната конюнктура помага за повишаване или понижаване рентабилността на всички фирми при инвестиране в дадена бизнес среда, обаче не всички стратегически модели имат еднакъв потенциал за успех. Колкото по-високи са бариерите пред мобилността, защитаващи дадена стратегическа група, колкото по-силна е пазарната позиция на групата по отношение на доставчиците и потребителите, по-малка е заплахата от субститути и съперничеството с други групи, толкова по-висок е средният потенциал за рентабилност на фирмите в тази група. Затова, важна е съвкупността от характеристики, определящи успеха на фирмата, е свързана с позициите на стратегическата група в бизнес средата.

Друга позиция е свързана с мястото на фирмата вътре в стратегическата група. В този случай следните фактори имат решаващо значение:

Първо – нивото на конкуренцията вътре в групата, тъй като то може да води до намаляване на рентабилността. Такива последствия са по-вероятни в случай, когато стратегическата група се състои от голям брой фирми.

Второ - не всички фирми, използващи еднаква стратегически модели, имат равни позиции от структурна гледна точка. Така, върху структурната позиция на фирмата може да влияе нейният мащаб в сравнение с другите участници в стратегическата група. Например, ако в групата се поддържа достатъчно значителна икономия от мащаба на производството, водеща до намаляване на разходите, от което се ползват всички фирми в групата, независимо от техния пазарен дял, фирмите с относително по-малък пазарен дял, ще имат по-нисък потенциал за рентабилност .

Положението на фирмата в стратегическата група зависи също така и от нейните разходи за влизане в групата. Квалификацията и ресурсите, достъпни за фирмата при нейното навлизане в дадена група, могат да се окажат както нейно предимство, така и недостатък в сравнение с другите участници. Някои от тези квалификации и ресурси възникват въз основа на позициите на фирмата в други отрасли или на предишни успехи в други стратегически групи в дадена бизнес среда.

Разходите за навлизането в дадена стратегическа група могат да се променят в зависимост от планирането на момента за това. В някои отрасли новите конкуренти в групата могат да понасят по-съществени разходи, необходими за заемане на съответна позиция. Например, поради препятствия от страна на другите фирми може да се окаже по-скъпо поддържането на изисквания бранд, създаването на ефективни канали за реализация и др. Ситуацията може да бъде противоположна, ако по-рано навлезлите в групата фирми получават възможност да придобият най-съвременно оборудване или да използват нова технология. Различията за навлизане по време могат също да се трансформират в различия в натрупания опит и, следователно, в ниво на разходите. По такъв начин, времето за навлизане може да оказва влияние върху нивото на рентабилност на фирмите от дадена стратегическа група.

Съществен фактор за положението на фирмата в дадена група е нейната способност да реализира своя стратегически модел. Не всички фирми, провеждащи еднакви стратегии в групата, ще бъдат в еднаква степен рентабилни, даже и когато всички други посочени условия са идентични. Едни фирми превъзхождат други по своите способности да организират и управляват операциите, да разработват ефективни рекламни кампании при същите бюджети за реклама, да осъществяват технологични пробиви при същите разходи за изследвания и разработки и т.н. Подобен род квалификация не се явяват структурни предимства, свързани с бариери пред мобилността или други от разгледаните фактори, въпреки че могат да бъдат напълно устойчиви като предимства. Фирми, които са по-способни да реализират своята стратегия, ще получават по-високи приходи, в сравнение с другите фирми от стратегическата група.

Този широк спектър от фактори в своята съвкупност определя перспективите за рентабилност на всяка фирма, а също така и нейният потенциален пазарен дял. Фирмата ще бъде най-рентабилна, когато действа в благоприятна бизнес среда, в подходяща стратегическа група в средата и когато притежава силна позиция в тази група. Новите конкуренти не нарушават привлекателността на бизнес среда, която е защитена чрез бариери пред навлизането. Силната позиция на фирмата в групата най-често е резултат от нейното историческо развитие, а също така и от квалификацията и ресурсите, с които разполага.

Анализът показва, че потенциално печеливши стратегии могат да бъдат и стратегически модели от различен тип. Успешните стратегии могат да се базират на широко разнообразие от бариери пред мобилността или на модели на конкурентните сили. Базовите стратегии, описани преди това, предоставят възможност за най-голямо разнообразие в моделите и съдържат възможност за многобройни варианти. На съвременния етап сред факторите, определящи стратегическата позиция на фирмата, особено внимание се отделя на нивата на разходите, като се отчита и обстоятелството, че те са само един от многото модели за създаване на бариери.

Потенциалът на фирмата, като се отчита взаимодействащия характер на факторите за рентабилността на фирмата, в значителна степен зависи от конкуренцията в тези стратегически групи, които имат високо ниво на пазарна взаимозависимост и бариери пред мобилността. Стратегически групи с по-високи бариери имат по-голям потенциал за рентабилност, в сравнение с по-слабо защитените групи, ако конкуренцията в тях не е много голяма. Обаче, ако конкуренцията вътре в групата по едни или други причини има ожесточен характер и затова техните цени и печалби намаляват, тази ситуация може да нанесе вреда и на рентабилността на фирми от взаимно зависимите групи, които са по-слабо защитени от бариери пред мобилността. По-ниските цени или по-високите разходи имат способността да се разпространяват чрез пазарната взаимозависимост, когато по-незащитените групи са принудени да предприемат ответни действия, което води до намаляване на техните печалби. В това се проявява и рискът, който следва да се отчита при избора на стратегическата група.

Формулирането на конкурентен модел на стратегия в дадена бизнес среда може да се разглежда като избор на стратегическа група, в която фирмата ще се конкурира. Това може да бъде избор на съществуваща група, който предполага търсене на най-добра алтернатива между потенциала за рентабилност и разходите за влизане в групата, или създаване на съвършено нова стратегическа група. Анализът на бизнес средата разкрива факторите, които ще определят успеха на фирмата в конкретно стратегическо позициониране. Принципите на структурния анализ позволяват да се уточнят силните и слабите страни на фирмата, нейните специфични компетенции, а също така възможностите на бизнес средата и рисковете.

Предимствата и слабите страни на фирмата могат да се групират чрез определени фактори:

Фактори	
Предимства	***Слаби страни***
Създаващи бариери пред мобилността, защитаващи стратегическата група	Намаляващи бариерите пред мобилността, защитаващи стратегическата група на фирмата
Засилващи пазарната власт на групата в отношенията с потребители и доставчици	Отслабващи пазарната власт на групата в отношенията с потребителите и доставчиците
Ограждащи групата от съперничество с другите фирми	Подлагащи групата на съперничество от страна на други фирми
Значителни мащаби на фирмата в сравнение с другите фирми	По-малки мащаби на фирмата в сравнение с другите фирми
Помагащи за по-ниски разходи при влизане в групата в сравнение с други групи	Предизвикващи по-високи разходи при влизане в групата на фирмата в сравнение с други групи
По-голяма способност за реализация на стратегията в сравнение с конкурентите	По-малка способност за реализация на стратегията в сравнение с конкурентите
Ресурси и компетенции за преодоляване на бариери пред мобилността и за навлизане в желани стратегически групи	Недостиг на ресурси и компетенции за преодоляване на бариерите пред мобилността и за влизане в желани стратегически групи

Когато основните бариери пред мобилността, защитаващи стратегическата група на фирмата, се базират, например, на нейна широка производствена специализация, патентовани технологии или абсолютно предимство в разходите за сметка на опита, тези източници за бариери пред мобилността са едни от главните предимства на фирмата.

Когато най-привлекателната стратегическа група в бизнес средата е защитена с бариери пред мобилността, основани на икономии от мащаба на производството, тогава отсъствието на тези фактори става една от причините за най-слабите страни на фирмата.

Структурният анализ създава модел за системна оценка на най-важните силни и слаби страни на фирмата, сравнени с нейните конкуренти. Обаче, тези характеристики не са застинали, тъй като могат да се променят с еволюцията на бизнес средата. Предимствата и слабите страни на фирмата, като фактори, са в определена зависимост от човешкия и управленския потенциал. Затова и техните възможности не са постоянни.

Конкретизирането на стратегическите възможности, с които разполага фирмата, може да бъде разделено в няколко категории:

- първа – създаване на нова стратегическа група;
- втора – преминаване в стратегическа група с по-благоприятни позиции;
- трета – стабилизиране структурната позиция на съществуващата група или на позициите на фирмата в групата;
- четвърта – преминаване в нова група и стабилизиране на структурната позиция на тази група.

Сред тези категории най-голяма изгода обещава създаването на нова стратегическа група. Технологичните промени или еволюцията в структурата на бизнес средата често разкриват перспективи за съвършено нови стратегически групи.

Посочените категории могат да бъдат основание и за разкриване на рисковете, свързани с тях. Първите две групи могат да се свържат със заплаха за съществуващата позиция на фирмата или с риск от бездействие, а последните – като рискове, свързани с дейността, насочена към използване на възможностите.

В заключение следва да се отчита, че изборът на конкурентен модел на фирмена стратегия или стратегическа група за конкурентна борба е процес на съпоставяне и анализ на всички изброени фактори.

Литература:

1. Dhanjoo, G., L. Zhong, Eddie Y. K. Ng and Ru San. TanArterial Wave propagation and reflection at a bifurcation site.
2. Dimitrova, D., Dimitrova, D. Role of the Higher Economic Education for the Development of Economic Activity in Varna. Izvestiya. Journal of Economics, Management and Informatics, University of Economics – Varna, 67, 2023, 1, 24–40, ISSN (онлайн) 2367-6957
3. Хаджиева, В. Сравнителен анализ на риск мениджмънта и контролинг концепцията, Международна научно-практическа конференция, НБУ, София, 07.03.2019, ISSN 978-954-383-125
4. Хаджиев, К. Управление на виртуални екипи: Теория и методология, Нов български университет, 2021.

ПАЗАРНА КОНЮНКТУРА И КОНКУРЕНТНО ПОВЕДЕНИЕ – ПРОБЛЕМИ И МОДЕЛИ

Надя Маринова

Нов български университет - София
e-mail: nmarinova@nbu.bg

Ключови думи: *конкурентно поведение, проблеми, анализ*

Резюме: *Правилната оценка на пазарната конюнктура е от съществено значение за разработването на успешна конкурентна стратегия. Анализът на пазарните сигнали, които фирмите изпращат чрез своите действия, може да разкрие техните намерения, цели и позиции на пазара. Конкурентните сигнали могат да бъдат достоверни или заблуждаващи, като целят да подведат конкурентите. Важно е да се различават истинските сигнали от блъфирането, за да се избегнат грешни стратегически действия. Пазарната информация може да се изразява чрез обявления за бъдещи действия, коментари за бизнес средата или резултати след извършени промени. Тези сигнали трябва да се анализират внимателно, тъй като те могат да съдържат скрити послания, целящи да предизвикат конкурентни реакции или да намалят напрежението. В крайна сметка, игнорирането на пазарните сигнали е равносилно на игнориране на самата конкуренция, затова правилното им разчитане е ключов елемент за успешна бизнес стратегия.*

MARKET CONDITIONS AND COMPETITIVE BEHAVIOR – PROBLEMS AND MODELS

Nadya Marinova

New Bulgarian University - Sofia
e-mail: nmarinova@nbu.bg

Keywords: *competitive behavior, problems, analysis*

Abstract: *A correct assessment of the market situation is essential to the development of a successful competitive strategy. Analyzing the market signals that firms send through their actions can reveal their intentions, goals, and market positions. Competitive signals can be credible or misleading, intended to mislead competitors. It is important to distinguish real signals from bluffing in order to avoid wrong strategic actions. Market information may be expressed through announcements of future actions, comments on the business environment or results after changes have been made. These signals must be analyzed carefully, as they may contain hidden messages intended to provoke competitive reactions or reduce tension. After all, ignoring market signals is tantamount to ignoring the competition itself, so reading them correctly is a key element of a successful business strategy.*

Правилната оценка на пазарната конюнктура има голямо значение за разработването на адекватна конкурентна бизнес стратегия. Пазарното поведение на конкурентите, показващо пряко или косвено техните намерения, цели или вътрешно състояние, което е пазарен сигнал. Необходимо условие за правилна интерпретация на сигналите на пазара е базовият анализ на конкурентите в посока:

- *за разкриване на техните бъдещи цели;*
- *за техните представи за пазара;*
- *за собствените им позиции на него;*
- *за техните текущи стратегии и потенциални възможности.*

Анализът на пазарното поведение на конкурентите изисква детайлни сравнителни оценки на отделни аспекти на ситуацията, в която се намират конкурентите.

