

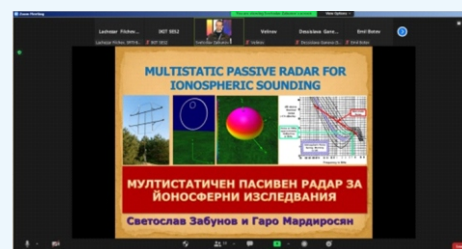
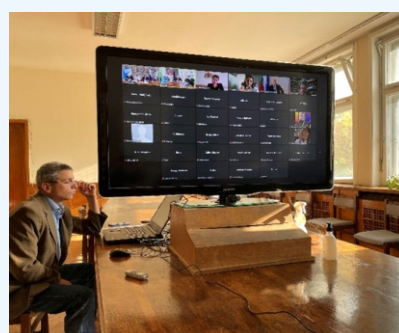
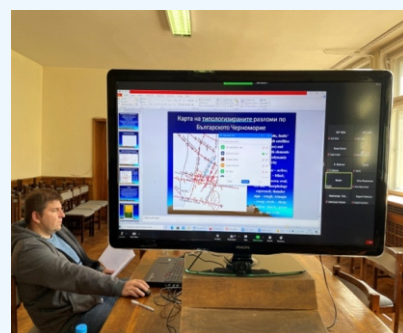
I am always doing that which I cannot do, in order that I may learn how to do it.

Pablo Picasso (1881 – 1973)

Винаги правя това, което не мога, за да се науча да го правя.

Пабло Пикасо (1881-1973)

Picasso



SES 2021

SES 2021

Seventeenth International Scientific Conference

SPACE, ECOLOGY, SAFETY

20 - 22 October 2021, Sofia, Bulgaria



SPACE RESEARCH AND TECHNOLOGY INSTITUTE

BULGARIAN ASTRONAUTICAL SOCIETY



BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

© Space Research and Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences

p-ISSN 2603 – 3313

e-ISSN 2603 – 3321

2021

BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES
Space Research and Technology Institute
BULGARIAN ASTRONAUTICAL SOCIETY
REPRESENTATIVE OFFICE OF ROSSOTRUDNICHESTVO
IN BULGARIA

***SEVENTEENTH INTERNATIONAL
SCIENTIFIC CONFERENCE***

DEDICATED TO

**The 40th Anniversary of the *BULGARIA-1300* Space Program
and the 60th Anniversary of the Yuri Gagarin's Flight**

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

S E S 2021

PROCEEDINGS

**The Conference is supported by Bulgarian National Science Fund
Contract № КП-06-МНФ/12 - 19.08.2021**

2021

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
Assoc. Prof. Dr. Hristo Nikolov
Dr. Konstantin Peev
Dr. Krassimir Stoyanov
Valeri Vassev, MS
Mariyana Toncheva, MS
Adelina Kuzeva, MS

Scientific-Programming Council

Acad. Lev Zelenyi – Russia	General Dr. Georgi Ivanov
Acad. Valeriy Bondur – Russia	General Dr. Alexander Alexandrov
Prof. Serge Koutchmy – France	Corr. Member Petar Getsov, DSc
Prof. Gerasimos Papadopoulos – Greece	Corr. Member Peter Velinov, DSc
Prof. Zdenek Nemetchek – Czech Republic	Corr. Member Filip Filipov, DSc
Prof. Stefano Tinti – Italy	Prof. Garo Mardirossian, DSc
Prof. Richard Haigh – United Kingdom	Prof. Nikola Vichev, DSc
Prof. Stefan Manegold – Netherlands	Prof. Dr. Georgi Jelev
Assoc. Prof. Beshir Marzouk – Egypt	Prof. Dr. Boyko Rangelov
Assoc. Prof. Bogdan Zagajewski – Poland	Assoc. Prof. Alexey Stoev
Prof. Ruben Paul Borg – Malta	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 Seventeenth International Scientific Conference „Space, Ecology, Safety - SES 2021”, which was held in October 2021, 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

Петър Гецов

Българското участие в усвояването на Космоса. 9

Гаро Мардиросян, Ралица Берберова

Институт за космически изследвания и технологии на Българска академия на науките
и Департамент „Природни науки“ на Нов български университет – 25 години сътрудничество
в областта на екологията и космическите технологии. 13

Session 1

Space Physics

Tsvetan Dachev, Borislav Tomov, Yury Matviichuk, Plamen Dimitrov, Nikolay Bankov, Malina Jordanova

Space Missions with Liulin Instruments during 2021. 25

Tsvetan Tsvetkov, Yoana Nakeva, Nikola Petrov

Active and Quiescent Prominences of Solar Cycle 24. 31

Rolf Werner, Veneta Guineva, Andris Lubchich, Irina Despirak, Rumiana Bojilova, Dimitar Valev, Atanas Atanassov, Lyubomira Raykova

Determination of Power Perturbations of the Horizontal Magnetic Field on the Earth Surface. 34

Veneta Guineva, Rolf Werner, Atanas Atanassov, Rumiana Bojilova, Lyubomira Raykova, Dimitar Valev, Irina Despirak, Nataliya Kleimenova

Construction of a Catalog of the Magnetic Variations by Data of the Bulgarian
Station Panagjurishte. 39

Игорь Шибеев

Согласование параметров восстановленных и достоверных циклов ряда чисел Вольфа. 45

Alexander Shibaev

Forecasting of Wolf Number Series Using the Machine Learning Methods. 48

Natalya Kilifarska, Tsvetelina Velichkova

Influence of Galactic Cosmic Ray Forbush Decrease on the Ozone Profiles. 54

Peter Tonev

Hypothetic Interpretation of Atmospheric Electric Fields and Currents at High
Latitudes Measured during Sep. 60

Svetoslav Zabunov, Rositsa Miteva

A System for Detection, Localization and Identification of Ionizing Radiation Sources Based
on an Internet of Things Ground Unmanned Vehicle. 64

Daniela Boneva

Brightness Variability at Different Scales of Detection in Three Binary Star Systems. 72

Красимира Янкова

Концепцията на фундаментална адвекция – обекти на изследване във релативизма
и космологията. 77

Atanas Atanassov, Lilia Atanasova

Development of Tools for Computer Modeling and Simulation of Satellite Energy Subsystem
Functioning. 81

Велко Велков

Кризата в космологията и преодоляването ѝ. 88

Session 2

Aerospace Technologies and Biotechnologies

Веселин Ташев, Ангел Манев, Димитър Вълев

Електрическо захранване за автоматични космически апарати на модулен принцип с повишена надеждност. 95

Павел Пенев

Влияние на първия полет на човек в Космоса върху военните аспекти на използването на космическото пространство. 101

Павлин Граматиков

Изследване на характеристиките на полета на безпилотни електрически квадрокоптери. . . . 108

Павлин Граматиков

Телеметрична система за характеристиките на полета на безпилотен електрически квадрокоптер. 114

Евгений Хубенов, Георги Сотиров, Зоя Хубенова

Безпилотни авиационни системи с елементи на изкуствен интелект в интернет среда. 121

Деанна Александрова, Любомир Алексиев, Даниела Иванова, Зоя Хубенова, Константин Методиев

Оценка на когнитивните характеристики на човека-оператор при обучение с тренажор чрез методите на айтрекинг (Eye tracking). 127

Емил Василев, Зоя Хубенова

Методологични проблеми при анализ на субективния фактор в сложни технически системи. 133

Konstantin Metodiev

Estimating an UAV Operator's Cognitive Workload by Measuring Pupil Dilation. 139

Христофор Скандалиев, Калин Крумов, Томислав Скандалиев, Нели Сивева

Прототип на противопожарна ракета „Дракон“. 145

Светлозар Асенов, Николай Петров, Николай Загорски

Авиацията и националната сигурност. 151

Илияна Илиева, Юрий Кълвачев, Виолета Великова

Изследване на природните зеолити клиноптилолит и морденит с цел използването им като основа за „космическа почва“. 157

Session 3

Remote Sensing and Geoinformation Systems

Тодор Назърски, Георги Каменов, Чавдар Левчев, Христо Проданов, Спас Делистоянов, Юлика Симеонова, Николай Банков

Дистанционни изследвания на Земята от Космоса в микровълновия (СВЧ) диапазон, провеждани в ИКИТ на Българска академия на науките. 165

Svetoslav Zabunov, Garo Mardirossian

Multistatic Passive Radar for Ionospheric Sounding. 175

Никола Колев, Мила Илиева-Обретенкова

Структура на съвместни аерокосмически и наземни изследвания за оценка на състоянието на почвените и растителни ресурси в рекултивирани зони на земеделски земи. . 180

Георги Железов, Велимира Стоянова

Изменение на земното покритие на Арчаро-Орсойската низина за периода 1990–2018. 186

Христо Николов, Мила Атанасова, Деница Борисова

Създаване на нов аерокосмически полигон в България за мониторинг и оценка на техногенното въздействие върху околната среда – Панагюрски руден район.192

Лъчезар Филчев, Десислава Ганева

Добри практики за синхронизиране на хиперспектрални данни от космически сензори за мониторинг на екобиологичния статус на различни култури и комбинирането им с други данни за целите на растителната феномика.199

Десислава Ганева, Лъчезар Филчев, Златомир Димитров

Добри практики и препоръки за оперативните услуги „Коперник“ на ЕС за наблюдение на Земята от Космоса, с цел интегрирането им в българското растениевъдство.207

Dessislava Ganeva, Milen Chanev, Lachezar Filchev

Requirements for Near-Surface Remote Sensing Data Acquisition and Processing as an Alternative to Traditional In-Situ Phenology Observations of Crops in Bulgaria.217