Пазарните сигнали могат да изпълняват две различни по своята същност функции. Първо могат правдиво да показват мотивите, намеренията или целите на конкурентите или второ – да заблуждават (блъфират). Заблуждаващите сигнали са предназначени за насочване на другите фирми в грешна посока, с цел да ги застави да предприемат или да не предприемат едни или други действия в интерес на източника на сигнала.

Сигналите на пазара приемат различни форми в зависимост от конкретното поведение на даден конкурент и начина за предаването на сигнала. При разглеждане на различните форми на пазарна информация е важно да се определя по какъв начин те могат да се използват като блъф и как да се отличи блъфирането от правдивата информация.

Основните форми на пазарна информация включват:

- *предварително публикувани намерения за действия на фирмата;*
- *публикуване на действия или на резултати след тяхното завършване;*
- *публични обсъждания на бизнес-средата на конкурентите;*
- *разясняване от конкурентите на собствените действия;*
- *тактика на конкурентите, сравнявана с техните възможности;*
- *начини за стартиране на стратегически промени и отклонения от минали цели и прецеденти;*
- *активен бранд.*

Предварителното заявяване на дейности включва формално публикуване от конкурента на бъдещи негови намерения (строеж на предприятие, промяна в цените и т.н.). Подобно публикуване не означава, че дейността задължителна ще се осъществи. Тя може да бъде отложена по различни причини или нищо да не бъде извършено, или да бъде отменено със следващо публикуване. Такъв подход повишава тяхната ценност като информация.

Предварителните публикации, като правило, могат да изпълняват различни информационни функции, които взаимно да не се изключват.

Първо, те могат да се използват като средство за обозначаване на намерения за действия с цел изпреварване на бъдещи конкуренти. Например, ако конкурент заявява за мащабно увеличаване на производствените си мощности, съответстващи на очакван темп на ръста в дадена бизнес-среда, това може да означава, че той се опитва да предотврати аналогични действия от други фирми, които биха довели да излишък от производствени мощности. Или, конкурент обявява пускането на нов продукт дълго преди неговата фактическа пазарна готовност, стремейки се по този начин да застави купувачите да чакат неговото появяване, вместо да придобиват реална продукция на конкурентите.

Второ, публикациите могат да служат като заплаха за мерки, които ще бъдат предприети, ако конкурент продължи да действа в съответствие със своя план. Например, ако на фирма „А“ стане известно за намеренията на конкурент „Б“ да намали цените на отделни видове своя продукция (или конкурент „Б“ заяви за подобни намерения), фирма „А“ може да обяви свое намерение да намали цените в значително по-голяма степен от тези на „Б“. Това може да спре намеренията на фирма „Б“, тъй като тя очаква, че фирма „А“ е готова да започне ценова война.

Трето, заявленията могат да се използват като тест за настроенията на конкурент с това предимство, че никой не е поемал върху себе си задължението да изпълни заявените дейности. Фирма „А“ може да обяви въвеждане на нова програма за гаранции на даден продукт, с цел да види как ще реагират другите фирми. Ако те реагират така, както се е очаквало, фирма „А“ може да отмени или измени своята програма, приспособявайки я към намеренията на конкурентите.

Четвърто, заявленията могат да информират за удовлетвореност или неудовлетвореност от конкурентната ситуация в бизнес средата в интервюта, изказвания и т.н. Заявление за действия, съвпадащи с действия на конкурент, могат да показват удовлетворение, а обявяването на контрамерки или друг подход към същия проблем – да показват неудовлетворение.

Пето, най-разпространени функции на публикациите са да служат като стъпки за примирение, насочени към минимизиране на провокациите, предизвикващи стратегически изменения в бизнес средата. Като правило, заявленията се правят с цел да се избегнат подобни изменения, предизвикващи вълна от нежелателни контрамерки и сблъсъци. Например, фирма „А“ може да реши, че в бизнес средата е необходимо да се коригира нивото на цените в посока към намаляване. Обявявайки предварително подобна мярка и обосновавайки нейните конкретни изменения с нивото на разходите, фирмата разчита, че фирма "Б" няма да възприеме намаляването на цените като агресивно средство за завоюване на пазарен дял и няма да предприеме енергични мерки за противодействие. Този подход широко се използва в

тези случаи, когато назряващото стратегическо изменение не означава агресия. Обаче, обявления от този род могат също да бъдат предназначени за внушаване у конкурентите на чувства за безопасност, с цел да се прикрие реализирането на агресивни действия, т.е. подобен сигнал може да има двойствен характер.

Шесто, публикации се правят и с цел да се избегнат скъпо струващи едновременни дейности в такива сфери като производствени капиталовложения, в които прекомерното нарастване на мощностите може да доведе до свръхпроизводство. Фирми могат да обявяват свои планове за разширяване дълго преди началото на тяхната реализация, облекчавайки по този начин конкурентите да не извършват в тези срокове подобни вложения, което минимизира излишното натрупване на мощности.

Седмо, публикациите могат да служат като средство за връзка с финансовите институции с цел стимулиране ръста на курса на акциите или повишаване репутацията на компанията. Това обстоятелство се използва като общоприета практика и се ръководи от съображенията на специалистите за връзки с обществеността, които да представят фирмената позиция в най-добър вид. Обявления от подобен тип могат да създадат и безпокойство, изпращайки недостоверни сигнали на конкурентите.

От посоченото следва, че конкурентна борба може да се води и въз основа само на намерения, без разход на каквито и да е реални ресурси. Затова е много важно правилно да се определя, явява ли се дадена предварителна публикация опит за лидерство или за примирение. Анализът следва да започва с оценка на възможните дългосрочни изгоди за конкурента в случай на реализиране на неговите опити за завоюване на водещи позиции. Ако тези изгоди са налице, целта за лидерство следва да се смята за достатъчно възможна. От друга страна, ако възможните изгоди са незначителни или ако конкурент, действайки в свой тесен интерес, може да постигне повече за сметка на внезапни действия, може да се предположи, че това е мотив за примирение. Друг ключ за определяне мотивите на конкурент е изборът на времето за публикации по отношение на сроковете за набелязано действие. Заявления, направени дълго преди действията, при други равни условия, имат голяма вероятност да бъдат примиренчески, макар да е трудно да се правят точни изводи.

Предварителните заявления се правят чрез различни средства за публикации. Избраното средство е също показател за лежащите в неговата основа мотиви. Една по-официална форма на съобщението означава, че фирмата цели то да бъде доведено до по-широка аудитория. По този начин фирмата желае да убеди обществеността и конкурентите в твърдостта на своите задължения и невъзможността за отказ от тях. Това също може да бъде признак за заплаха.

Публикуването на намерения за действия или на резултати след тяхното завършване често е свързано с фирмени съобщения на данни за разширяване на производството, за обемите на продажби и други резултати от действия, след като те са извършени. Подобни публични обявления могат да съдържат сигнали, особено, ако те предоставят информация, която трудно може да се получи по друг начин, и/или се явява неочаквана акция от страна на заявяващата фирма. Заявления след дадено събитие (постфактум) се правят с цел фирмата да бъде убедена, че другите фирми знаят и приемат с внимание съобщаваната информация и това да повлияе на тяхното поведение.

Както и всяка друга публикация, заявление постфактум може да бъде лъжливо или, което е по-вероятно, въвеждащо в заблуждение, макар това да се случва по-рядко. Много подобни публикации засягат такива данни, като например, показатели за пазарен дял. Те не попадат под одиторски контрол и не са задължителни за проверка.

Фирмите понякога публикуват въвеждаща в заблуждение информация, когато тя може да послужи като изпреварващо средство или да убеждава в твърдостта на намерения. Пример за подобна тактика може да служи включването на данни за близки продукти в показателя за обема на продажбите на някоя категория стоки, които не влизат в тази категория, но позволяват по този начин да се влияе върху пазарния дял на компанията. Друг пример може да бъде съобщението за проектната мощност на строящ се производствен обект като фактически въведен, макар за неговото построяване да се изискват допълнителни усилия. Ако фирмата успее да узнае или стигне до извод, че конкурентът е предоставил невярна информация, това може да послужи като важен сигнал за целите на конкурента и за неговите реални конкурентни възможности.

Публичните обсъждания на бизнес средата на конкурентите, в това число и прогнози за пазарното търсене, за цените, за разширяване на производството, за влиянието на външните фактори (например, ръста на цените на суровините и т.н.) е напълно обикновена дейност. Подобни коментари съдържат множество информация, която показва доколко са верни представите за фирмите, върху които вероятно се гради тяхната бизнес стратегия. В такъв случай, подобно обсъждане може да бъде съзнателен или несъзнателен опит да се заставят и

други фирми да се ръководят в своята дейност от същите представи и по този начин да се минимизира неразбирането на мотивите и възможността за сблъсъци. Подобни коментари могат също да съдържат скрит призив за спазване на определена ценова дисциплина. Като пример могат да послужат изказвания от рода:

Първо, че ценовата конкуренция все още е много остра, а в бизнес средата се провежда непристойна политика за прехвърляне на нарасналите разходи върху потребителя.

Второ, проблем в дадената бизнес среда е, че някои фирми не осъзнават неблагоприятните последствия от текущите цени при дългосрочни перспективи за ръст и производство на качествени стоки“.

Обсъждането на състоянието в дадена бизнес среда може също да съдържа косвени призиви към други фирми. Например, да разширяват своето производство така, че да не вкарват всички останали фирми в прекалена рекламна конкуренция, да не нарушават установения ред в отношенията с крупните потребители или например, скрити обещания за сътрудничество, ако другите действат по „съответен начин“.

Напълно възможно е фирма, която излиза с коментари, да интерпретира състоянието на бизнес средата в собствени интереси. Например, тя може да предпочита намаляване на цените и да представи цените на конкурентите като прекалено високи в случай, когато за конкурентите може да бъде по-изгодно да задържат цените на постоянно ниво. Това означава, че фирмите, възприемайки информация, съдържаща се в изказвания на свои конкуренти, следва сами да определят състоянието на бизнес средата и, подлагайки на съмнение намеренията на конкурент, да определят тези въпроси, в които представената им интерпретация на фактите за тях е изгодна.

Обсъждането и обясненията от конкурентите за собствените действия публично или на форуми са свързани с дискусия за възможни стъпки към крупни потребители или търговци на едро, които почти винаги стават известни на всички участници в бизнес средата. Това може съзнателно или несъзнателно да преследва три основни цели:

Първо – опит да се създаде у другите фирми представа за логиката на собствените действия и да ги подбуди към следване на този пример или да покаже, че предприеманото действие не следва да се смята за провокация.

Второ – обсъждането или обявяването на действията може да бъде изпреварващ жест. Фирми, пускащи на пазара нов продукт или излизащи на нов пазар, често наводняват пресата с истории за това, какви разходи и усилия им е струвало това, което по идея би следвало да спре другите фирми от подобни опити.

Трето – подобни обсъждания могат да информират за твърдостта в намеренията. Конкурентът подчертава мащабите на изразходваните ресурси и своя дългосрочен план в дадената бизнес среда, убеждавайки свои съперници, че той няма да отстъпи и не следва да бъдат правени опити да бъде притесняван.

Сравняването на тактиката на конкуренти с техните възможности е свързана с отчитане на обстоятелството какво конкурентът реално би могъл да направи при фактически избрано ниво на цените, мащаб на рекламната кампания, размер на допълнителните производствени капиталовложения, приети характеристики на продукта и т.н., което носи важна информация за неговите мотиви. Когато избраните от него стратегически параметри са по-лоши от възможните, от гледна точка на нанасяния ущърб на конкурентите, това е явен сигнал за агресия. Когато той може да нанесе по-голяма вреда на своите конкуренти с други действия (например, по-висока от оправданите разходи цена), обаче е избрал по-щадяща стратегия за своите конкуренти, това може да е показател за примиренческа позиция. Поведение на конкурент, което не съответства на негови тясно определени интереси, също може да предполага сигнал за примирение.

Намеренията за стартиране на стратегически промени и отклонения от минали цели и прецеденти предполагат въвеждане на нов продукт, първоначално на периферен пазар или непосредствено агресивно да се продава на основните потребители на съперниците. Промените в цените могат да засягат, преди всичко, продукция, която е основна в асортимента на конкурент, или продукти и пазарни сегменти, които нямат за него решаващо значение. Това или друго действие може да бъде извършено в нормално за такъв род акции време в годината или в необичаен момент от време. Това са само някои примери как начинът за реализирането на всяка стратегическа промяна може да помогне да се разграничи стремежът на конкурент да нанесе удар върху желанията да се предприеме действие, благотворно за цялата бизнес среда. Обаче, като правило, в такива мотиви може да присъства риск от блъфиране.

Когато, например, конкурент в миналото се е занимавал изключително със скъпо струващи видове продукция, а сега усвоява изделия в сегмента на ниските цени, това е показател за възможно преосмисляне на целите и представите за пазара. Подобно отклонение от минали цели във всяка друга стратегическа област носи аналогичен сигнал. Появата на

подобни отклонения може да наложи интензивен анализ на конкурента и повишено внимание към сигналите от негова страна.

Действие, различаващо се от свойствените за бизнес средата норми, като правило, е информация за агресия. Като пример могат да служат отстъпки в цената за продукти на бизнес средата, които никога преди това не са извършвани, при строеж на обекти в съвършено нова географска област или страна.

Активният бранд е разновидност на сигнал, който включва кръстосано противопоставяне. Фирма, която изпитва реална или потенциална заплаха от страна на конкурент, може да въведе бранд (продукт, услуга или идея, която публично се разграничава от други продукти, услуги или концепции), предназначен специално или заедно с други цели за противопоставяне или демонстративни намерения да се противопостави на фирмата, от която произтича заплахата. Активните брандове могат да се възприемат като предупреждение, средство за сдържане или ударна сила за противопоставяне на конкурентна атака. Те, също така, често се използват без сериозна подкрепа до началото на атаката, използвайки по този начин функцията на предупреждение. Активните брандове могат да се използват и като настъпателно средство, явявайки се част от по-сериозна кампания. Те описват и визуалните, и вербалните елементи на бранда, а също така включват определянето на типовете и видовете целева аудитория, избора на най-оптимален за целта бранд, в който влиза и географското сегментиране на аудиторията.

Централна характеристика на конкурентната борба в бизнеса е взаимната зависимост на участниците. Фирмите, изпитвайки върху себе си въздействията на един към друг, реагират на тях. В подобна ситуация, която икономистите определят като олигополна, резултатът от конкурентното поведение на една от фирмите зависи в известна степен от ответните действия на нейните съперници. Олигополът, заема междинна позиция между монопола (господството на една фирма) и „съвършената“ конкуренция (при която свободно се влиза във всяка бизнес среда и фирмите фактически не си взаимодействат, а се подчиняват на общите пазарни условия). В олигополна ситуация фирмите често са изправени пред дилемата: да преследват цели, съответстващи на интересите на бизнес средата, като цяло (и по този начин да не предизвиква ответна реакция) или да действат в собствени тесни интереси с риск да предизвика противодействие и ескалация на конкурентната борба в бизнес средата.

Неуспешните или ирационалните ответни действия на конкурентите (в това число и на по-слабите) често са в състояние да превърнат добри стратегически инвестиции в неуспех. Затова успех може да бъде осигурен само в случай, когато съществуващите конкуренти изберат или са принудени да изберат реакция, която не е деструктивна.

В условията на конкурентна бизнес среда действията на всяка фирма в голяма степен са в зависимост от поведението на нейните конкуренти. Изборът на правилно конкурентно противодействие предполага определяне на последствията, които най-добре ще работят в полза на собствените интереси на фирмата, т.е. без продължителни и сериозни сблъсъци, пълни с влошаване на резултатите за всички участници, и в същото време за постигне на по-добри резултати.

Един от моделите за решаване на този проблем е използването на по-мощни ресурси с цел преодоляване на конкурентната съпротива и постигне на резултат, който да съответства на интересите на фирмата. Подобен модел може да бъде определен като подход на „грубата“ сила. Той е възможен само, когато фирмата притежава явно предимство. Обаче, то осигурява стабилност само в този случай, когато фирмата е в състояние да запазва своето предимство, а конкурентите го приемат и не се опитват да променят своята позиция с неподходящи методи.

Съществуват фирми, които определят конкурентните действия изключително като игра на „грубата“ сила и за атака на съперника мобилизират всички свои ресурси. Предимствата и слабите страни на всяка фирма помагат да се отчитат нейните възможности и заплахите, пред които тя се намира. Обаче, даже пълната мобилизация на нейните ресурси може да бъде недостатъчна за осигуряване на нужния резултат, когато в отговор конкурентите проявят твърдост или започнат да преследват съвършено други цели. Нещо повече, притежаването на явни предимства не винаги практически е достъпно за всяка фирма, стремяща се да подобри своята конкурентна позиция. Също така, даже и при явни предимства, една война на изтощение води до разходи и за победителя, и за победения, и затова по-доброто решение е отказът от нея.

Конкурентните стратегически действия, освен всичко друго, са и игра на „хитруване“. Една фирма може да бъде така структурирана, а нейните действия да бъдат избрани и реализирани по такъв начин, че да се постигат максимални резултати независимо от наличните фирмени ресурси. В идеалния случай битка с ответни действия е най-добре да не започва. В условията на олигопол конкурентното противодействие може най-добре да се представи като

комбинация от всякакви груби сили, които фирмата е в състояние да мобилизира и да приложи достатъчно ефективно.

Друг модел за действие може да бъде основан на сътрудничество или да не съдържа заплаха за целите на конкурентите. Въз основа на детайлен анализ на целите и представите за действия по отношение на конкурентите могат да бъдат подбрани такива действия, които да позволят на фирмата да повиши своята рентабилност (или пазарен дял), без те да окажат неблагоприятно въздействие върху резултатите на значими конкуренти и да не представляват сериозна заплаха за техните бъдещи цели.

Могат да бъдат разграничени три модела за подобни действия:

• *първо* – действия, които едновременно подобряват позициите както на фирмата, така и на конкурентите, даже и тогава, когато те не отговарят със съответни противодействия;

• *второ* - действия, които подобряват позициите на фирмата и едновременно подобряват позициите на конкурентите, но само, ако по-голяма част от тях отговарят със съответстващи действия;

• *трето* - действия, които подобряват позициите на фирмата, тъй като конкурентите няма да отговорят със съответни действия.

В първия случай, ако подобни варианти бъдат намерени, те предполагат най-малък риск. Обаче, възможна е и ситуация, когато фирмата в своята дейност не само влошава своите резултати, но и създава странични ефекти за влошаване резултатите на конкурентите (например, при несполучлива рекламна кампания или неефективна структура на цените, нарушаваща формиралите се в бизнес средата съотношения). Подобни обстоятелства най-често са продиктувани от слабости в минали стратегически модели.

Вторият случай е по-разпространен. В повечето отрасли са възможни действия, способни да подобрят общата ситуация, когато всички фирми ги предприемат. Например, ако всички фирми съкратят гаранционния срок от две години на една година, всички ще икономисат от разходите и ще повишат своята печалба, при условие, че съвкупното търсене на продукцията в дадената бизнес среда не е чувствително към условията на предоставяните гаранции. При избор на действия, отнасящи се към този модел, ключови се явяват следните стъпки:

• *първо,* оценка за последствия от действията за всички и за всеки основен конкурент;

• *второ,* оценка на факторите, стимулиращи конкурента да се откаже от сътрудничество поради някакви изгоди.

Рискът при действия, успехът от които е обусловен от единството в действията на конкурентите, се проявява при възможност да бъде нарушено това единство. Този риск не е голям, когато избраното действие може да бъде прекратено без големи загуби. Обаче, такова действие може да бъда достатъчно рисково, когато потенциалът в позициите на фирми, които не участват в сътрудничеството, се окаже достатъчно значителен и стабилен.

За третия модел за действия е необходимо да се намери такъв подход, при който конкурентите няма да противодействат, тъй като не чувстват такава потребност. Например, конкурент в своята експортна политика може да се ориентира към един регион и да не придава сериозно значение на пазара в друг регион. В този случай действията на фирмата няма да се възприемат като заплаха, когато:

• *първо* - конкурентите не ги забелязват, тъй като основните изменения протичат вътре в самата фирма;

• *второ* - конкурентите не им придават особено значение, тъй като се ръководят от собствени представи за бизнес средата и за моделите на конкурентна борба в нея;

• *трето* - неблагоприятното въздействие върху резултатите на конкурентите, измерени чрез собствени критерии, ще бъде незначително или напълно отсъства.

За осъществяване на действие, подобряващо общите пазарни позиции, е необходимо конкурентите да отчитат, че то не ги заплашва. Подобни действия могат да бъдат обикновен и повтарящ се начин за адаптация към променящите се условия в бизнес средата. В същото време, всички три модела от незаплашващи действия са свързани с известен риск при тяхното погрешно възприемане като агресия.

В подобни ситуации фирмите могат да използват различни модели, за да избегнат една възможна погрешна представа за конкурентите, макар нито един от тях да не е в състояние да гарантира защита от „глупост“. Едно заявление за добри намерения е активното разпространяване на пазарна информация за извършвани промени, публични обсъждания и т.н. Например, детайлно подготвяна дискусия в пресата за повишаване на цените, оправдавани с ръст на разходите, помага за разпространяване на информация между участниците за техните намерения по отношение на ценовата политика. Фирма, предприемаща подобно действие, може също така и да дисциплинира конкурентите, които не я следват, например, чрез

избрана рекламна кампания или усилия за пласиране на стоката, насочени към потребителите на тези конкуренти.

В заключение следва да се отчита, че формулирането на дадена конкурентна бизнес стратегия по своята същност съдържа явно изразени или скрити представи за конкурентите и мотивите за техните действия. Пазарната информация има съществен принос в знанията на фирмата за конкурентите и по този начин подобрява качеството на представите за тях. Игнорирането на пазарните сигнали е все едно да се игнорират самите конкуренти.

Литература:

1. Sarov, A. and Tzvetanova E. (2022). Optimization model for assessing the economic effectiveness of biostimulants used in agriculture. Bulgarian Journal of Agricultural Economics and Management, Volume 67, Issue 4, 2022, pp. 25–34, Available on: https://journal.jaem.info/page/en/archive.php?issue=98
2. Pavlova, A. Publicly responsible advertising, Yearbook of the Department of Administration and Management, vol. 3, 2018, NBU, ISSN 2603-2961 (CD) and ISSN 2603-297X
3. Velev, M. (2008). Impact of marketing innovations on economic results and the competitiveness of enterprises, Competitive growth of the Bulgarian industry, Collection of reports, 2008, Sofia.
4. Velev, M. (2008). Influence of marketing innovations on economic results and competitiveness of enterprises, Competitive growth of the Bulgarian industry, Collection of reports, 2008, Sofia.

Session 5

Space Material Science and Nanotechnology

Chairman: Prof. Dimitar Teodossiev
Secretary: Daniela Shuleva

ОЦЕНКА НА СПЕЦИФИЧНАТА АКТИВНОСТ НА ^{14}C В СТЪКЛОВЪГЛЕРОДНИ ПОКРИТИЯ СЛЕД ПРОДЪЛЖИТЕЛЕН ПРЕСТОЙ НА МЕЖДУНАРОДНАТА КОСМИЧЕСКА СТАНЦИЯ

Димитър Теодосиев[1], Анна Бузекова-Пенкова[1], Димитър Тонев[2], Елена Гелева[2], Божидар Славчев[2]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика - Българска академия на науките
e-mail: dteod@space.bas.bg; a_bouzekova@space.bas.bg; dimitar.tonev@inrne.bas.bg; elenag@inrne.bas.bg; bobislavchev@inrne.bas.bg

Ключови думи: *Графит, стъкловъглеродни покрития, космическа радиация, спътникови експерименти и специфична активност ^{14}C.*

Резюме: *Оценена е специфичната активност на космогенния радионуклид ^{14}C в два типа образци от спектрално чист графит, пресован и покрит със стъкловъглерод. "Космическите" образци са престояли в открития космос на повърхността на МКС за 28 месеца. Резултатите получени за "космическите" образци са сравнени с "референтни", направени от същия материал, съхранявани на Земята за същия период. Измерванията са извършени с течносцинтилационен спектрометър Packard Tri-Carb 2770 TR/SL. Установено е, че космическата радиация води до леко повишаване на съдържанието на ^{14}C в „космическите" образци. Това повишаване на съдържанието на ^{14}C не влияе върху характеристиките на стъкловъглеродните покрития, съответно върху вариациите на отделителната работа за електрона по техните повърхности и съответно върху точността на измерванията на електричните полета, с използване на такива сензори.*

ASSESSMENT OF ^{14}C SPECIFIC ACTIVITY OF GLASS-CARBON COATINGS AFTER AN EXTENDED STAY ON THE INTERNATIONAL SPACE STATION

Dimitar Teodosiev[1], Anna Bouzekova-Penkova[1], Dimitar Tonev[2], Elena Geleva[2], Bozhidar Slavchev[2]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy - Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: dteod@space.bas.bg; a_bouzekova@space.bas.bg; dimitar.tonev@inrne.bas.bg; elenag@inrne.bas.bg; bobislavchev@inrne.bas.bg

Keywords: *Graphite, glassy carbon coatings, cosmic radiation, satellite experiments and specific activity 14C.*

Abstract: *The specific activity of the cosmogenic radionuclide ^{14}C was evaluated in two types of samples of spectrally pure graphite, pressed and coated with glassy carbon. The "space" samples have been in open space on the surface of the ISS for 28 months. The results obtained for the "space" samples are compared with "reference" ones made of the same material, stored on Earth for the same period. Measurements were performed with a Packard Tri-Carb 2770 TR/SL liquid scintillation spectrometer. Space radiation has been found to slightly increase the ^{14}C content of "space" samples. This increase in the ^{14}C content does not affect the characteristics of the glassy carbon coatings, respectively the variations of the separation work for the electron on their surfaces and, accordingly, the accuracy of the electric field measurements using such sensors.*

Въведение

Съвременните спътникови космически системи, за изследване процесите в околоземната плазма и техните взаимовръзки, включват обикновено няколко спътника, които работят едновременно на различни орбити [1–3]. За контрол на един от основните физични

параметри, необходим при характеризиране на явленията, свързани с преноса на енергия в системата слънчев вятър – магнитосфера – йоносфера – атмосфера на Земята, се измерват електричните полета. При измерването на квазипостоянни и променливи електрични полета от борда на спътници, се прилага основно методът на двойната сонда, с използване на сферични сензори [4–5].