Андрей Стоянов

Приложение на Tasseled Cap Transformation на данни от Sentinel 2 – MSI за мониторинг на горската растителност от територията на ПП „Сините камъни“.224

Ekaterina Ivanova

Quantitative Modeling of the Carbon Stock in the Forest Ecosystems of Bulgaria.230

Камелия Радева, Силвия Кирилова

Проследяване на промени във водни площи в границите на защитени зони на базата на данни от програма „Коперник“.237

Ангел Манев, Веселин Ташев

Откликът на Черно и Каспийско морета на слънчевата активност.243

Светлана Велинова, Красимир Велинов

Осветителна уредба за изследване растежа и развитието на едноклетъчни водорасли.247

Session 4

Ecology and Risk Management

Бойко Рангелов, Росен Илиев, Орлин Димитров, Атанас Кисъев, Стефан Димовски

Геодинамика и фрактали – изследвания и резултати.255

Boyko Rangelov, Orlin Dimitrov, Atanas Kisyov, Stefan Dimovsky

Earth's Faults Typology – Methodological Approach.260

Емил Ботев

Статистически анализ землетресения 03.03.2021 возле Ларисы (Греция) Mw = 6.3.265

Емил Ботев

Линеаментни аномалии на геомагнитното поле и корелация със сеизмичността на територията на България.271

Margar Adibekyan

Earthquake Preparation Process Reverberation in Electromagnetic Fields Variations.277

Радик Мартиросян, Альберт Гулян, Гамлет Пирумян, Маргар Адибекян, Хачик Манасельян

Система вертикального зондирования ионосферы для оценки сейсмической опасности.281

Димитър Димитров

Изследване на сеизмотектонските параметри на катастрофалните земетресения от 1954 и 1980 г. в Северен Алжир чрез моделиране на геодезически данни.285

Геннадий Маклаков, Надежда Георгиева

Концепция за използване на изкуствен интелект за анализ на въздействието на околната среда върху човека291

Геннадий Маклаков, Надежда Георгиева

Система за виртуална реалност, моделираща влиянието на околната среда върху човека, оптимизира рехабилитацията на болни с постковиден синдром.297

Антония Мокрева, Нели Йорданова, Велимира Стоянова

Оценка на антропогенното замърсяване в софийските паркове Борисова градина, Зоологическа градина и Ловен парк.303

Zhivko Uzunov, Boyan Dumanov, Bilyana Kostova, Ventseslav Stoyanov, Ralitz Berberova, Boyka Zlateva

Determination of Hellenistic Pottery and Wall Plaster Mineral Composition.308

Екатерина Серафимова, Вилма Петкова

Определяне съдържанието на естествени радионуклиди в строителни материали.313

Ралица Берберова

Интерпретация на статистически данни за кризи от природен характер на територията на България за десетгодишен период.317

Милен Чанев

Намалени почвообработки в биологичното земеделие.322

Деян Гочев, Елица Узунова, Иван Стоев

Проблеми в управлението на риска от екологични бедствия.328

Надя Маринова

Екология и научно-техническа революция.332

Роксандра Памукова - Майкълсън

Астмата – нарастващо социално-значимо и зависещо от екологични фактори заболяване. Превенция и лечение с българска фитотерапия.336

Session 5

Space Material Science and Nanotechnology

Adelina Miteva

Safety in Aerospace Engineering.345

Anna Bouzekova - Penkova

Hardness – Types and Application.350

Plenary Session

БЪЛГАРСКОТО УЧАСТИЕ В УСВОЯВАНЕТО НА КОСМОСА

Петър Гецов

Българска академия на науките

Полетът на Ю. А. Гагарин е епохално събитие в историята на човечеството, тъй като той постави началото на проникването и овладяването от човека на космическото пространство. Сега, когато полетите зад пределите на Земята станаха регулярни, а техният научен и стопански ефект е значителен и реално осезаем.

Този полет даде силен тласък на българското участие в космическите изследвания, което стартира със създаването на научна група по Космическа Физика към президиума на БАН от академиците Кръстанов и Серафимов през 1969 г. По-късно тази група преминава последователно в Централна Лаборатория за Космически изследвания (ЦЛКИ) и Институт за космически изследвания и технологии (ИКИТ) сега.

Със своя първи прибор П-1 предназначен за изследвания в областта на космическата физика (измерване на температурата и концентрацията на космическата плазма), изведен на орбита през 1972 г. в състава на спътника Интеркосмос-8, България става 18-та Космическа държава в света. Като се има в предвид, че в списъка на ООН фигурират над 190 държави може да се отчете реално значението на тази класация за нашата страна.

Следва полетът на първия ни космонавт Георги Иванов. Под ръководството на академиците Кирил Серафимов и Димитър Мишев е подготвена научна програма включваща експерименти за изследване на атмосферните оптически емисии (експеримент "Дъга"), многоканално дистанционно спектрометриране на земната повърхност ("Спектър 15"), психофизиологичен мониторинг на космонавтите ("Средец"), и експерименти в областта на космическото материалознание. България е шестата страна в света имаща свой космонавт.

България е третата страна (след СССР и САЩ), която по това време произвежда космически храни. Заслугите в това направление са на акад. Цветан Цветков и Института по лиофилизация и криобиология.

През 1981 г. са разработени двата спътника "България-1300" за изследване в областта на космическата физика и "Метеор-Природа" – за изследване в областта на дистанционните методи.

Нашите учени участваха и в най-амбициозните проекти по Международната програма „Интеркосмос“, свързани с изследване на комети и планети от Слънчевата система (Марс), неутроните звезди и черните дупки (Венера-Халей, Фобос, Гранат). Участието ни в проекти като Активен и Апекс поставиха нашите учени в редиците на най-активно изучаващите по това време процесите в земната магнитосфера.

Успех за нашите космически изследвания е и полетът на нашия космонавт Александър Александров по време на който се реализира сериозна научна програма, включваща разработването на 11 научни апаратури и системи и повече от 40 експерименти, проведени на борда на Орбиталната космическа станция „Мир“. Българската апаратура беше високо оценена и това се потвърди от факта, че с нея работиха много от екипажите, летяли след нашия космонавт.

Успешно се развива направление „Космическа медицина и биология“. свързано с разработването и усъвършенстването на космическата оранжерия, която летя повече от 10 години на Орбиталната космическа станция „Мир“ и с която работиха и руски, и американски космонавти.

На борда космическата станция „Мир“ работи втора генерация медицинска система NEUROLAB-B за изследване на психофизиологичния статус на космонавтите по време на продължителни полети (1996–2002).

Българското участие е съществено и на борда на Международната Космическа Станция (МКС) – „Люлин“, R3D (2005–2023), Сонда на Ленгмюр (2008–2019), материални образци (2013–2019).

От 2013 г. на Международната космическа станция работи и наша апаратура разработена по проекта „Обстановка“, включваща нашата сонда на „Ленгмюр“ за изследване на плазмата около МКС и система за измерване на електрическия потенциал на модулите на станцията и полетата около нея.

Последните години космическите изследвания бяха белязани с промяната на начина на финансиране на дейността, т.е. с преминаването към проектно финансиране и засилване на научно-приложната дейност и трансфера на технологиите. За периода от 2010–2020 г. в ИКИТ са разработени повече от 60 проекта, като много от тях са с външно не бюджетно финансиране (Табл. 1).

Таблица1

Проекти с ЕКА	
Изследване със "Sentinel-2" вегетационните индекси за оценка на състоянието на зимните култури в България (TS2AgroBg)	ЕКА
Дозиметрични научни прибори за ExoMars TGO и Повърхностната платформа. Обединена уеб-базирана база данни с информация от приборите Люлин за космическата радиация.	ЕКА
ЕО мониторинг за по-добро управление на водите и предотвратяването на наводнения в БГ (EMOWAF)	ЕКА
Образованието в наблюдение на Земята за средните училища в България	ЕКА
Регистрирани патенти и/или заявки за патенти (международни и национални в партньорство с бизнеса и/или други организации) за последните 5 години (2011-2020г.)	26
Публикации в научни списания и книги, реферирани в SCOPUS или WoS в през последните 5 години (2011-2020 г.)	1470
Общ брой на цитиранията на научноизследователския екип за последните 5 години (2011-2020 г.) в ИСИС областта на предложението с изключени авто-цитати, според SCOPUS или WoS	2249

През отчетния период (2010-2020), ИКИТ-БАН е участвал общо в **152** проекта. Тези проекти включват: **ИКИТ – проектна дейност**

- 9** финансирани от ЕКА;
- 15** – финансирани по договори и програми на ЕС и други международни организации;
- 49** – финансирани от бюджета на БАН;
- 29** – финансирани от фонд "Научни изследвания";
- 17** – финансирани от министерства, държавни организации и частни компании от страната;
- 33** – финансирани по между академичен обмен и рамкови програми;

Earnings distribution in SRAAS

Category	Percentage
Budget subsidy to SRAAS	31.4%
Income due to scientific and applied activities of SRAAS	28.0%

Earnings distribution due to business and scientific-applied activities in SRAAS

Category	Percentage
Programs Private and CP help	2%
Private projects	4%
Research projects, non RFP	10%
Science - applied projects in the country	60%
Science - applied international projects	20%

Много проекти са свързани с изследвания на космическата плазма и радиация на борда на спътници и самолети на САЩ, Русия, Индия, страните от ЕС и Международната космическа станция (МКС). И сега български прибори измерат радиацията на астронавтите и модулите на станцията. От 2005 г. ИКИТ-БАН участва с 15 апаратури по научни програми на:

- 4 пилотируеми космически полета (4 апаратури) – 1 на ЕКА Columbus и 3 на Руския сегмент на МКС
- един космически апарат до Луната (1 апаратура) – Chandrayaan-1
- два космически кораба (3 апаратури) - Foton M2/3
- два HotPay ракети (2 апаратури), един балон (една апаратура), самолетни полети (4 апаратури), както и самолетни радиометри Liulin-5 type (flown for more than 6000 hours in CSA aircraft).