С развитието на техниките и методите за измерване на електрични полета са използвани различни материали (сребро, злато, аквадаг, монолитен стъкловъглерод и др.) за изработка на сензорите, т. к. точността и чувствителността на измерванията зависи от материала [6]. В Институт за космически изследвания и технологии при Българска академия на науките (ИКИТ-БАН) е разработена технология за уплътняване и покриване на тънкостенни сферични графитни сензори със стъкловъглеродно покритие на работните им повърхности [7]. Такъв тип сферични сензори, успешно са реализирани в девет научни прибора за експерименти от борда на ИК-България 1300, ИК-24 Активен, ИК-25 АПЕКС, ИНТЕРБОЛ-2, субспътниците Магион-2, Магион-3, Магион-4, Магион-5, както и на Международната космическа станция (МКС), за периода от 1981 г. до днес [8–10].

Стъкловъглеродните материали (СВ), в това число и стъкловъглеродните покрития, превъзхождат останалите известни за момента материали, тъй като осигуряват минимални вариации на големината на отделителната работа за електроните по повърхностите на сензори със стъкловъглеродни покрития, от точка в точка [6, 11]. Използваните сферични сензори, трябва да работят в среда, характеризираща се с: резки промени в температурата; концентрацията на околната плазма; потоци електрони и йони с висока енергия; галактични космични лъчи; високоенергийна компонента на слънчевите космични лъчи; слънчево електромагнитно излъчване; бомбандиране на работните повърхности на сензорите от микрометеорити; висок вакуум и др.

В резултат на тези фактори, върху стъкловъглеродните покрития възникват различни физико-химични процеси, водещи до промени в работните им параметри. Някои от факторите, като: параметрите на околоземната плазма, слънчевата и ултравиолетовата (UV) радиация, засягат повърхностните слоеве от СВ покрития.

Целта е да се изследва влиянието на йонизиращите лъчения, в частност да се оцени специфичната активност на ^{14}C в материали със СВ покрития, след продължителното им пребиваване в условията на открития космос.

Въглерод-14 (^{14}C) е β-излъчващ радиоактивен изотоп на въглерода с период на полуразпадане 5730 г. ($T_{1/2}$ = $5.73.10^3$ y) и максимална енергия на β-частиците 156 keV (E_{max} = 156 keV). Среща се в околната среда като продукт на естествени и техногенни източници.

В природата се получава при взаимодействие на неутрони с ядра на азота в стратосферата или горните слоеве на тропосферата по реакцията:

(1) $^{14}_{7}N\ (n,p)\ ^{14}_{6}C$

Той е с най-голяма активност от космогенните радионуклиди.

Материали и методи

1. Материали

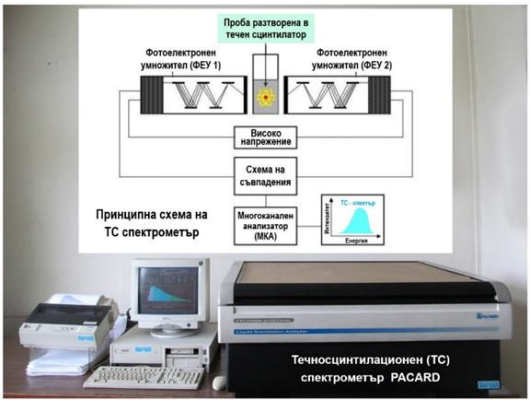
Изследвани и анализирани са образци от спектрално чист графит, уплътнен и покрит със стъкловъглерод, които са съхранявани в две различни среди. Едните образци са били в открития космос, монтирани на руския модул на Международната космическа станция за период от 28 месеца [10]. Условно наричани „космически“ образци. За постигане на висока надеждност (точност) при анализа на получените данни за „космическите“ образци, те бяха сравнени с „референтни“ образци, изработени от същия материал, но съхранявани на Земята за същия период.

2. Измервателна апаратура

За измерване на съдържанието на ^{14}C в пробите от графит със СВ покритие е използван течносцинтилационен спектрометър Packard 2770 TR/SL, разработен и програмно осигурен с възможности за едновременно определяне на два или три β-емитери или два β- и един α-емитер в една проба (α/β - разделяне) (Фиг.1).

Packard 2770 TR/SL притежава специфичен нискофонов режим на измерване. Този режим (LLCM = Hight Sensitivity Count Mode) понижава фона в областта на ^{3}H около 5 пъти и от

10 до 30 пъти в областта на ^{14}C. Ефективността на нискофоновия режим силно зависи от вида на използвания течен сцинтилатор, обема на пробата, tSIE и вида на използваните кювети.



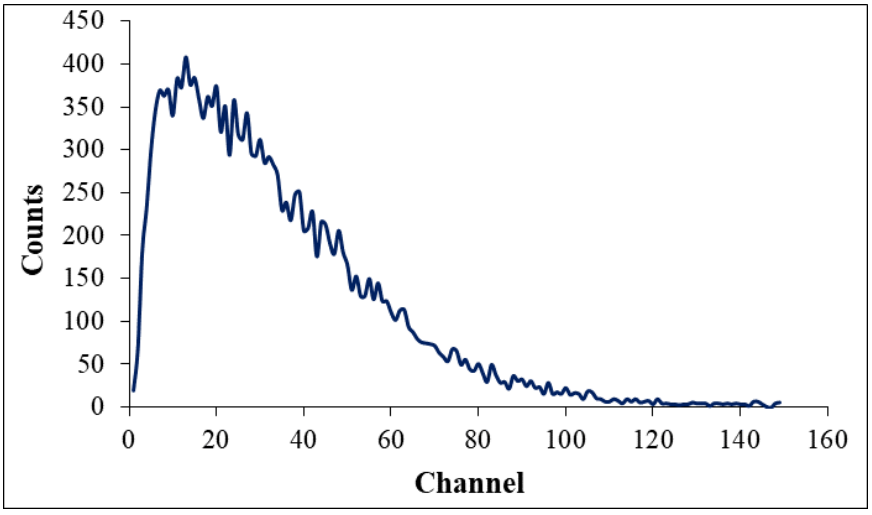
Фиг. 1. Общ вид и принципна схема на течносцинтилационен спектрометър Packard 2770 TR/SL

Спектрометърът има вградени детектори за регистрация на хемилуминисценция, електростатични заряди по кюветите, оцветени проби и разслояване (хетерогенност) на пробите. Степента на гасене в пробата се отчита по време на измерването чрез трансформиран индекс на спектъра, (tSIE), получен при облъчване на пробата с външен точков 133 Ba източник и е патент на Packard.

Калибровката на спектрометъра по ефективност се извършва автоматично по време на процедурата по нормализация с вътрешни незагасени стандарти на фирма Packard – тритий, радиовъглерод, "празна" и "фонова" кювета. За осигуряване на качеството на анализа се използват сертифицирани стандарти.

Чрез оптимизиране на ширината на енергийния прозорец за измерване (определяне на спектрометричната област на интерес (ROI) са установени оптималните условия на анализ.

За определяне на спектрометричната област на интерес (ROI) и ефективността на регистрация на спектрометричната апаратура е използван стандартен разтвор на ^{14}C (Фиг. 2). Определянето на ROI се извършва, чрез параметъра FOM (Figure of Merit) - отношението на квадрата на ефективността на регистрация на съответния прибор за ^{14}C към инструменталния фон на прибора (E^2/B). Въз основа на стойностите за FOM (максимална ефективност при минимален апаратурен фон), бета прозорецът за броене бе фиксиран между канали от 1 до 100. Ефективността на регистрация на спектрометъра е 55 %.



Фиг. 2. β-спектър на ^{14}C

3. Методика за анализ

Предварителна подготовка на пробите за анализ

Общите изисквания за предварителна подготовка на пробите включват пълно извличане на определяемия компонент от определено количество изходна проба в разтвор,

рационален избор на реагенти, приложимост към различни матрици, използване на минимален брой и количество реагенти и стабилност на получените разтвори при съхранение.

На радиохимичен анализ са подложени проби („космически“ образци) с маса от 190 до 400 mg, взети чрез остъргване на прахообразна проба от повърхността на СВ покрития – „лице и гръб“. За разтваряне на пробата е използвана смес от H_2SO_4, HNO_3 и $HClO_4$ в съотношение 4:1:1, а за уловител на ^{14}C – 3M NaOH.

Системата за анализ на ^{14}C се състои от нагревател, тригърла колба, магнитна бъркалка, делителна фуния, 4 броя абсорбери и вакуум помпа (Фиг. 3).



Фиг. 3. Експериментална установка за определяне на съдържанието на ^{14}C

На аналитична везна се претегля определено количество от прахообразната проба, която се прехвърля в тригърла колба. Към пробата се добавя 30 ml дестилирана вода, предварително преварена, поставя се магнитна бъркалка и системата се затваря.

В абсорберите се добавят по 25 ml 3 M NaOH, а в делителната фуния ~150 ml смес от H_2SO_4, HNO_3 и $HClO_4$ (4:1:1). Включва се вакуум-помпа и на капки през делителната фуния се прибавя сместа от киселини. Колбата се нагрява при 100 ºC в продължение на 120 мин. Вакуум-помпата се изключва и системата се разхерметизира през абсорберите. Разтворът от абсорберите се прехвърля в бехерова чаша, а абсорберите се промиват с 2 x 5 – 10 ml дестилирана вода като промивните разтвори се прехвърлят в същата чаша. Съдържащият се в пробата ^{14}C се утаява като бариев карбонат с разтвор на $BaCl_2$. Разтворът с утайката се оставя за едно денонощие, след което се филтрува през предварително претеглен мембранен филтър (0.45 μm). Утайката върху филтъра се промива с дестилирана вода до достигане на pH 7 на изтичащия разтвор.

Получената утайка се изсушава при 90 – 100ºC до постоянно тегло, стрива се до фин прах и се прехвърля количествено в ексикатор. На аналитична везна, директно в предварително маркирано сцинтилационно шишенце се претегля аликвота от стритата карбонатна утайка, след което се добавят 7 ml дестилирана вода. Пробата се диспергира в ултразвукова вана и към нея се добавят 13 ml сцинтилационен коктейл Insta Gel Plus. След разклащане до образуване на гелообразна маса, тя се измерва с помощта на LSC [12]. За фонова проба е използван химически чист $BaCO_3$ с маса аналогична на тази на пробите. Фоновата проба представлява свежо приготвен коктейл с: обемно отношение проба/сцитилатор, тип на сцинтилатора, тип на сцинтилационната кювета, наподобяващи тези на реалната проба.

Ефективността на регистрация е определена, чрез вторичен стандарт на ^{14}C, проследим към „референтен“ материал (образец).

Резултати и дискусия

В таблица 1 са представени получените средни резултати от проведените изследвания на специфичната активност на ^{14}C за „космически“ и „референтни“ образци.

Данните за изследваните проби от „космически“ образци – лице и гръб варират в тесни граници от 0.23 до 0.25 $Bq.g^{-1}$ със средна стойност 0.24 $Bq.g^{-1}$.

От резултатите в таблицата се вижда, че специфичната активност на ^{14}C за „космически“ образци – лице е малко по-висока от специфичната активност на радионуклида в „космически“ образци - гръб. Лицевата страна на „космическите“ образци е в директен контакт с открития космос и е подложена на влиянието на йонизиращата радиацията.

Точното определяне на локалните погълнати дози е важно за да се вземе предвид генерираната вторична радиация в материалите, по-специално неутроните.

Специфичната активност на ^{14}C в „референтни“ образци е под границата на регистриране на използваната апаратура [13].

Таблица 1. Специфична активност [Bq.g^{-1}] на ^{14}C в “референтни” и “космически” образци

Образци	„Космически“		„Референтни“
^{14}C [Bq.g^{-1}] Mean ± SD	„лице“	„гръб“	“лице“
	0.25 ± 0.03	0.23 ± 0.03	≤ 0.15*

* мининална детектируема активност

Заключение

За първи път е проведено изследване на специфичната активност на ^{14}C в графитни образци, покрити със СВ, съхранявани в открития космос и в земни условия за период от 28 месеца за установяване влиянието на космическата радиация върху материалите. Получените резултати позволяват да се направят следните изводи:

- Наблюдават се различия между съдържанието на изследвания космогенен радионуклид ^{14}C в „космически“ образци - лице и „космически“ образци - гръб.
- Установяват се малки различия между съдържанието на ^{14}C в „космически” и „референтни” образци. При „референтните“ образци стойността на ^{14}C е под минималната детектируема активност.

Въз основа на проведеното изследване на съдържанието на ^{14}C в „референтни” и „космически” проби може да се заключи, че продължителният престой в околоземната орбита и влиянието на космическата радиация води до образуване на ^{14}C със средна специфична активност ~ 0.24 Bq.g^{-1}.

Тези резултати са първоначални и са необходими допълнителни изследвания за да се потвърди влиянието на йонизиращите лъчения (космическата радиация) върху СВ покрития на графитни образци, след престой от 28 месеца в открития космос.

Благодарност: Това изследване е извършено с финансовата подкрепа на Фонд научни изследвания, договор No. КП-06-Н77/1, 28.11.2023.

Литература:

1. Bonnell, J.W., F.S. Mozer, G.T. Delory, A.J. Hull et al. The Electric Field Instrument (EFI) for THEMIS, Space Sci Rev, 2008, 141, 303–341, DOI 10.1007/s11214-008-9469-2.
2. Harvey, P., Mozer, F. S., Pankow, D., Wygant et al. The electric field instrument on the Polar satellite, Space Sci. Rev., 1995, 71, 583–596.
3. Torkar, K., Riedler,W., Escoubet, C. P., Fehringer et al. Active spacecraft potential control for Cluster – implementation and first results, Ann. Geophys., 2001, 19, 1289–1302, SRef-ID: 1432-0576/ag/2001-19-1289.
4. Pedersen, A., F. Mozer, G. Gustafsson. Electric field measurements in a tenuous plasma with spherical double probes, in Measurement Techniques in Space Plasmas: Fields. Geophysical. Monograph, 1998, 103.
5. Mozer, F. S. Analyses of techniques for measuring DC and AC electric fields in the magnetosphere, Space Sci. Rev., 1973, 14, 272–313.
6. Teodosiev, D. K., N. V. Isaev. Physicochemical properties of probes for measuring electric fields in the near- earth plasma, Chem. Phys. Reports, 2001, 19 (6), 1165–1175.
7. Теодосиев Д., И. Печеняков, Й. Георгиев, П. Петров и др. Метод за импрегниране и покриване на порьозни огнеупорни материали със стъкловъглерод, Авторско свидетелство №31847, 11 май 1982.

8. Stanev G., M. Petrunova, D. Teodosiev, I. Kutiev et al. An instrument for DC electric and AC elect¬ric and magnetic field measurements aboard "Intercosmos-Bulgaria-1300" satellite, Adv. Space Res., 1983, 2(7), 43.
9. Teodosiev, D., G. Stanev, G. Galev, S. Neichev et al. Probes for Measurements of Electric Fields on the INTERBALL-2 Satellite (IESP-2M Instrument), Space Research, 2000, 38(6), 614–618.
10. Bouzekova-Penkova A., S. Klimov, V. Grushin, O. Lapshinova et al. Space experiment “Obstanovka (1-stage)”, block DPPM of the Russian segment of the International Space Station (ISS), Aerospace Res. in Bulgaria, 2023, 35, 156–164.
11. Ritty D., F. Wachtel, R. Manquenoille, F. Ott, B. Donnet. Condictions necessary to get meaningful measurements from the Kelvin method, J. Phys. E: Sci. Instrum., 1982, 15, 310–317.
12. Hou X., Rapid analysis of ^{14}C and ^{3}H in graphite and concrete for decommissioning of nuclear reactor, Applied Radiation and Isotopes, 2005, 62, 871–882.
13. Teodosiev D., A. Bouzekova-Penkova, R. Koleva, D. Tonev et al. Investigation of the influence of ionization radition on glassy carbon coatings, after long stay in the outer space on the International Space Station (ISS), C. R. Acad. Bulg. Sci., 2023, 76(10), 1495–1504.

S E S 2 0 2 4
Twentieth Anniversary International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
22 – 25 October 2024, Sofia, Bulgaria

AEROSPACE APPLICATIONS OF SHAPE MEMORY ALLOYS

Adelina Miteva

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

Keywords: *space materials science, shape memory alloys, aerospace applications, smart materials in aerospace, perspective materials, metal alloys*

Abstract: *Shape Memory Alloys (SMAs) are advanced materials with unique properties, such as the shape memory effect and superelasticity, making them highly valuable for aerospace applications. This paper reviews their use in actuators, morphing structures, vibration control, thermal management, and damage detection systems. SMAs improve fuel efficiency, adaptability, and performance in applications like morphing wings and reconfigurable spacecraft. Despite challenges like fatigue and cost, recent advancements are overcoming these limitations. This review highlights SMAs' current roles and future potential in next-generation aerospace systems.*

АЕРОКОСМИЧЕСКИ ПРИЛОЖЕНИЯ НА СПЛАВИ С ПАМЕТ НА ФОРМАТА

Аделина Митева

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

Ключови думи: *космическо материалознание, сплави с памет на формата, аерокосмически приложения, интелигентни материали в аерокосмическото пространство, перспективни материали, метални сплави*

Резюме: *Сплавите с памет на формата (SMAs) са усъвършенствани материали с уникални свойства, като ефект на памет на формата и свръхеластичност, което ги прави много ценни за космически приложения. Тази статия разглежда тяхното използване в задвижващи механизми, преобразуващи структури, контрол на вибрациите, управление на топлината и системи за откриване на повреди. SMA подобряват горивната ефективност, адаптивността и производителността в приложения като трансформиращи се крила и преконфигурируеми космически кораби. Въпреки предизвикателства като умора и разходи, последните постижения преодоляват тези ограничения. Този преглед подчертава настоящите роли и бъдещия потенциал на SMA в аерокосмическите системи от следващо поколение.*

Introduction

Shape Memory Alloys (SMAs) [1] are a class of smart materials that have the unique ability to recover their original shape after being deformed when exposed to specific stimuli, such as temperature changes. These alloys exhibit two remarkable properties: the shape memory effect (SME) and superelasticity, which have made them increasingly attractive in various high-tech industries [2–6]. Among these, the aerospace sector stands out as one of the most promising fields for the application of SMAs due to its stringent demands for lightweight, adaptive, and high-performance materials.

In aerospace engineering, materials are required to withstand extreme conditions, including large temperature variations, high mechanical loads, and long-term fatigue. Traditionally, materials used in aircraft and spacecraft have been optimized for strength, durability, and weight, but the introduction of smart materials like SMAs has opened new possibilities for reconfigurable structures, adaptive systems, and enhanced durability. SMAs provide unique advantages, such as the ability to replace heavier, complex mechanical systems with lightweight, self-actuating components. These

capabilities align perfectly with the ongoing push for more fuel-efficient, reliable, and adaptable aerospace technologies.

The purpose of this paper is to explore the diverse applications of SMAs in the aerospace industry [2–4]. By integrating SMAs into aircraft and spacecraft systems, engineers can develop morphing wings, SMA-based actuators, vibration control mechanisms, and thermal management systems that significantly improve the performance, safety, and efficiency of modern aerospace vehicles. While SMAs hold great potential, they also present certain challenges, such as fatigue resistance, temperature sensitivity, and high production costs, which must be addressed for widespread adoption.

This article will first review the fundamental properties and behavior of SMAs, followed by an examination of the specific aerospace applications where these materials have already been implemented or have strong potential for future use. Additionally, the limitations and ongoing advancements in SMA technology will be discussed, along with future research directions to further enhance their integration into aerospace systems. Through this review, we aim to provide a comprehensive understanding of the current and future role of SMAs in aerospace engineering.

The main properties of the shape memory alloys

A Shape Memory Alloy (SMA) is a type of metal alloy that can return to a pre-defined shape after being deformed when exposed to a specific stimulus, usually heat. The main properties of such alloys include:

1. Shape Memory Effect (SME): When the alloy is deformed at a lower temperature, it can "remember" its original shape and revert to that shape when heated above a critical temperature.

2. Superelasticity (or Pseudoelasticity): At certain temperatures, the alloy can undergo large deformations (up to 8-10%) and recover its original shape without the need for heating, due to stress-induced phase transformations (martensitic transformation).

3. Transformation Temperature: Each alloy has a specific temperature at which the transition between the austenitic and martensitic phases occurs. This temperature can be changed by alloying or heat treatment.

4. Corrosion Resistance: Many shape memory alloys, especially nickel-titanium (nitinol), have good anti-corrosion properties, making them suitable for use in aggressive environments.

5. High Strength and Toughness: SMAs have high strength and toughness, allowing them to withstand significant loads.

6. Good Biocompatibility: Some alloys, such as nickel-titanium, have excellent biocompatibility, making them ideal for medical applications such as dentistry and orthopedics.

7. Artisanal processing and forming: Shape memory alloys can be easily processed and formed into various products, which opens up wide possibilities for their application in various industries.

8. Energy Efficiency: In some applications, such as drive mechanisms, SMAs can achieve high efficiency by using thermal energy for activation.

9. Relatively low density: This property makes them attractive for use in the aerospace industry where structural mass is important.

Common SMAs include Nitinol (Nickel-Titanium alloy) and copper-based alloys, and they are used in a variety of applications, such as medical devices (e.g., stents), robotics, consumer products, and aerospace components.

Types of shape memory alloys depending on the composition

Shape Memory Alloys (SMAs) can be classified based on their composition, which defines their properties, phase transformation temperatures, and performance. Here are the main types of SMAs based on their composition:

1. Nickel-Titanium Alloys (Nitinol)

• Composition: Approximately 50% Nickel (Ni) and 50% Titanium (Ti).

• Properties:

- Excellent shape memory effect and superelasticity.
- High fatigue resistance and corrosion resistance.
- Biocompatible, making it ideal for medical applications.

• Applications: Stents, medical implants, orthodontic wires, actuators, and aerospace components.

2. Copper-Based Alloys

• Copper-Aluminum-Nickel (Cu-Al-Ni)

- Composition: Primarily copper, with aluminum (around 11-14%) and nickel (around 3-5%).

- Properties: Moderate shape memory effect, lower cost than Nitinol, but more brittle and less durable.

- Applications: Industrial actuators, couplings, and aerospace components.

• Copper-Zinc-Aluminum (Cu-Zn-Al)

- Composition: Copper and zinc (with aluminum as a stabilizing element).

- Properties: Similar to Cu-Al-Ni but generally more affordable. However, less stable over repeated cycles and more susceptible to fatigue.

- Applications: Thermomechanical devices, actuators, and less critical structural components.

• Copper-Zinc (Cu-Zn)

- Composition: Primarily copper and zinc.

- Properties: Cheaper, with reasonable shape memory properties but inferior fatigue resistance.

- Applications: Often used in research, simple switches, and actuators.

3. Iron-Based Alloys

• Iron-Manganese-Silicon (Fe-Mn-Si)

- Composition: Iron (Fe), with manganese (Mn) and silicon (Si) as key alloying elements.

- Properties: Lower cost, lower shape memory effect, and generally used for applications that require larger, slower changes in shape.

- Applications: Damping systems, pipe couplings, and less demanding structural components.

• Iron-Nickel-Cobalt-Titanium (Fe-Ni-Co-Ti)

- Composition: Iron alloyed with nickel, cobalt, and titanium.