Институтът работи по 9 проекта с Европейската космическа агенция (ЕКА) и други три ще стартират до края на годината.

От началото на 2012 г. започна изпълнение на контракт с ЕКА за разработка, създаване и тестване на полетните модели на дозиметър „Люлин I-ML“, полетни изпитания и събиране на данните от прибора в състава на комплекса FREND на спътника TGO и елемент от състава на активния неутронен спектрометър и дозиметър ADRON-EM и на марсоход ExoMars за изследване на повърхността на Марс и създаване на унифицирана платформа за уеб-базирани данни от измерванията на космическата радиация с дозиметър „Люлин“ (2018–2023).

Сериозно място в Института заемат изследванията свързани със слънчево-земните връзки и краткосрочната и дългосрочната прогнози на Слънчевите въздействия върху хората и климата. Наши учени са инициатори на създадената най-голяма международна инициатива в областта на космическото време.

В последните години космическите технологии заемат все по широко място в живота на хората. Особено голямо приложение имат дистанционните методи за изследване на Земята от Космоса. Като пример в това направление можем да посочим проекта на института „PROBA-V“ за оценка на вегетацията и състоянието на земеделските култури с помощта на изображения от спътниците „Spot“ и „PROBA-V“, както и ESA Contract No 4000117474/16/NL/ND за тестване на вегетационни индекси от Sentinel-2 за оценка на състоянието на зимни култури в България (TS2AgroBg) с партньори Института по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Никола Пушкаргов“ и Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek NV (VITO).

По контракт с ЕКА (PECS Contract No. 4000126140/18/NL/MH /Project: Development and application of technology for production of space food's modules for crews working in extreme conditions) бяха разработени модули на космически храни за екипажи, работещи в екстремални условия.

Друг проект с ЕКА (Образование по наблюдение на Земята за българските средни училища) ЕЕОБСС цели: Разработване и публикуване на лекционни материали по наблюдение на земята за българските средни училища (онлайн в MOODLE и офлайн–учебно помагало); Демонстрационни и комуникационни дейности: обучение по наблюдение на земята (лятно училище, уъркшоп, ден на отворени врати).

Продължава работата създаденият по оперативна програма „Конкурентноспособност“ към Института офис за трансфер на технологии, който се явява и част от мрежата на такива офиси в Европа. В Офиса се работи по създаване на услуги базирани на аерокосмическо наблюдение, които да подпомагат българските власти отговорни за мониторинга на водите в езерата и да прилагат Рамковата директива за водите на ЕС, както и събития, свързани с природни и техногенни кризи на критичната инфраструктура и тяхното управление.

Централно място в приложните изследвания на ИКИТ-БАН заема разработването на нови услуги за уеб базирана геоинформационна система, която да подпомогне прилагането на програмата Коперникус в България и използването на български авиационен и спътников потенциал.

Безпилотните летателни апарати (БЛА) и изследванията на функционалната ефективност на човека-оператор при екстремални условия е силно застъпено в работата на Института. Разработена е апаратура за изследване на психофизиологичното състояние на оператори на сложни технически системи и подвижни обекти.

Създадена е и лаборатория за обработка на космически и авиационни изображения, система създаваща виртуална реалност и система за моделиране, изследване и обучение на оператори на БЛА.

Голямо внимание в ИКИТ-БАН обръщаме на подмладяването на научния състав, за повишаване на квалификацията и съхраняване на екип от млади учени в областта на аерокосмическите технологии, което е предпоставка за устойчиво развитие на направлението свързано с мониторинга на околната среда и превенцията при техногенни и природни бедствия и аварии. През последните години са реализирани няколко проекта (включително и с ЕКА) предназначени за въвеждане на учащи се в аерокосмическите технологии, събуждане на интереса към тях и евентуалното им бъдещо привличане в тази перспективна научна и практическа област.

Институтът издава научното списание „Aerospace Research in Bulgaria“. Наши водещи учени са автори на множество публикации и десетки монографии. Значителна е изобретателската дейност в ИКИТ-БАН. През последните няколко години средногодишният брой на патенти за изобретения и свидетелства за полезни модели са десетина на година. Стана хубава традиция ежегодно (вече 17-та поредна година) Институтът да провежда международна научна конференция „Космос, Екология, Сигурност - SES“, както и конференция „Фундаментални космически изследвания“.

Бъдещите активности на Института за космически изследвания и технологии към Българска академия на науките в следните направления:

- Създаване на национален потенциал базиран на Европейската интегрирана информационна система за Глобален Мониторинг на Околната среда и сигурността „Коперник“ и осъществяване на In-situ наблюдение с безпилотни летателни апарати (UAV);
- Осъществяване на бърз трансфер на космическите методи, разработки, данни, резултати и технологии към индустрията и бизнеса, включително и SMEs, базирани на създадения Офис за Трансфер на Технологии;
- Внедряване на резултатите от изследванията на човека-оператор при работа в екстремни условия;
- Подготовка на научна програма за осъществяване на полет на Трети български космонавт.

За своята 52-годишна история ИКИТ-БАН се утвърди, като национален лидер в областта на космическите изследвания и трансфера на аерокосмическите технологии.

Литература:

1. Гецов, П. Българските космически изследвания и бялата книга на Европейския съюз. Сборник трудове от Конференция с международно участие "Космос, екология, сигурност", Варна, 10–13 Юни 2005 г., с. 7–12.
2. Гецов, П., П. Пенев, Г. Сотиров, Р. Недков. Концепция за Национална система за мониторинг. Международна научна конференция SENS 2006, Варна, България.
3. Гецов, П., З. Хубенова, В. Попов. Изследване на човека като управляваща система в среда с виртуална реалност. Пета научна конференция с международно участие „Космос, екология, нанотехнологии, сигурност” – ИКИ-БАН, 2–4 ноември 2009, София.
4. Peter Getsov, William Popov, Zoya Hubenova, Georgi Sotirov, Konstantin Metodiev, Stoyan Tanev, Lubomir Aleksiev, Svetlin Doshev, Use of Technology Virtual Reality for the Study of Human – Operator in Extreme Conditions, Proceedings of 5th International Conference on Recent Advances in Space Technologies, June 09–11 2011, Istanbul, Turkey, pp. 820–824, ISBN: 978-1-4244-9615-0.
5. Petar Getsov. The programs, projects and contracts status in space research institute at the Bulgarian academy of sciences. SENS 2007, 27–29.06.2007, Varna, pp. 7–12. ISSN 1313 – 3888=
6. Getsov, P. The scientific- technical programme of the second bulgarian-russian space flight - 'Shipka' Project – basic aims and results, 'Ten years 'Shipka' Space Project. Ann. Scientific Conference, Sofia, 1999. (In Bulgarian).
7. Chapkanov, St. Thirty years Space Researches in Bulgaria. Ann. Scientific Conference, Sofia, 1999. (In Bulgarian).
8. Гецов, П. Българският принос в усвояването на космоса. Научна конференция, Долна Митрополия, 2018.

**ИНСТИТУТ ЗА КОСМИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ НА
БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ И ДЕПАРТАМЕНТ „ПРИРОДНИ
НАУКИ“ НА НОВ БЪЛГАРСКИ УНИВЕРСИТЕТ – 25 ГОДИНИ
СЪТРУДНИЧЕСТВО В ОБЛАСТТА НА ЕКОЛОГИЯТА И КОСМИЧЕСКИТЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Гаро Мардиросян¹, Ралица Берберова²

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

²Нов български университет, Департамент „Природни науки“

e-mail: g.mardirossian@space.bas.bg; rberberova@nbu.bg

Ключови думи: ИКИТ - БАН, Департамент „Природни науки“ - НБУ, образователна и научна дейност, екология и космически изследвания

Резюме: Институтът за космически изследвания и технологии при Българска академия на науките (ИКИТ-БАН) и Департамент „Природни науки“ на Нов български университет (НБУ) осъществяват двустранно научно и образователно сътрудничество в областта на екологията и космическите технологии от 1996 г. Целта на авторите е да покажат резултати от това 25-годишно сътрудничество.

**SPACE RESEARCH AND TECHNOLOGY INSTITUTE OF THE BULGARIAN
ACADEMY OF SCIENCES AND THE NATURAL SCIENCES DEPARTMENT
OF THE NEW BULGARIAN UNIVERSITY – 25 YEARS OF COLLABORATION
IN THE FIELD OF ECOLOGY AND SPACE TECHNOLOGIES**

Garo Mardirossian¹, Ralitz Berberova²

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²New Bulgarian University, Natural Sciences Department

e-mail: g.mardirossian@space.bas.bg; rberberova@nbu.bg

Keywords: SRTI - BAS, Natural Sciences Department – NBU, educational and scientific activities, ecology and space research

Abstract: The Space Research and Technology Institute at the Bulgarian Academy of Sciences (SRTI-BAS) and the Department of Natural Sciences of the New Bulgarian University (NBU) have been implementing bilateral scientific and educational collaboration in the field of ecology and space technology since 1996. The aim of the authors is to show the results of this 25-year collaboration.

**Кратка история и дейност на Институт за космически изследвания и технологии на
Българска академия на науките (ИКИТ-БАН)**

Институтът за космически изследвания технологии на Българска академия на науките има повече от 50-годишна история [1]. През 1969 г. се създава Научна група по физика на Космоса към Президиума на Българска академия на науките. По-късно, през 1975 г., с решение на Бюрото на Министерски съвет, тази група прераства в Централна лаборатория за космически изследвания (ЦЛКИ). Звеното е реструктурирано в Институт за космически изследвания при БАН (ИКИ – БАН) през 1987 г., а от началото на 2012 г., с решение на Общото събрание на БАН, Институтът се преименова на Институт за космически изследвания и технологии.