- Properties: Higher strength, moderate shape memory effect, and better temperature performance compared to Fe-Mn-Si.

- Applications: Used where cost efficiency is important, such as in industrial applications and coupling devices.

4. Gold-Cadmium (Au-Cd)

• Composition: Gold (Au) and cadmium (Cd).

• Properties: Exhibits shape memory properties but is not commonly used due to the high cost of gold and toxicity concerns related to cadmium.

• Applications: Limited to research and experimental purposes.

5. Silver-Cadmium (Ag-Cd)

• Composition: Silver (Ag) and cadmium (Cd).

• Properties: Similar to gold-cadmium alloys but more cost-effective. Cadmium toxicity limits widespread application.

• Applications: Primarily used in experimental research.

6. Other Experimental or Specialty Alloys

• Nickel-Iron-Gallium (Ni-Fe-Ga): Research-oriented alloys showing promising magnetic shape memory properties, which are still under development for specific applications like sensors and actuators.

• Titanium-Niobium (Ti-Nb): Investigated for medical applications due to its biocompatibility and lower elastic modulus compared to Nitinol.

Key Differences Based on Composition:

• Nickel-Titanium (Nitinol): Offers the best overall performance in terms of shape memory, superelasticity, and fatigue resistance.

• Copper-Based Alloys: More cost-effective but less durable, with a higher risk of brittleness and lower fatigue resistance.

• Iron-Based Alloys: Lower performance compared to Nitinol but useful for industrial applications where cost and high-temperature performance are priorities.

• Gold/Silver-Cadmium: Mainly for experimental purposes, with limited practical use due to cost and toxicity concerns.

Each composition offers a unique balance of properties suited for different applications, ranging from medical devices to industrial actuators and aerospace components.

Types of SMAs depending on the crystal structure

Shape memory alloys (SMAs) can be classified by their crystal structure type. The main types include:

1. Austenitic alloys:

- These alloys have a face-centered cubic (FCC) or body-centered cubic (BCC) crystal structure at high temperatures (austenite). Upon cooling, they transform into a martensitic phase, which has lower symmetry (usually trigonal or orthogonal).

- Example: nickel-titanium alloys (nitinol), which are composed of nickel and titanium in varying ratios.

2. Martensitic alloys:

- These alloys have a martensitic phase that forms when the austenitic phase is rapidly cooled. Martensite can have different crystal structures, depending on the composition of the alloy. The main types of martensite include trigonal, orthogonal, and monoclinic structures.

- For example, in nickel-titanium alloys, martensite can be trigonal and orthogonal.

3. Iron-based alloys:

- Some iron-containing alloys also exhibit shape memory. In such alloys, martensitic transformation can occur depending on the alloying (e.g., carbon, manganese, or nickel) and the processing conditions.

- Example: iron-nickel alloys.

4. Copper-based alloys:

- Copper can also be used in shape memory alloys. These alloys can exhibit lower transformation temperatures than nickel-titaniums.

- Example: copper-aluminum and copper-zinc.

5. Aluminum-based alloys:

- Some aluminum alloys also have shape memory, although they are less common

Historical development of SMAs

The development of SMAs has a rich history with key milestones:

Early Discoveries (1930s - 1950s) - 1932: The "shape memory" concept emerged when some alloys returned to a set shape upon heating; 1950s: The term "shape memory" became linked to specific alloys like nickel and titanium.

Key Innovations (1960s - 1980s) - 1962: Discovery of nickel-titanium alloy (Nitinol) showing the shape memory effect; 1960s: Research explored various SMA compositions.

Commercialization (1980s - 1990s) - 1980s: SMAs were first used in medical devices; 1990s: Improved processing and expanded applications.

Advancements (2000s - Present) - 2000s: Research enhanced SMA properties; 2010s: Increased use in smart materials, additive manufacturing boosting possibilities.

SMAs' ability to "remember" shapes continues to drive innovations with promising future applications.

Common Shape Memory Alloys Used in Aerospace [2–4]

Nickel-Titanium (Nitinol):

• Primary Material: Nitinol, an alloy of nickel and titanium, is the most widely used shape memory alloy in aerospace applications due to its superior properties. It exhibits both shape memory effect and superelasticity, making it ideal for components requiring flexibility, precision, and durability. Its high fatigue resistance allows it to withstand repeated cycling without significant loss in performance, and its biocompatibility makes it suitable for use in medical applications, although its primary value in aerospace lies in its mechanical properties.

• Key Applications: Nitinol is commonly used in actuators, where the shape memory effect is harnessed to create motion when the material is heated. Actuators based on Nitinol are used for deploying spacecraft components like antennas and solar panels. Nitinol is also employed in fasteners that self-tighten when heated, ensuring secure connections in critical aerospace systems. Another innovative application of Nitinol is in morphing structures, such as adaptive wing surfaces or control surfaces that change shape in flight to optimize aerodynamics.

Copper-Based Alloys:

• Cu-Al-Ni and Cu-Zn-Al Alloys: Copper-based shape memory alloys, such as Cu-Al-Ni and Cu-Zn-Al, offer a more cost-effective alternative to Nitinol. These alloys are capable of exhibiting the shape memory effect but generally have lower fatigue resistance and are less durable compared to Nitinol. However, their affordability makes them suitable for specific applications where high fatigue life is not critical.

• Aerospace Applications: While copper-based SMAs are not as widely used in aerospace as Nitinol, they are applied in areas where cost efficiency is a priority. These alloys have been considered for use in non-critical components, such as brackets, damping devices, and temperature-triggered mechanisms, where the shape memory effect can be exploited without the need for the superior fatigue properties of Nitinol.

Other Experimental SMAs:

• Iron-Based SMAs: Fe-based SMAs are gaining interest due to their low cost and potential to withstand higher temperatures compared to nickel-titanium alloys. Although they have lower

recoverable strain and exhibit reduced shape memory properties, they could be suitable for applications where cost and temperature resistance are more important than elasticity. Research is ongoing to enhance their performance and durability in aerospace contexts.

• Magnetic Shape Memory Alloys (MSMAs): Novel magnetic SMAs, such as Ni-Mn-Ga, are being explored for their ability to change shape in response to a magnetic field rather than heat. These materials are still in the experimental phase but could offer new possibilities for aerospace applications, especially in sensor and actuator systems where rapid, controlled shape change is needed without thermal activation. MSMAs show promise in reducing the reliance on complex mechanical systems by offering precise, responsive motion control through magnetic actuation.

Aerospace Applications of Shape Memory Alloys

1. Actuators (see Fig. 1)

• Role of SMAs in Actuation: Shape Memory Alloys (SMAs) play a crucial role in actuation systems for deploying and controlling various aerospace components. When subjected to a temperature change, SMAs contract or expand, enabling precise mechanical movement. These materials are used in landing gear systems, wing flaps, and morphing wings, where they help enhance flight performance and operational efficiency. For example, in morphing wings, SMAs adjust the wing shape during flight to improve aerodynamics and fuel efficiency.

• Case Studies: One notable application of SMA-based actuators is in satellites, where they are used for deploying antennas and solar panels. SMA actuators, due to their lightweight and reliable performance, are essential for space applications. Another example is their use in military aircraft, where SMAs help adjust control surfaces in real time.



Fig. 1. Illustration of a SMA actuator used in aerospace applications.
The image highlights its internal structure and components in a futuristic aerospace setting (made by AI)

2. Fasteners and Couplings

• Self-Tightening Fasteners: SMAs are used in aerospace as self-tightening fasteners that can adapt to temperature changes. Upon heating, SMA fasteners tighten, ensuring secure connections, which is especially useful in high-vibration environments like aircraft engines or wings. These fasteners not only improve reliability but also simplify assembly and disassembly, reducing the need for manual intervention during maintenance.

• Vibration Reduction: SMA couplings can reduce vibration in critical components, contributing to the overall stability of the aircraft structure. These couplings adjust to dynamic loads, helping to extend the lifespan of parts and minimizing wear and tear.

3. Vibration Damping and Noise Reduction

• Vibration Damping: SMAs are effective in damping vibrations and reducing noise in aerospace systems, which is crucial for maintaining the stability and durability of aircraft structures. SMAs work by absorbing and dissipating mechanical energy through the phase transformation between martensite and austenite.

• Examples: In landing gear systems, SMAs reduce vibrations during takeoff and landing, enhancing comfort and structural integrity. Similarly, in engine components, SMA-based damping systems help minimize harmful vibrations caused by high-speed rotating machinery, improving operational performance and extending the life of the components.

4. Morphing Aircraft Structures

• Adaptive or Morphing Wings: One of the most exciting applications of SMAs in aerospace is in morphing aircraft structures, where SMAs are used to change the shape of wings or control surfaces during flight. These adaptive systems help optimize aerodynamic performance, allowing aircraft to adjust to different flight conditions (e.g., cruise, takeoff, landing) without relying on complex mechanical actuators.

• Future Prospects: The potential of SMAs in fully adaptive aerospace designs is vast. Future aircraft may feature entirely morphing structures that can change shape on demand, improving fuel

efficiency, speed, and maneuverability. SMAs offer a lightweight, energy-efficient solution to achieving such adaptability.

5. Spacecraft and Satellite Applications

• Deployment of Components: In space systems, SMAs are critical for deploying antennas, solar arrays, and heat shields. Their ability to generate motion through simple thermal activation makes them ideal for applications where reducing weight and complexity is a priority. Since space systems often require minimal manual intervention, SMAs are perfect for autonomous deployment mechanisms.

• Minimizing Weight and Complexity: By replacing traditional motors and actuators with SMA-based systems, space missions benefit from reduced weight and improved reliability. This not only minimizes launch costs but also simplifies the design and operation of space vehicles. SMAs also contribute to the structural integrity of heat shields and other essential components, ensuring protection during re-entry or other critical phases of spaceflight.

SMAs offer innovative solutions across a wide range of aerospace applications, improving efficiency, performance, and reducing system complexity. Their unique properties make them indispensable for future developments in adaptive and smart aerospace technologies.

While SMAs offer remarkable benefits for aerospace applications, they face challenges related to cost, long-term durability, temperature sensitivity, and manufacturing difficulties. Addressing these limitations is essential for expanding the role of SMAs in future aerospace innovations.

Future trends in SMAs for aerospace include the development of advanced materials with superior performance, the integration of SMAs into smart systems, the use of 3D printing for customized components, and the potential creation of fully adaptive aircraft. These innovations hold the promise of transforming aerospace designs, making them more efficient, responsive, and adaptive to changing conditions.

Conclusions

Shape Memory Alloys (SMAs) are valuable in aerospace due to their ability to change shape with temperature variations. They are utilized in actuators, fasteners, vibration damping systems, morphing structures, and spacecraft mechanisms, providing advantages like reduced system complexity and improved reliability. However, challenges such as high costs, temperature sensitivity, and long-term durability need to be addressed for broader adoption.

The role of SMAs in aerospace is expected to grow as advancements in materials and manufacturing improve performance and affordability. New alloys with better fatigue resistance and temperature stability will address current limitations, while integrating SMAs into smart systems will enable adaptive aircraft designs. Additive manufacturing allows for the customization of SMA components, enhancing their utility in aerospace sectors.

Ongoing research focuses on improving material properties such as fatigue strength and temperature control, as well as innovative integration methods for complex aerospace systems. Key focus is on optimizing performance in extreme conditions, as well as exploring fully adaptive aircraft and spacecraft equipped with SMA technology. Further investment will enable the transformative potential of SMA to be exploited in aerospace engineering.

References:

1. Suvarna, K. S., R. V. Ram, H. R. Prakash, et. al. A review of shape memory alloys: origins, occurrence, properties, and their applications. Recent Advances in Material, Manufacturing, and Machine Learning, 2024, 1–8.
2. Nicholson, D. E., F. Calkins, J. H. Mabe. Shape Memory Alloy Rotary Actuators for Aerospace: Part 1 Design and Testing, In International Conference on Shape Memory and Superelastic Technologies, . ASM International, 2024, 84840, 66–67, https://doi.org/10.31399/asm.cp.smst2024p0066.
3. Twala, B., H. Kaur, A. Thakur, et.al. A Review of Shape Memory Alloy Applications and Future Trends in the Aerospace Industry. Available at SSRN 4813587, 2024.
4. Hartl, D. J., D. C. Lagoudas. Aerospace applications of shape memory alloys. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering, 2007, 221(4), 535–552, https://doi.org/10.1243/09544100JAERO211.
5. Wu, M. H., L. M. Schetky. Industrial applications for shape memory alloys, In Proceedings of the international conference on shape memory and superelastic technologies, Pacific Grove, California, 2000, 44(1), 171–182.
6. Balasubramanian, M., R. Srimath, L. Vignesh, S. Rajesh. Application of shape memory alloys in engineering–A review. In Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, 2021, 2054 (1), 012078, DOI 10.1088/1742-6596/2054/1/012078.

СВОЙСТВА И ПРИЛОЖЕНИЯ НА СПЛАВ Ti-6Al-4V

Петя Табакова, Анна Петрова

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mails: tangrascorp@gmail.com; ani@phys.bas.bg

Ключови думи: *Твърдост, модул на еластичност, плътност*

Резюме: *Сплав Ti-6Al-4V е една от най-често използваните титанови сплави с приложения, изискващи ниска плътност и химична стабилност в космическата и автомобилната индустрии. Използва се за направата на структурни части в двигателите, ракетни дюзи, пневматични части, лагери, катализатори и др. Намира приложения и в медицината за биомеханични изделия (импланти и протези).*

Разгледани са физико-химичните свойства на тази сплав и метод за подобряване на повърхностните ѝ характеристики.

PROPERTIES AND APPLICATIONS OF Ti-6Al-4V ALLOY

Petya Tabakova, Anna Petrova

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mails: tangrascorp@gmail.com; ani@phys.bas.bg

Keywords: *Hardness, elasticity, density*

Abstract: *One of the most commonly used titanium alloys with applications requiring low density and chemical stability in the aerospace and automotive industries is Ti-6Al-4V. It is used to make structural parts in engines, rockets nozzles, pneumatic parts, bearings, catalysts, etc. It also finds applications in medicine for biomechanical products (implants and prostheses).*

The physico-chemical properties of this alloy are examined and a method for improving its surface characteristics.

Въведение

Сплав Ti-6Al-4V, наричана още TC4, Ti64 или ASTM клас 5, е титанова сплав с висока якост и устойчивост на корозия. Състои се предимно от титан с малки добавки от алуминий и ванадий. Разработена е през 1954 г. като материал за брони във военната промишленост, но за разлика от алуминиева сплав Б95, разработена 1950 г. и която не се използва днес, областите на приложенията на Ti-6Al-4V се разширяват.

Добавянето на алуминий и ванадий спомага допълнително за подобряване на механичните свойства на сплавта.

Тази сплав предлага високо съотношение якост/тегло, корозоустойчивост и добра биосъвместимост. Употребата ѝ при екстремни условия разширява областите на приложения там, където се търсят надеждни материали за машинни детайли и инструменти (Фиг. 1). Има ограничаващи недостатъци като ниски трибологични свойства.

Интерес за учените представлява 3D изработването на материали. В [1] по тази технология, е 3D отпечатана сателитна опорна скоба. Тези опорни скоби са проектирани да носят масата на камера и служат като свързваща стойка към сателитното шаси. Процесът на проектиране включва изследване на решетъчни структури и варианти за оптимизиране на топологията за три опорни крака, изработени от сплав Ti-6Al-4V с тегло 26 g. Постигната е термична изолация на детектора (–35°C) от долната плоча (0°C), устойчивост на динамичните сили и вибрации, изпитвани по време на изстрелването, като гарантира, че компонентите

остават сигурни и функционални и трето - намаляване на теглото с 50% спрямо използваната преди това стомана.
Стандартните спецификации на Ti-6Al-4V са:

- AMS: 4911, 4928, 4965, 4967, 6930, 6931, T-9046, T9047;
- ASTM: B265, B348, F1472;
- MIL: T9046 T9047;
- DMS: 1592, 1570, 1583;
- Boeing: BMS 7-269.

Химични свойства на сплав Ti-6Al-4V

Титанът и сплавите му принадлежат към термодинамично нестабилните метали, които са активни. Образува естествен окисен слой (титанов диоксид) с водните пари от въздуха. Този слой е стабилен и защитава метала.



Фиг. 1. Детайли, изработени от сплав Ti-6Al-4V

Изследват се образци от сплав Ti-6Al-4V с химичен състав: Ti - 88.6 wt.%, Al - 6 wt.%, V - 4 wt.%, Fe - 0.25 wt.%, O - 0.20 wt.%, C - 0.08 wt.%, N - 0.05 wt.%.

В зависимост от приложенията са възможни вариации в тегловните проценти на легиращите елементи. Това е показано в Таблица 1, където са дадени максималните стойности на съставните химични елементи.

Таблица 1. Химичен състав на сплав Ti-6Al-4V в [wt.%]

Al	Fe	O	V	C	N	H	други	Ti
5.6-6	до 0.25	до 0.2	3.6-6.78	0.08	0.05	0.015	до 0.4	до 100%

Сплав Ti-6Al-4V се обработва топлинно, за да се промени фазовият състав и микроструктурата на сплавта. Тези промени варират значително в зависимост от термичната обработка и използвания метод. Поради високата температура на топене, след разтопяване може да се използва като спойка за запълване на празнини в метала.

Разглежданата сплав има стабилна микроструктура и температурна устойчивост до 400°C. Заради образувания окисен слой, тази сплав е устойчива на влиянието на морската (солена) вода.

По химичен метод, титановата сплав не реагира с азотна киселина. Металът е капсулован от окисния слой.

Сплавта Ti-6Al-4V има много предимства, но нейната обработка е трудна.

Физико-механични свойства на сплав Ti-6Al-4V

Стойностите на модула на еластичност варират от 104 до 113 GPa, твърдостта е HRC36 и HV349, а измерената микротвърдост е 375 kg.f/ mm^2. Плътността е в интервала (4.429 - 4.512) g/cm^3, в зависимост от добавката. Определени са якост на опън 758 MPa, границата на провлачване е 689 MPa, а удължаването е до 10%. Якостта ù е с около 35% по-висока от тази на обикновена титанова сплав (500 MPa).

Разглежданата сплав притежава добра пластичност след топлинна обработка.

Сплав Ti-6Al-4V е по-тежка от алуминиевите сплави (с E = 75GPa). Плътността на титановата сплав е само 4.5 g/cm^3, което е по-малко от тази на стоманата, и следователно е наполовина от теглото на стоманата, но стойността на якостта е подобна за двата метала.

Титановите сплави условно могат да се разделят на устойчиви на корозия, структурни, топлоустойчиви и нискотемпературни.

Температурата на топене е 1660°C, по-висока от тази на желязото. Ti-6Al-4V има ниска топлопроводимост от 6.7 - 7.5 W/m.K при стайна температура, което е причина за трудното ù обработване.

Процесът на рязане предразполага към износване на инструмента и проблеми с отпадъците и стружките. Следователно, по време на обработка, първо трябва да се направи избор на подходящи материали за инструменти и лубриканти и второ - да се контролира скоростта на рязане.

Подобряване свойствата на сплавта чрез отлагане на покрития

Повишаване стойностите на механичните характеристики на работната повърхност на тази сплав може да се осъществи чрез отлагане на тънки слоеве и покрития.

Химичното (CVD) и физичното (PVD) отлагане са водещи методи, имащи висока скорост на отлагане, хомогенност и добра равномерност на покритието. Използването на FAD, PVD-техниката (Filtered Arc Deposition) позволява отлагането на тънки, твърди филми с дебелина до 3 μm. Отлагането на TiC, TiN и TiCN-покрития увеличава твърдостта на сплавта, като я правят подходяща за употреба при режещи и пробиващи инструменти.

Тънкослойни нитридни покрития се използват при биомеханични изделия като бариери за предотвратяване на дифузия с телесни течности, тъкани и кости.

Приложения на сплав Ti-6Al-4V

Тази сплав се прилага широко за производство на компоненти за дългосрочно обслужване при средни температури.

Титановите тръби се произвеждат в съответствие с различни индустриални стандарти. Тези стандарти определят химичния състав, механичните свойства и изискванията за изпитване на титанови тръби. Тръбите от сплав Ti-6Al-4V са безшевни или заварени. Те са едни от най-широко използваните поради отличната си здравина, издръжливост и устойчивост на корозия.

Съвременните самолети използват крепежни елементи, титанови болтове, интерферентни болтове, фланцови гайки, шайби и болтове от сплав Ti-6Al-4V, както и от Ti-13V-11Cr-3Al, Ti-15V-3Cr-3Sn и Ti-10-V-2Fe-3Al при по-високи работни температури [2]. В развитите страни като Съединените щати и Франция около 95% от крепежните елементи от титанови сплави са направени от сплав Ti-6Al-4V [3].

Въртящите се части на двигателя като вентилатори, компресорни дискове, лопатки, трябва не само да понасят голямо напрежение, но и да имат определена устойчивост на топлина. Такива работни условия са тежки за алуминиевите сплави. Титановите сплави са най-добрият избор при температурен диапазон 300 ~ 650℃.

Области на приложение:

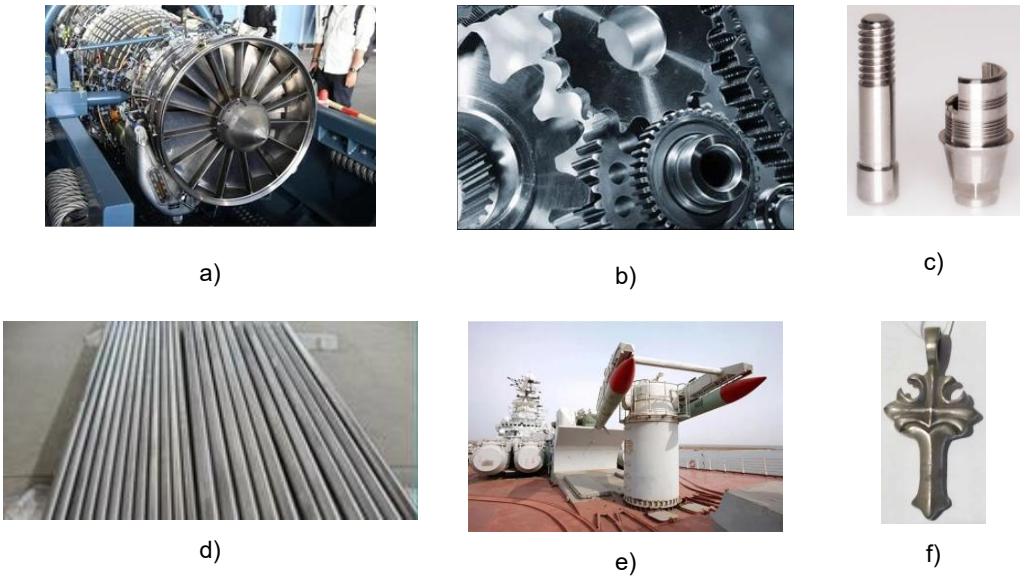
- *Авиационна промишленост и високи технологии*: различни компоненти на самолети (Boeing 787, Airbus A350, Apple iPhone 15 Pro), като колесници, вентилатори на авиационни двигатели (Фиг. 2a), компресорни дискове и перки, фланцови гайки и шайби, титанови болтове, структурни рамки (Фиг. 2b).
- *Моторни спортове и спортни автомобили*: поради сравнително ниското тегло и високи механични показатели, титанови тръби и множество други детайли се използват в състезателните автомобили и мотоциклети (Фиг. 2b).
- *Медицина*: използва се за направата на медицински импланти и протези поради своята биосъвместимост и хипоалергенни свойства (Фиг. 2c).

- *В заводите за химична преработка* се използват титанови профили и тръби поради високата устойчивост на корозия (Фиг. 2d).
- *Морски приложения*: Ti-6Al-4V титанови тръби се използват в морска среда поради своята устойчивост на солена вода и други тежки среди (Фиг. 2e).
- *Космическа индустрия*: използват се отразяващи светлината титанови плочи.
- *Химическа промишленост*: при химични процеси и при производството на компоненти за оборудване в химичните заводи.

Титанова тел се използва при крепежни елементи в *строителството*. Тя има ниска плътност, висока якост и добра устойчивост на корозия. Използва се във военни и медицински изделия, спортни стоки, очила, закачалки, заваръчни проводници и много други. От тънка титанова тел се изработват *бижута* като пръстени, гривни и синджири (Фиг. 2f).

В *медицината* се използват още титанови клипси.

По отношение на цената, тя варира в зависимост от размера и сложността на Ti-6Al4-V детайл.



a) b) c) d) e) f)

Фиг. 2. Приложения на сплав Ti-6Al-4V: a) Самолетен двигател; b) Зъбни колела; c) Импланти; d) Профили; e) Корабни компоненти; f) Титаново бижу

Въпреки високата й себестойност, Ti-6Al-4V се счита за рентабилен материал в дългосрочен план поради свойствата, които притежава и дългия експлоатационен живот.