Институтът развива дейност в следните основни области:

- ✓ космическа физика – изследване на космически източници на лъчение и тяхното взаимодействие с космическата плазма – изучава се също директното и индиректното въздействие на космическото лъчение върху структурата и динамиката на атмосферата;
- ✓ дистанционно изследване на Земята от Космоса – за целите на екологията, комуникациите, навигацията;
- ✓ аерокосмически технологии – разработване на системи за управление на авиационни и космически апарати; безпилотна летателна техника; изследване и получаване на нови трифрикционни и свръхтвърди материали в областта на космическото материалознание.

Сред значителните постижения на ИКИТ-БАН в областта на космическите изследвания са създадените и изведени на орбита повече от 150 научни прибора и апаратури, проведените десетки космически експерименти по програмата ИНТЕРКОСМОС и други национални и международни програми. С изстрелването на първия български космически прибор П-1 през 1972 г., България става 18-та космическа държава в света. Създадени са научни програми и апаратура и за двата спътника „Интеркосмос България–1300“ и „Метеор-Природа“, научните програми и апаратура за двата космически полета на българските космонавти Георги Иванов (1979 г.) и Александър Александров (1988 г. – програма „Шипка“), с които България заема 6-то място в света на страните, имащи космонавти. Български прибори летят и работят на борда на орбитални станции, космическата станция „Мир“, Международната космическа станция, междупланетните космически апарати „Фобос“, ВеГа, мисии към планетата Марс и др.

ИКИТ-БАН осъществява сътрудничество с десетки научни институции, университети, ведомства и други структури у нас и в чужбина, като едно от най-дългогодишните и ползотворни е това с Нов български университет чрез Департамент „Природни науки“.

Кратка история и дейност на Департамент „Природни науки“ на Нов български университет (НБУ)

Природните науки винаги са били една от приоритетните области в академичния профил на НБУ [2]. Основите на тази научна област в Нов български университет са поставени през 1996 г., пет години след създаването на Университета. От създаването си до 2013 г. Департаментът се казва „Науки за Земята и околната среда“ и провежда обучение и изследователска дейност в професионално направление 4.4. Науки за Земята. През 2013 г. Департаментът е реструктуриран в „Природни науки“, като към него са приобщени преподавателите и учебните програми в професионално направление 4.3. Биологически науки, които дотогава са част от Департамент „Медикобиологични науки“.

Научната дейност на преподавателите в Департамента е насочена в следните области: екология и опазване на околната среда, минералогия и кристалография, мониторинг на природни катастрофи, опазване на природните ресурси, биологично разнообразие, биологичен контрол на вредни насекоми, качество на храните, нови материали, екологични торове и подобрители за почви, алтернативен туризъм.

В годините Департаментът е разработил и ръководи академично бакалавърските програми „Екология и опазване на околната среда“, „Науки за Земята“, „Науки за Земята и алтернативни енергии“, „Биология – обща и приложна“, „Клетъчна биология и вирусология“ и магистърските програми „Екологични експертизи и контрол“, „Международен алтернативен туризъм“, „Екологичен мениджмънт“ (съвместно с Департамент „Администрация и управление“), „Екология и устойчиво развитие“, „Геотехника и възобновяеми енергийни източници“, „Аерокосмически изследвания на околната среда“ (съвместно с ИКИТ-БАН), „Гемология и дизайн на бижута“ (съвместно с Департамент „Изящни изкуства“), „Микробиология“. Преподавателският екип има дългогодишен опит както в редовна форма на обучение, така и в дистанционна, тъй като обучението в професионално направление 4.4. Науки за Земята се провежда по двете методики. Всички програми на Департамент „Природни науки“ са акредитирани от Националната агенция по оценяване и акредитация [3]. През 2004 г. НБУ е акредитиран от най-големия университет за дистанционно обучение в Европа, The Open University. През 2019 г. НБУ получи сертификат от Bureau Veritas Certification Holding SAS - UK Branch, удостоверяващ, че системата за управление на НБУ е оценена и е установено нейното съответствие с изискванията на стандарта за управление.

За обезпечаване на практическото обучение и научно-изследователска дейност са създадени специализирани лаборатории, които постоянно се развиват: Лаборатория по геология (2000 г.), Лаборатория по природни бедствия и рискове (2008 г.), Лаборатория по биология (2011 г.), Лаборатория по химия (2014 г.), Лаборатория по морска биология (2015 г.), Лаборатория по ботаника и зоология (2016 г.) и др.

Департаментът осъществява сътрудничество и с външни институции с цел обучение, стажове и научни изследвания. ИКИТ-БАН и НБУ работят съвместно от 1996 г., като дейността е в професионално направление 4.4. Науки за Земята - екологични и дистанционни изследвания, космически технологии и обучение.

Кратък обзор и анализ на сътрудничеството между ИКИТ-БАН и Департамент „Природни науки“ в НБУ

Същността на областите, в които развиват дейност двете институции – екологичните изследвания и космическите технологии, предопределят сътрудничество между ИКИТ-БАН и Департамент „Природни науки“ в НБУ. Двете тематични направления са изключително актуални и все по-свързани помежду си, имат интердисциплинарен характер и изискват разнороден екип от специалисти в областта на природните и техническите науки, с каквито разполагат и двете институции.

Основните направления, в които работят съвместно ИКИТ-БАН и Департамент „Природни науки“ в НБУ са:

- ✓ създаване на учебни бакалавърски и магистърски програми и отделни курсове, лекционна дейност и реализиране на практически занятия;
- ✓ ръководство на дипломанти и обучение на докторанти;
- ✓ участие в съвместни проекти и изследвания;
- ✓ съорганизиране на научни форуми;
- ✓ съвместни научни публикации, доклади, книги и др.

Образователна дейност

Лекционна дейност и практическа работа със студенти

Учени от ИКИТ-БАН и преподаватели от Департамент „Природни науки“ на НБУ са разработили съвместно над 15 учебни курса за програмите по екология на НБУ: Екологични катастрофи, Защита от бедствия и екокатастрофи, Оценка на риска от екологични катастрофи, Апаратурни геофизични изследвания, Геоинформационни системи в екологията, Дистанционни методи за изследване на Земята, Контрол на шум и вибрации, Контрол на електромагнитното замърсяване, Аерокосмически методи в екологията, Методология на дистанционните изследвания, Аерокосмическа апаратура за екологични изследвания, Аерокосмически летателни средства, Инженерна екология, Обработка на аерокосмически изображения, Космология, Геоинженерни проучвания за антисейсмично строителство и др. [4]. Сред учените от ИКИТ, лектори в теоретични курсове и практически занятия, са: проф. д-н Гаро Мардиросян, чл. кор. проф. д-н Петър Гецов, проф. д-р Димитър Теодосиев, проф. д-р Никола Георгиев, проф. д-р Георги Желев.

Сътрудничеството между ИКИТ-БАН и НБУ дава отлични възможности за провеждане на изнесено практическо обучение на студенти от Департамент „Природни науки“ по курсовете Космология, Аерокосмически методи в екологията и околната среда, Природни бедствия и екокатастрофи, Геоинформационни системи в екологията и др. Лекциите и практическите занятия, провеждани на територията на ИКИТ, дават качествено ново ниво за овладяване на знания и умения у студентите. Това твърдение се потвърждава от големия интерес и желание на студентите да участват в този вид обучение (Фиг. 1). Много добрите връзки и сътрудничество на ИКИТ-БАН с Националния институт по геофизика, геодезия и география (НИГГГ) при БАН също дават възможност на студентите да посетят и да се запознаят с уникални обекти и апаратури, като например НОТССИ (Национална оперативна система за сеизмологична информация), Геомагнитната обсерватория „Панагюрище“, Геодезична обсерватория „Плана“ и други.



Фиг. 1. Практически занятия на лектори от ИКИТ-БАН със студенти от Департамент „Природни науки“ в НБУ

ИКИТ-БАН и НБУ разработват първата и най-добре ресурсно осигурена в България магистърска програма „Аерокосмически методи в екологията и околната среда“ [5], която за съжаление не се предлага от години, поради липса на кандидати за обучение в нея. Тъй като съвременните екологични изследвания и изучаването на Земята без използване и прилагане на аерокосмически технологии са трудно осъществими, в програмите по екология и опазване на околната среда в НБУ тази тематика е застъпена в отделни курсове. Въпреки това трябва да се преосмисли възможността за предлагане на отделна квалификационна програма „Аерокосмически технологии в екологията и околната среда“.

Научно-образователна дейност

Научно-образователната дейност се осъществява в следните посоки – работа с докторанти, ръководство на дипломанти при подготовката на бакалавърски и магистърски тези, привличане на студенти и докторанти за участие в изследвания, съвместна публикационна дейност на преподаватели и студенти и представяне на резултатите в научни форуми.

✓ Работа с докторанти

ИКИТ-БАН и Департамент „Природни науки“ на НБУ съвместно подготвят четирима докторанти, които успешно придобиват образователната и научна степен „доктор“ [6-9]. Трима от тях са възпитаници на НБУ, които продължават обучение за докторска степен в ИКИТ-БАН [6-8]. Единият от тях е от чужбина, двама са щатни преподаватели в Департамент „Природни науки“ на НБУ. Благодарение на полученото високо образование, на личните и професионалните си качества и четиримата докторанти се реализират успешно, като заемат високи длъжности в страната и чужбина - Център за аерокосмическо наблюдение при Главна дирекция „Пожарна безопасност и защита на населението“ към Министерство на вътрешните работи, Нов български университет и Институт GAPE – Скопие.

✓ Ръководство на студенти и дипломанти

Студенти от програмите по екология на НБУ провеждат своите преддипломни стажове в лабораториите на ИКИТ, като участват реално в научно-изследователската работа.

Дипломанти от Департамент „Природни науки“ на НБУ са разработили и защитили успешно бакалавърски и магистърски тези под научното ръководство на учени от ИКИТ-БАН. Реализирани са 15 такива ръководства на следната тематика: Методология и технология на дистанционните изследвания, Дистанционно аерокосмическо изучаване на горски пожари и нефтено замърсяване на водни площ, Мониторинг на атмосферно замърсяване, Аерокосмически изследвания в екологията и околната среда, Възможности и приложения на лек безпилотен летателен апарат за дистанционни геофизични изследвания, Геоинженерни проучвания за антисейсмично строителство, Геофизични и климатологични характеристики при недвижимите имоти, Дистанционно аерокосмическо изследване на наводнени територии, Дистанционно изучаване на Земята, Аерокосмически методи за прогноза и борба с природните бедствия и катастрофи, Екологични проблеми на летищните комплекси и др. [10].

✓ Участие в научни форуми и съвместна публикационна дейност със студенти

Международната научна конференция „Космос, екология, сигурност - SES“, организирана от ИКИТ-БАН, всяка година отчита, че студенти от програмите по екология и опазване на околната среда в НБУ вземат участие в нея. В последните години се наблюдава, че участието на студентите е не само като слушатели, а че някои от тях участват съвместно с техните преподаватели в изследвания и представяне на резултатите в рамките на този научен форум, като за периода 2012–2020 г. тези студенти са петима [11].

Освен представяне на резултати в научни форуми, студентите участват като съавтори в съвместни публикации с учени от двете институции в издания с научно рецензиране. Броят на тези студенти е седем, като четирима от тях имат участие в публикации в Сборник с научни доклади от конференция „SES“ в съавторство с преподаватели от Департамента, а други трима - в съавторство с учен от ИКИТ участват в статия, публикувана в Годишник на Департамент „Природни науки“ [12-14].

Научно-изследователска дейност

Научно-изследователската дейност, която осъществяват двете институции съвместно може да се обобщи в работа по проекти, съорганизиране и провеждане на научни конференции, семинари, кръгли маси, участия в съвети, комисии, журита, експертни съвети, изготвяне на рецензии, становища, мнения, отзиви, експертизи и др.

Изследвания и проекти

Работата по проект „Разработване на стратегия и методи за мониторинг на електромагнитното замърсяване на околната среда в района на Западните Балкани“, в който участват учени и специалисти от България, Македония, Словения, Хърватия и Чехия, е завършена. Резултатите са база за подготовка на нов съвместен проект и имат пряко отношение към Шеста рамкова програма на Европейския съюз – INTAS–SEE.ERA. NET – (Southeast European - European Research Area) [15].

Екип от специалисти от ИКИТ и Департамент „Природни науки“ към НБУ работиха по създаване на методология и извършват измервания на електромагнитното замърсяване на околната среда с цел подготовка за проект на мониторингова система на територията на населени места, която да позволява събиране на експериментални данни в реално време за нивото на електромагнитните лъчения от различни източници в диапазона от 0 до 30 GHz. Екипът разполага с 3 броя идентична модерна апаратура „SPECTRAN“ на фирмата „AARONIA AG“ с комплектация „SPECTRAN NF 5010“ (1 Hz до 1 MHz) и „SPECTRAN HF 6060“ (1 MHz до 7 GHz) – единият е собственост на ИКИТ, другият е на НБУ (Лаборатория по природни бедствия и рискове към Департамента), а третият – на македонския Институт GAPE [16], с който ИКИТ и НБУ поддържат дългогодишно научно-техническо сътрудничество. Проведени са редица измервания на електромагнитното замърсяване в България (градовете София, Пловдив, Плевен, Бургас, Панагюрище и други населени места), както и в Македония (градовете Скопие и Кичево) [15, 17-19].

Съорганизиране на научни форуми

ИКИТ и НБУ съорганизират в годините няколко научни конференции с международно участие, насочени тематично към екологията и опазването на околната среда (Фиг. 2):

- „Аерокосмически и наземни методи за оценка и въздействие на нарушени терени при открит въгледобив“ – Мини „Марица-Изток“, октомври 2007 г.;
- „Аномални природни и антропогенни въздействия върху околната среда“ – съвместно с Институт GAPE – Скопие (Република Македония), декември 2007 г.;
- „Аерокосмически и наземни методи и средства за оценка на нарушени от промишлеността терени“ – Мини „Марица-Изток“, октомври 2008 г.;
- „Аномални природни и антропогенни въздействия върху околната среда“ – Охрид (Република Македония), юни 2008 г.;
- „Екологизация 2010“ – София и Плевен, юни 2010 г.;
- „Екологизация 2011“ – София и Плевен, юни 2011 г.;
- „Екологизация 2012“ – София, юни 2012 г.;
- „Екологизация 2013“ – София, юни 2013 г.



Фиг. 2. Организиране и участие в съвместни научни форуми

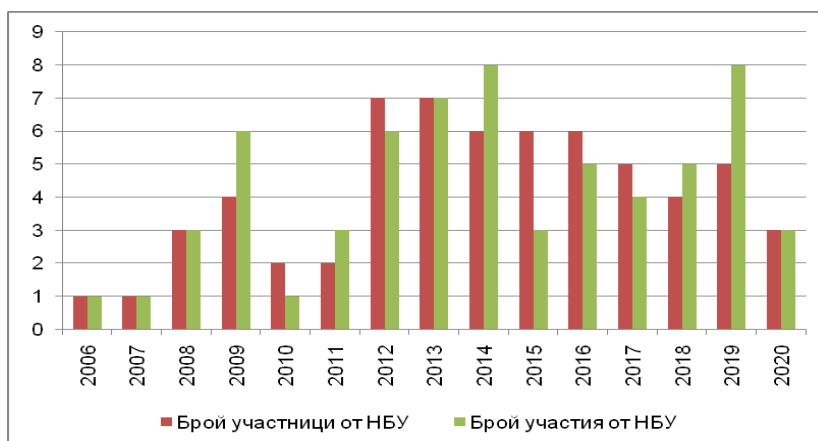
Участие на преподаватели от Департамент „Природни науки“ към НБУ във форуми на ИКИТ-БАН

ИКИТ-БАН организира ежегодно международна научна конференция „Космос, екология, сигурност – SES“, в която вземат активно участие преподаватели, а в последните години и студенти на Департамента. Освен тях, в последните десетина години се отчита участие във форума и на щатни преподаватели от други департаменти в НБУ („Телекомуникации“, „Администрация и управление“), като част от участията са съвместно с колеги от Департамент „Природни науки“.

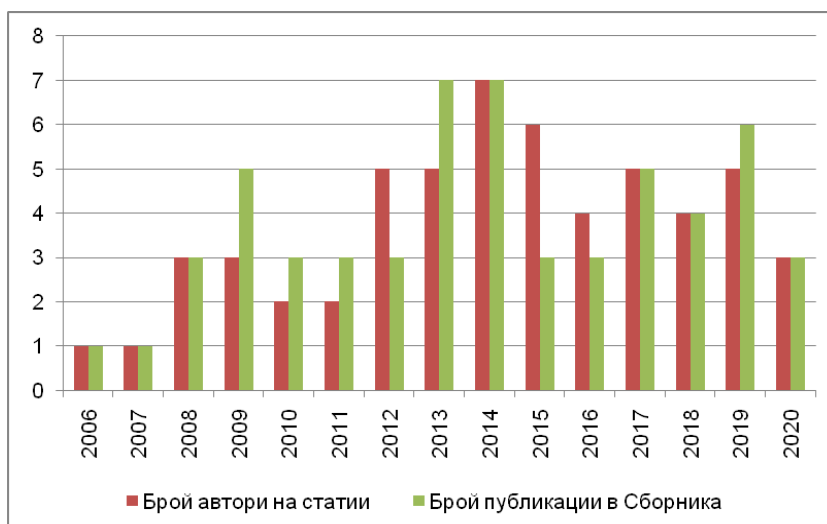


Фиг. 3. Участие на преподаватели от НБУ в научни форуми на ИКИТ-БАН

За периода 2006 – 2020 г. са реализирани 64 участия на преподаватели от НБУ в Конференцията (Фиг. 4) и 57 научни доклада са публикувани в Сборника на конференцията (Фиг. 5). По-голяма част от авторите участват ежегодно със самостоятелни или екипни работи.



Фиг. 4. Участие на щатни преподаватели от програмите по екология на НБУ в традиционната годишна научна конференция „Космос, екология, сигурност – SES“ за периода 2006 – 2020 г. [11]



Фиг. 5. Публикувани научни доклади на щатни преподаватели от програмите по екология на НБУ в Сборника на международна научна конференция „Космос, екология, сигурност – SES“ за периода 2006 – 2020 г. [20]

Участие на учени от ИКИТ-БАН във форуми на Департамент „Природни науки“ към НБУ

Към департамент „Природни науки“ е създаден постоянен научен семинар „TERRA nostra“, в рамките на който щатните преподаватели към департамента, както и външни гост-лектори, водещи български и чужди учени и практики в областта на науките за Земята, запознават студентите с най-новите достижения, идеи и изследвания у нас и в чужбина. В рамките на този форум ежегодно се провеждат тематични събития с участието на колеги от ИКИТ. Сред представените теми са: „Вредно ли е влиянието на електромагнитното поле от мобилната телефония“, „Геопатогенни полета и тяхното влияние върху хората“, „Борба от Космоса с природните бедствия“, „Какво не знаем за Космоса и космическите технологии?“ и др.