Заключение

Сплав Ti-6Al-4V се използва при работни температури до приблизително 660°F (350°C) и е приложима във всяка област, където се изисква комбинация от висока якост при ниски до умерени температури, леко тегло и отлична устойчивост на корозия.

Литература:

1. Zenith Tecnica announces manufacture of 3D Printed Ti6Al4V hardware with Maxar Space Systems for NASA Psyche Mission. - Zenith Tecnica - zenithtecnica.com.” https://zenithtecnica.com.
2. Rawal, S. Brantle J. Karabudak H. Additive manufacturing of Ti-6Al-4V alloy components for spacecraft applications, 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST) 1-7 2013 doi: 10.1109/RAST.2013.6581260
3. Inagaki, I., Takechi T., Shirai Y., Ariyasu N. Application and Features of Titanium for the Aerospace Industry, Nippon steel & sumitomo metal technical report №106 22-27 2014 UDC 669.295:629.735.3

ПОДХОДИ ПРИ ВЪВЕЖДАНЕТО НА КОСМИЧЕСКИТЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗА УЧЕНИЦИ

Анна Петрова, Петя Табакова

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mails: ani@phys.bas.bg; tangrascorp@gmail.com

Ключови думи: *Проекти, практически лекции, самооценка*

Резюме: *Конвенционалното образование няма необходимия потенциал да осигури оптимално знание за съвременното общество. Свидетели сме на навлизащите нови, модерни практики, които действат на различен принцип от досегашния. Иновативните методи на преподаване включват използването на съвременните технологии и най-новите образователни тенденции в клас. Методите на преподаване-учене трябва да поддържат учениците заинтересовани и ангажирани към съответния предмет.*

Разглеждаме подходи за преподаване, приложими във физиката, астрономията и космическите технологии.

METHODS FOR INTRODUCING SPACE TECHNOLOGIES AT SCHOOLS

Anna Petrova, Petya Tabakova

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mails: ani@phys.bas.bg; tangrascorp@gmail.com

Keywords: *Projects, practical lectures, self-assessment*

Abstract: *Conventional education has no potential to provide optimal knowledge for modern society. New, modern practices are observed that operate on a different principle from the previous one. Innovative teaching methods include a didactic method and the latest educational trends in the classroom. Teaching-learning methods can keep students interested and engaged in a subject.*

We have analyzed teaching approaches applicable to physics, astronomy and space technologies.

Въведение

Иновативните методи на преподаване дават на учениците нещо различно, вълнуващо, насърчават ги да общуват. Изграждането на децата и младежите като изследователи е разнороден процес, който включва комплексни фактори. При реализиране на полезни модели, представителите на всички възрастови групи при децата се превръщат от участници (от любопитство и в очакване на нещо вълнуващо) в изобретатели с налични резултати. Съвместната работа на учени и преподаватели показва, че пътят към успеха при обучението на децата по природни науки, в частност човек и природа, физика и астрономия, е реализирането на научни програми и съвместни проекти (научни институции и училища, координирани от МОН).

Иновативните подходи в образованието позволяват на учителите да наблюдават и да разбират какви са приоритетите на учениците, за да намерят най-правилните подходи. Няма нищо по-вдъхновяващо от оживените стаи и любопитните детски погледи.

Методи на преподаване

Усвояването на информацията може да се раздели на малки порции, за да е по-достъпна и разбираема, но след като са усвоени основните понятия. Необходимо условие е

насърчаването на учениците към изследване и откриване на нови понятия, инструменти и апаратури за да разширят обзора си. Въвеждането на самооценка и критично мислене у младите хора води до творчески подход, предизвиква ги да се справят с проблеми и да намират отговори при липса на такива в учебниците. Ключов момент се оказва осъзнаването на пропуските и помощта от преподавателя за преодоляване на проблемите.

Също така, когато правят индивидуални или групови проекти, учениците се научават как да управляват времето си, да подреждат задачите и да общуват помежду си.

Познанията на учениците трябва да се проверяват периодично, като тестовете са най-лесният, но за съжаление най-скучният начин. Оценките при изпитите отразяват пропуските в знанията, но не дават пълна информация за способностите на учениците.

В днешно време кръжоците са минало, но не и забравени от преподавателите и учените. Организирането им заангажира децата и ги насърчава към креативно мислене.

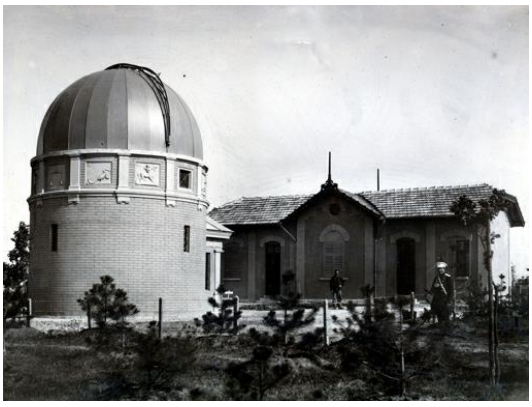
До сега, в историята на Международната олимпиада по астрономия и астрофизика, български състезатели са спечелили 63 медала - 14 златни, 23 сребърни, 26 бронзови според сайта „Сдружение на олимпийските отбори по природни науки“.

Български ученици по астрофизика спечелиха и тази година (2024) 5 медала от Международната олимпиада по астрономия и астрофизика в Бразилия през август.

Открития, предначертали развитието на космическите изследвания в България

Запознаването на учениците с историческите събития обуславя заинтересованост към състоянието на науката в наши дни. Тези събития може да се въведат по важност или по дати като списъка по-долу.

Астрономическата обсерватория на СУ „Св. Климент Охридски“ е първата астрономическа обсерватория в България. Създадена е през 1894 г. по инициатива на проф. Марин Бъчваров (Фиг. 1a-b). Планетариум с обсерватория е открит през 1975 г в Смолян (Фиг. 1c). На 01.07.2023 г. заработи нов, модерен телескоп в НАО Рожен (Фиг. 1d).



a)



b)



c)



d)

Фиг. 1. Снимки на: a) Астрономическата обсерватория на СУ „Св. Кл. Охридски“;
b) Доц. Голев (1951–2024 г.) подготвя телескопа за наблюдение; c) Планетариумът с обсерватория в Смолян; d) Новият 1.5 м телескоп в НАО Рожен

Първите български имена в Космоса се появяват като подарък от страна на руски астрономи. През 1970 г. Тамара Смирнова кръщава планета на нашата страна България. Същата изследователка открива обект 2371 и го нарича Георги Димитров. Николай Чьорних

открива на 1 април 1976 г. (Денят на шегата) нов астероид Габрово. Астероидът Шипка е открит на 09.07.1978 г. и е наречен на върха, свързан с Руско-турската освободителна война.

Проф. Владимир Шкодров (1930-2010 г.) е световно известен български астроном. Двама американци, Хелин и Бъс от Паломарската обсерватория работят дълги години с Владимир Шкодров и Виолета Иванова. На 07.11.1978 г. откриват два астероида за една нощ и ги кръщават на своите български колеги 4364-Шкодров и 4365-Иванова.

През 1981 г. е открита НАО „Рожен“, където започват редовни наблюдения на обектите от Слънчевата система. Българските учени откриват над 100 малки планети и астероиди, като някои от тях носят и български имена - Джон Атанасов, Пловдив, Шумен, Климент Охридски, Багряна, Блага Димитрова, Юхновски, Гергана, Митра и др.

Български имена имат и планини, реки и кратери на планети и спътници. Името Хемус, древното название на Стара планина, от 1961 г. носи 560-километровата планинска верига до Морето на спокойствието, което е от видимата страна на Луната.

Хемус се нарича още планина на Юпитеровия спътник Йо. На същото небесно тяло се намира и кратерът Дажбог, древнославянския бог на Слънцето и платото Дунав. Около най-голямата планета в Слънчевата система кръжи спътникът Европа, където едно тъмно петно е наречено Тракия.

Мястото на България в завладяването на Космоса

Космическите постижения на родината ни я определят като една от водещите космически сили в света през 20 век.

На 10 април 1979 година в 20 часа и 34 минути московско време се осъществява полетът на първия български космонавт Георги Иванов на борда на космическия кораб „Союз-33“ с командир Николай Рукавишников. Полетът е драматичен поради повреда на главния двигател. Не се осъществява скачване със станция Солют и завръщането на космонавтите на Земята е затруднено.

България е третата държава, изпратила храни в Космоса след САЩ и Съветският съюз. и първата, която създава космическа оранжерия.

Александър Александров е вторият български космонавт, летял на борда на съветския космически кораб „Союз ТМ-5“ към орбиталната станция „Мир“, заедно с командира на полета Анатолий Соловьов и бордния инженер Виктор Савиних. Мисията продължава от 07 до 17.06.1988 г. За този полет е разработена обширна научна програма и съответно апаратурен комплекс за изследвания в областите на: космическата физика, дистанционните изследвания на Земята, космическата биология и медицина, микрогравитационните технологии и материалознанието.

Едно от значимите научни постижения е космическата програма "България-1300”. В рамките на програмата в земна орбита са изведени два изкуствени спътника с комплекс от българска научна апаратура за измервания на физични параметри.

През 1972 г. България извежда собствен прибор за изследване на космическа плазма. Така става 18-та страна в света, която има своя апаратура в Космоса и сама провежда експерименти; 6-та държава, която има двама космонавти и 3-та страна, която заедно с Русия и САЩ продължава да произвежда космически храни.

България изпраща два спътника и извежда в Космоса над 150 прибора и апаратури. Българска техника е участвала в повече от 500 международни космически експеримента. Върхът на българските космически изследвания е по време на полета на втория български космонавт Александър Александров през 1988 г. Тогава България изпраща в Космоса 11 отделни апарата, с които след това дълги години работят космонавти и астронавти на космическата станция „Мир“ и на Международната космическа станция. В момента на МКС работят български прибори за измерване на радиационната обстановка. Българска апаратура прави първите снимки на спътника на Марс – Фобос. Така България продължава да бъде сила в областта на космическите технологии. На базата на апаратурата, която лети в Космоса, учените разработват холтер-система, която може да записва около 70 параметъра на човешкото тяло – кръвно налягане, температура на тялото и др.

Демонстрационни презентации могат да се намерят на интернет сайта на проекта [1].

Заключение

Трудно се съгласуват училищните програми, одобрени от МОН, с допълнително натоварване на учениците и учителите. Само няколко училища се съгласиха да участват в проекта, който ние, физиците от Института за космически изследвания и технологии на Българска академия на науките, осъществихме през 2020 г. (Фиг. 2).

Учениците трябва да бъдат насърчавани и да имат възможност да използват по-сложни инструменти, за да извършат работата си по поставените им задачи.

Важно условие е подкрепата от страна на училищното ръководство. По всяка вероятност, учебната програма е натоварена - гонят се часове за преподаване на нови знания, проверка на стари, контролни, класни и накрая матурите, но практиката с демонстрации и презентации оставя най-силна следа в ума на учениците. Това е и пътят, по който се формират интерес и любов към науката.

В образованието трябва да се заложи на системен подход при проектиране, осъществяване и оценка на цялостния процес на обучение. Най-добрият резултат не са уменията и резултатите, които се получават, а позитивното усещане, когато творческият потенциал на децата получава поле за неограничена изява.



Фиг. 2. Посещение на ученици от 4 ОУ „проф. Джон Атанасов“ в Астрономическата обсерватория на СУ „Св. Климент Охридски“

Собствените идеи на учениците, формирани в училищната среда, създават стимулираща положителната промяна, която в последствие предначертава и живота им. Това води до реализация на професионалисти, които не просто са осъществили своите мечти, но са придобили необходимите умения за работа.

Благодарности

Представените резултати са свързани с проект „Запознаване на ученическата и младежка аудитория с изследователските подходи във физиката: по специално в астрономията, космическата физика и космическите технологии” [2], Договор ДСД-15 21.08.2019 г. по Програма „Образование с наука“ към МОН.

Авторите благодарят на всички директори на софийски училища, учители, деца и родители, които се включиха в проведените дискусии, семинари и практическите лекции с посещения на Астрономическата обсерватория на СУ „Св. Климент Охридски“ в Борисовата градина през 2020 г., както и на всички колеги от катедра Астрономия на ФзФ.

Литература:

1. https://educationwithscience.online/wp-content/uploads/2020/06/МЯСТОТО-НА-БЪЛГАРИЯ-В-ЗАВЛАДЯВАНЕТО-НА-КОСМОСА.pdf
2. https://educationwithscience.online/projects/изследователски-подходи-във-физиката/на системата).