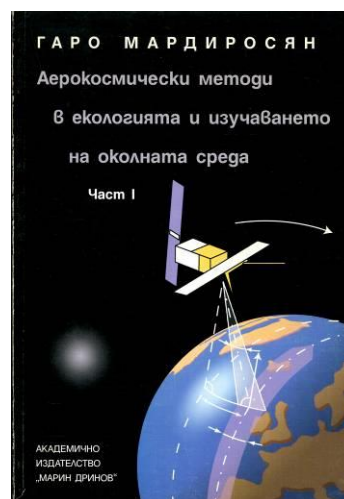
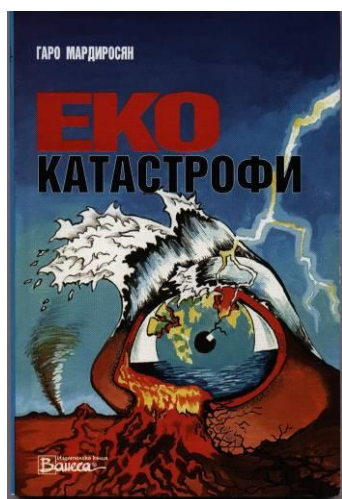


Фиг. 6. Участие на учени от ИКИТ-БАН във форуми на Департамент „Природни науки“ в НБУ

Научни публикации, доклади и книги

Учени от ИКИТ-БАН и Департамент „Природни науки“ при НБУ имат съвместни научни публикации и научни доклади освен на цитираните по-горе съвместно организирани конференции, така също и на други наши и международни научни и научно-практически форуми [15, 17-19].

В няколко учебни курса в програмите по екология на Департамент „Природни науки“ се използват книги на лектори от ИКИТ [21-27] (Фиг. 7). Има издадени в съавторство книги на преподаватели от ИКИТ и НБУ [28]. Част от посочените книги са издадени от Издателство на НБУ.





Фиг. 7. Книги на лектори от ИКИТ-БАН

Учени от ИКИТ са членове в редакционната колегия, рецензенти и автори на статии в изданията от НБУ „Годишник на Департамент „Природни науки“ [29].

Научните статии на щатни преподаватели в Департамент „Природни науки“, които са публикувани в изданията на ИКИТ – Сборник „Космос, екология, сигурност – SES“ и научно списание „Aerospace Research in Bulgaria“, са над 60 [30].

Заклучение

ИКИТ-БАН и НБУ чрез Департамент „Природни науки“ доказано реализират успешно научно и образователно сътрудничество. Съвместната им дейност дава възможност за провеждане на интердисциплинарни научни изследвания и повишава качеството на обучението в тях. Освен активността на преподаватели и студенти, трябва да се отбележи, че предпоставка за този успех са и специфичните особености на двете институции – ИКИТ като интердисциплинарен академичен институт и НБУ като модерно висше учебно заведение. Смятаме, че са налице възможности за разширяване на това сътрудничество – например, съвместно участие в национални и международни научни и образователни проекти, тематични конкурси и др.

Литература:

1. Институт за космически изследвания и технологии при Българска академия на науките: <http://www.space.bas.bg/>
2. Департамент „Природни науки“, Нов български университет: <https://naturalsciences.nbu.bg/bg/>
3. Националната агенция по оценяване и акредитация: <https://neaa.government.bg/>

4. Нов български университет. Кataloзи и справочници 1997 – 1998 до 2021 – 2022 г.
5. Гецов, П., 2008. Институтът за космически изследвания при БАН – с приоритет към екологичните изследвания. Сборник с доклади IV научна конференция с международно участие "Космос, екология, нанотехнологии, сигурност" SENS'2008. 9–14
6. Францова, А., 2007. Хибриден метод за изследване на комплексния риск от природни бедствия. Дисертация за получаване на образователна и научна степен „доктор“. ИКИ – БАН.
7. Берберова, Р. Природни катастрофи и редуциране на последствия от тях чрез използване на информационни системи. Дисертация за получаване на образователна и научна степен „доктор“. ИКИ – БАН, 2009, 189 с.
8. Велкоски, С., 2010. Защита от електромагнитни полета и геопатогенни въздействия. Дисертация за получаване на образователна и научна степен „доктор“. ИКИТ-БАН.
9. Маринова, Н., 2010. Управление на проекти за дистанционни аерокосмически изследвания с цел превенция и защита от природни бедствия и кризисни ситуации. Дисертация за получаване на образователна и научна степен „доктор“. ИКИ – БАН.
10. Библиотека на Нов български университет, Библиотечен каталог: <https://qopac.nbu.bg/EOSWebOPAC/OPAC/Index.aspx>
11. Програми на Международна научна конференция „Космос, екология, сигурност – SES“, ИКИТ-БАН. 2006 – 2020 г.: <http://www.space.bas.bg/SES/about.html>
12. Илков, Д., Р. Берберова, Г. Петров. 2019. Приложение на радиотелекомуникационните средства за превенция и реакция при природни бедствия. Сборник с доклади от XV Международна научна конференция SES'2019. ИКИТ-БАН. 232–240. ISSN 2603–3321.
13. Желев, Г., Д. Стефанова, П. Стефанов, Д. Бонев, Ал. Стоянова, Д. Чолакова. 2020. ГИС проект за изследване на карста в Р. България. Годишник на департамент „Природни науки 2018-2019“. НБУ. 52–58.
14. Nikolova, R., V. Ivanov, V. Petkova, 2017. Space Waste. Thirteenth international scientific conference with International Participation „Space, Ecology, Safety – SES 2017“, SRTI-BAS, 304–308
15. Getsov P., D. Teodosiev, E. Rumenina, G. Mardirossian, 2008. Bulgarian Participation in the Project SEE_Era.NET-EU PROGRAMME, International Conference Fundamental Space Research, 399–402.
16. Институт GAPE, Македония: <http://igape.edu.mk>
17. Mardirossian, G., S. Velkoski, A. Bliznakov, 2003. Improvements and innovations in Registering the Geomagnetic Field Parameters. Annual of the University of Mining and Geology, 373–377.
18. Теодосиев, Д., Г. Мардиросян, Л. Филчев, Р. Гюров, Б. Сребров, П. Димитров, Ц. Среброва, 2009. Резултати от пилотно мониторингово изследване на разпределението и характеристиките на електромагнитни полета в диапазона 800 MHz – 2200 MHz в градска среда. Екологично инженерство и опазване на околната среда, Кн. 3-4/2009, 74–81.
19. Теодосиев, Д., Г. Мардиросян, Р. Гюров, Р. Берберова, С. Велкоски, 2010. Картографиране на електромагнитното замърсяване върху урбанизирани територии. Сборник с доклади „Юбилейна научна конференция с международно участие „BCU 2010“, V-84-90.
20. Сборник с доклади на Международна научна конференция „Космос, екология, сигурност“, SES. ИКИТ-БАН. 2006 – 2020 г.
21. Гецов, П., 2002. Космос, екология, сигурност. София: Нов български университет
22. Гецов, П., 2014. Национална аерокосмическа система за мониторинг и защита от природните екокатастрофи. София: Акад. издат. „Проф. Марин Дринов“
23. Мардиросян, Г., 1993. От Космоса срещу екологичните катастрофи. София: Издателство на БАН
24. Мардиросян, Г., 1999. Природни екокатастрофи и тяхното дистанционно аерокосмическо изучаване. София: Акад. издат. „Проф. Марин Дринов“
25. Мардиросян, Г., 2003. Аерокосмически методи в екологията и изучаването на околната среда. София: Акад. издат. „Проф. М. Дринов“.
26. Мардиросян, Г., 2015. Основи на дистанционните аерокосмически изследвания. София: Нов български университет.
27. Мардиросян, Г., 2020. Природни бедствия и екологични катастрофи – изучаване, превенция, защита. София: Академично издателство „Проф. М. Дринов“.
28. Мардиросян, Г., Б. Рангелов, А. Близнаков, 2011. Природни бедствия – възникване, последици, защита. София: АВИТ КОНСУЛТ.
29. Годишник на Департамент „Природни науки“, 2014 – 2020 г. НБУ. ISSN 2367-6302: <https://naturalsciences.nbu.bg/bg/godishnik-na-departament-prirodni-nauki>
30. Сп. „Aerospace Research in Bulgaria“, ИКИТ-БАН: <http://journal.space.bas.bg>

Session 1

Space Physics

Chairmen: Prof. Tsvetan Dachev

Corr. Member Peter Velinov

Secretary: Assoc. Prof. Daniela Boneva

SPACE MISSIONS WITH LIULIN INSTRUMENTS DURING 2021

**Tsvetan Dachev, Borislav Tomov, Yury Matviichuk, Plamen Dimitrov,
Nikolay Bankov, Malina Jordanova**

Space Research & Technology Institute – Bulgarian Academy of Science (SRTI-BAS)
tdachev@bas.bg, btomov@bas.bg, ymat@bas.bg, m_g_mitev@abv.bg, ngb43@abv.bg, mjordan@bas.bg

Keywords: Space radiation, space weather, dosimetry, spectrometry

Abstract: The article describes the planned experiments with three new Liulin-type devices, developed in 2021 in Solar-Terrestrial Physics Department of the Institute for Space Research and Technology (SRTI) at BAS. The first experiment was conducted with Liulin-SGO instrument during a successful flight of a zero pressure stratospheric balloon up to 35 km altitude on September 13, 2021. Liulin-SGO instrument is part of a scientific project of the Geophysical Observatory in Sodankilä, Finland. The era of suborbital touristic flights up to 100-110 km above sea level is already opened with the flights of Virgin Galactic (VG) on July 11 and Blue Origin on July 20, 2021. Second device is Liulin-CNR-VG. It was developed under a Cooperation Agreement between SRTI-BAS and the National Research Council of Italy (CNR), the Department of Engineering Information and Communication Technologies and Technologies for Energy and Transport. Liulin-CNR-VG instrument will be used to measure the dose of cosmic radiation during a new VG SpaceShipTwo flight in 2022. The third experiment will be conducted on the Japanese segment of the International Space Station (ISS) for one year starting in March 2021. The instrument Liulin-SET will be used. It was developed under a request from the Space Environment Technologies (SET) Limited Liability Corporation (LLC), CA, USA. The President and Chief Scientist of the LLC is Dr. Kent Tobiska.

КОСМИЧЕСКИ ЕКСПЕРИМЕНТИ С ПРИБОРИ ОТ ТИПА ЛЮЛИН ПРЕЗ 2021 г.

**Цветан Дачев, Борислав Томов, Юрий Матвийчук, Пламен Димитров, Митьо Митев,
Николай Банков, Малина Йорданова**

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
tdachev@bas.bg, btomov@bas.bg, ymat@bas.bg, m_g_mitev@abv.bg, ngb43@abv.bg, mjordan@bas.bg

Ключови думи: Космическа радиация, космическо време, дозиметрия, спектрометрия

Резюме: Статията описва планираните експерименти с разработените през 2021 г. три нови прибора от типа „Люлин“ в секция „Слънчево-земна физика“ на Института за космически изследвания и технологии (ИКИТ) към БАН. Първият експеримент е проведен с прибора Liulin-SGO при успешен полет на стратосферен балон до 35 км височина на 12 септември 2021 г. Приборът Liulin-SGO е част от научен проект на Геофизичната обсерватория в гр. Соданкиле, Финландия. Ерата на суборбиталните туристически полети до 100-110 км надморска височина вече е открита с полетите на Virgin Galactic (VG) на 11 юли и на Blue Origin на 20 юли 2021 г. Приборът Liulin-CNR-VG е разработен по договор за сътрудничество между ИКИТ-БАН и Националният съвет за научни изследвания на Италия (CNR), Департамента по инженерство, информационни и комуникационни технологии и технологии за енергетиката и транспорта. Очаква се до края на 2022 г. приборът Liulin-CNR-VG да бъде използван за измерване на дозата космическа радиация при нов полет на VG на височини до 86 км. Третият експеримент ще се проведе с прибора Liulin-SET на японския сегмент на Международната космическа станция (МКС). Експериментът ще продължи една година, започвайки от март 2022 г. Приборът Liulin-SET е разработен в ИКИТ-БАН по поръчка на американската фирма „Технологии за космическото пространство“ (Space Environment Technology, Pacific Palisades, CA, USA), САЩ с президент д-р Кент Тобиска.

Introduction

Ionizing radiation is recognized to be one of the main health concerns for humans in the space. The dominant radiation component in the space radiation environment are the galactic cosmic rays (GCR). They are not rays at all but charged particles that originate from sources beyond the Solar System [1, 2]. Another component are the solar energetic particles (SEP). The SEP contain mainly protons but also some helium and heavier ions. They may deliver very high doses over short periods, that is why could be associated with lethal equivalent doses in the interplanetary space. In addition, there are two distinct belts of toroidal shape surrounding the Earth, where high energy charged particles are trapped in the geomagnetic field. The inner radiation belt (IRB), located between about 1.1 and 2 Earth radii, consists of electrons with energies up to 10 MeV and protons with energies up to ~700 MeV. The outer radiation belt (ORB) consists mostly of electrons. It starts from about 4 Earth radii and extends to about 9–10 Earth radii in the anti-sun direction. The ORB may deliver large additional doses to astronauts during extravehicular activity (EVA) [3].

The calculations show that radiation doses, expected on manned space missions, can easily exceed the suggested allowed doses, but we must keep in mind that these estimations bear a lot of uncertainties. Present models of all three stages, involved in these calculations, are far from precise. Therefore experimental measurements are of a great importance for the future planning of manned mission in the interplanetary space and on the surface of Moon and Mars.

Liulin spectrometers developed for space experiments in 2021

A total of 10 different space instruments were developed, qualified and used in 16 space missions between 1988 and 2019 [4-6] by the scientists from the Solar-Terrestrial Physics Section, Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences (SRTI-BAS).

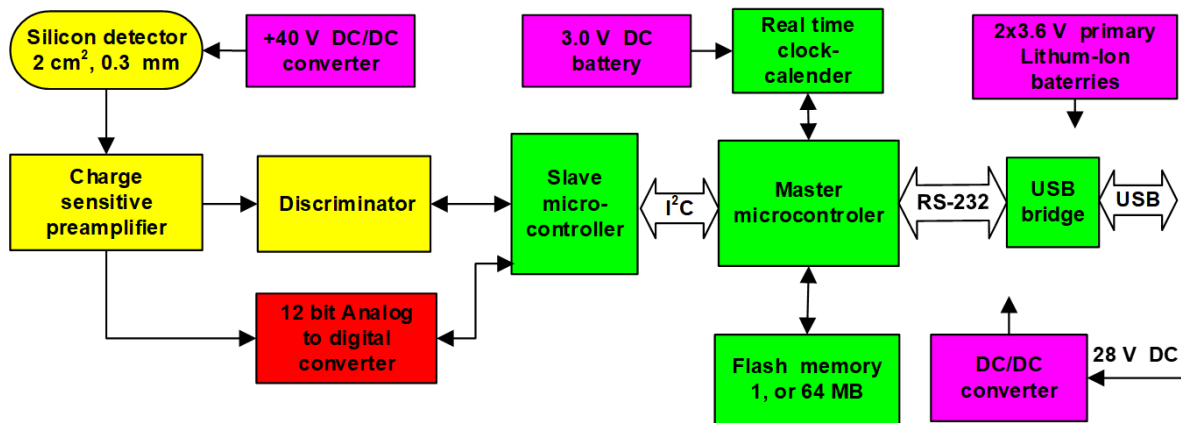


Fig. 1. Unified block-diagram of the three Liulin spectrometers

The unified block diagram of the three Liulins is shown in Fig. 1. The Liulin-SGO spectrometer use 2 D-size Lithium-Ion 3.6 V primary batteries, while the Liulin-CNR-VG instrument use 2 AAA-size rechargeable batteries. Liulin-SET is charged only by external 28 V DC source. DC/DC converters inside the devices produce additional 5, 12 and 40 V voltages. Liulin-SGO and Liulin-CNR-VG contain 1 MB flash memory, while Liulin-SET 64 MB flash memory, which is sufficient for the storage of 390 days non-stop compressed spectra with 10-sec exposition time. Each instrument contains a real time clock-calendar but only in Liulin-SET it is additionally charged by 3 V battery.

Each spectrometer-dosimeter contains one silicon-PIN diode Hamamatsu S2744-08 (2 cm² area and 0.3 mm thickness), one ultra-low noise charge-sensitive preamplifier AMPTEK A225F, 2 microcontrollers and 1, 32 or 64 MB flash memory.

After passing a charge-sensitive preamplifier, the signal is digitized by a 12 bit fast analog to digital (A/D) converter. The doses (deposited energies) are determined by a pulse height analysis technique and then passed to a discriminator. According to AMPTEK 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 income particles and quanta are transformed into digital signals, which are sorted into 256 channels by a multichannel analyzer. For every exposure interval, a single 256 channels energy deposition spectrum is collected. The energy channel number 256 accumulates all pulses with amplitudes exceeding the maximal level of the spectrometer of 20.83 MeV.

The calibration procedures of the three instruments are analogical to those described in [4, 5 and 7]. The response curve of these instrument is expected to be similar to that published by [8-9], because all Liulin dosimeter - spectrometers are manufactured using the same electronic parts and schematic.

Liulin-SGO instrument for a stratospheric balloon up to 35 km altitude

The Liulin-SGO instrument was part of zero pressure balloon experiment, which was launched on 12th of September 2021 up to 35 km altitude from Kiruna, Finland.

Liulin type spectrometers (LTS) had already participated successfully in a number of balloon missions. The first balloon data were received by the Mobile Dosimetry Unit (MDU)-2, part of Lilun-4C [10] system during a balloon flight launched the 14 June 2000 from the Gap-Tallard aerodrome, France (44.51°N, 6.01°E, Rc=5.18 GV) It was a technological flight of CNES balloon program.

The second balloon flight, with 3 battery operated Liulins (MDUs), was performed during the certification flight of the NASA Deep Space Test Bed (DSTB) balloon on June 8, 2005. The balloon was launched from Ft. Sumner (34.47°N, 104.24°W, Rc=4.08 GV), New Mexico, USA [11]. Another stratospheric balloon flight with LTS was performed in September 2016 from Fort Sumner, New Mexico. This was the NASA mission RaD-X [12].

Wissmann, [13] described the results of the periodic measurements of the radiation up to 30 km altitude at high altitude balloon flights, using Liulin dosimeters similar to the Liulin-SGO.

LTS were also used as environmental radiation monitoring devices at mountain peaks [14-15] and in high latitude observatories [16].



Fig. 2. Liulin-SGO spectrometer

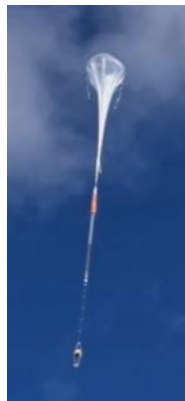


Fig. 3. The balloon



Fig. 4 Retrieval of Liulin-SGO

Fig. 2 presents the external view of Liulin-SGO. Its dimensions are 110x100x45 mm. The total mass (including batteries) is 0.57 kg. The spectrometer works by 2 internal 3.6 V Li-Ion batteries or from aircraft/balloon voltage of 15-36 V DC.

Liulin-SGO has 4 control devices on the front panel and one on the upper side panel: 1) Green Light Emitting Diode (LED) with label next to it "DC Power". This LED shines always when the MDU is connected to an external 20-35 V DC power supply and is not affected by the "OFF-ON" switch; 2) The OFF-ON switch is used to start/stop the measurement sessions of the instrument irrespective of the power supply. It does not switch OFF-ON the internal clock-calendar of the instrument if there are batteries in it. The setting of the internal clock-calendar is performed automatically during the initialization. 3) The red "Status" LED indicates the operation status of the instrument. It shines for about 0.5 sec at the beginning of each measurement cycle; 4) The micro USB connector is used for connection with PC; 5) The male DB9M type connector is used for connection of the external 20-35 V DC power supply or for the 24 V DC output of the 100-240 V AC 24 V DC converter.

Fig. 3 shows the zero pressure stratospheric balloon. On Fig. 4 two researchers from the Geophysical Observatory in Sodankilä, Finland are working on the Liulin-SGO retrieval from the thermal insulated box after the flight. Liulin-SGO spectrometer is in their hands. (<http://cosmicrays oulu.fi/rg/index.php/2021/09/13/hemera-balloon/>) They obtained the data from the flash memory of the Liulin-SGO and expected to finish the analysis till end of the year.

Liulin-CNR-VG instrument for VG flight at altitudes up to 86 km

The Liulin-CNR-VG device was developed under a cooperation agreement between SRTI-BAS and the National Research Council of Italy (CNR), the Department of Engineering Information and Communication Technologies and Technologies for Energy and Transport. It is expected that in the fall of 2021 Liulin-CNR-VG will be used to measure the dose of cosmic radiation during a new VG

flight at altitudes up to 86 km. Virgin Galactic announces crew for next launch to suborbital space | Space

The external view of the portable dosimeter-spectrometer Liulin-CNR-VG (PDS) is presented on Fig. 5. It is situated in an Extruded Aluminum Enclosure with a size 66x56x26 mm. The weight of the PDS, including the batteries, is 0.098 kg. The control devices on upper panel of the PDS are the same as on Liulin-SET. The ON/OFF switch, the red status LED and the mini female connector USB are mounted on the upper panel of the PDS.

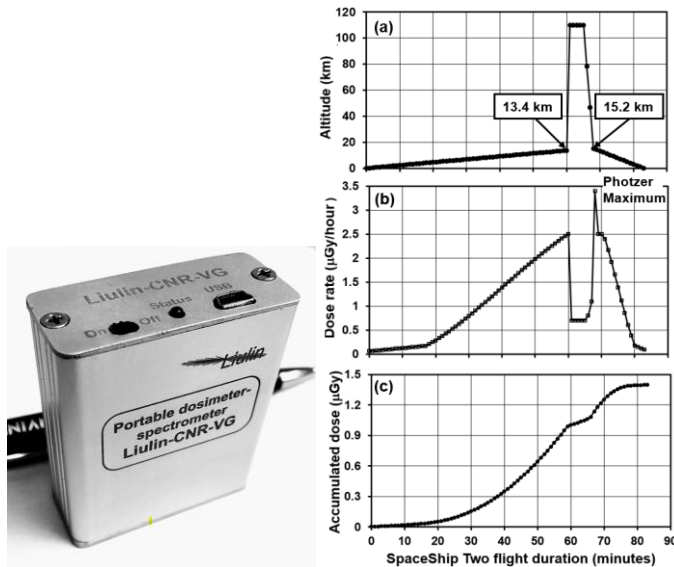


Fig. 5. Liulin-CNR-VG Spectrometer

Fig. 6. Predicted (a) altitude (b) dose rate and (c) accumulated dose rate

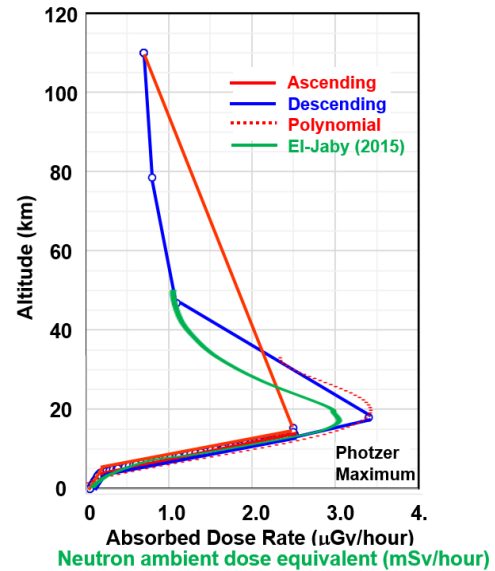


Fig. 7 Predicted altitudinal profile of the absorbed dose rate

The instrument uses two AAA type, 3.6 V, 360 mAh 10440 type rechargeable batteries of Portable Power Corp.

Below the 0.5 mm thick bottom panel is situated the 2 cm² Hamamatsu PIN diode detector. In addition, there is a technological shielding of 0.07-mm copper and 0.2-mm plastic material. They all provide a total shielding of 0.25 g cm⁻². The calculated required kinetic energies of normally falling particles to the detector are 0.67 and 12.5 MeV for electrons and protons, respectively (<https://www.nist.gov/pml/stopping-power-range-tables-electrons-protons-and-helium-ions>). This indicates that only protons and electrons with energies higher than the values listed above can cross the PDS shielding materials and reach the surface of the detector.

The following approximate flight times and altitudes are expected during a typical flight of VG SpaceShipTwo: The two mated vehicles climb to an altitude of approximately 45,000 feet (13.7) km for 60 minutes; Boost: ~60 seconds up to 110 km; Coast (microgravity) at 110 km: 3 minutes; Re-entry: ~2-3 minutes back to 15.24 km; Glide to Land: ~15 minutes. Fig. 6a presents the time profile of the altitude of SpaceShipTwo during the flight up to the altitude of 110 km with 1 minute resolution.

The data of the approximate flight times and altitudes are used to predict the hourly-absorbed dose rates and the accumulated dose rates during the flight (Fig. 6b and 6c).

We also use the available polynomial approximation of the dose rate altitudinal profile (dashed line in Fig. 7) from the second balloon flight, performed during the certification flight of the NASA Deep Space Test Bed (DSTB) on June 8, 2005 (see the previous page), to predict the dose rate profile up to 15.2 km during the expected flight of the VG SpaceShipTwo in the fall of 2021. This is possible to be done because: First, the coordinates of the VG Spaceport America are 106.95W 32.98°N. As SpaceShipTwo will take off and land after almost a vertical flight up to 110 km, the difference in the coordinates between the Spaceport America and Ft. Sumner of 2-3 degrees is neglectable for the space radiation profile. Second, the predicted F10.7 radio flux value in the fall of 2021, when the flight is expected, is between 77 and 89 s.f.u. (<https://www.swpc.noaa.gov/products/solar-cycle-progression>). These values are close to the F10.7 radio flux value during the balloon flight in June 2005 of 94 s.f.u. The above allows to consider 2005 data relevant to the expected measurements in 2021-2022.

Polynomial data of order of four (red dashed line in Fig. 7) from the second balloon flight in 2005 was used for the altitudes above 3.9 km. Other dose rate profiles were predicted by linear rise equations in Fig. 6 and 7.

Fig. 7 presents the same data with 1-minute time resolution as in Fig. 6b but in dependence of the altitude. The doses during the ascending part of the orbit are presented with red points and lines, while the descending part with blue lines. The polynomial presentation of the Liulin data in 2005 is shown with red dashed line.

As illustrated in Fig. 6 and 7, during the ascending part of the flight, the dose rate will rise from 0.058- $\mu\text{Gy}/\text{hour}$ up to 2.5 $\mu\text{Gy}/\text{hour}$ at 13.4 km altitude. The Pfozter maximum [17] with a dose rate of 3.5 $\mu\text{Gy}/\text{hour}$ is not expected to be seen in the ascending part of the flight because of the very fast crossing through it. Above the maximum, the dose will slowly decrease up to 110 km altitude where it will fall down to 0.7 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ and in a similarity of the El-Jaby, and Richardson, 2015 profile (green line) [18]. The dose rate will not change during the 4 minutes of microgravity. It will start to increase during the re-entry, going through the Pfozter maximum. In the “glide to land” part of the flight, the dose rate will decrease back to 0.058- mGy h^{-1} .

The increase of the accumulated dose rate alters in μGy from zero to 1.4 μGy in Fig. 6c. The equivalent dose during the flight is calculated to be about 2.5 μSv for 1.5 hours because the mean quality factor is about 1.8 for a subsonic flight ($1.4 \times 1.8 = 2.5$ μSv). Having in mind that, a passenger, flying from London to New York at a height of 11 km, will receive for about 7 hours a dose of 32 μSv (4.6 $\mu\text{Sv}/\text{hour}$), the equivalent of a panoramic dental X-ray scan https://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Radioactivity_in_Flight.htm, the calculated dose of 2.5 μSv is about 10 times less and fully acceptable. The obtained above values reveals that there is no any radiation risk for the crew and astronauts flying at the VG SpaceShipTwo.

Liulin-SET instrument for the Japanese Experimental Module at the International Space Station

Liulin-SET instrument was developed under a request from Space Environment Technologies (SET) Limited Liability Corporation (LLC) with a Chief Scientist Dr. Tobiska. Liulin-SET is part of the flight module number 9 (ARMAS FM9 <https://spacewx.com/wp-content/uploads/2021/05/FM9-overview.pdf>), which is scheduled to operate outside of the Japanese Experimental Module (JEM) of the International Space Station for 1 year with expected start in March 2022.



Fig. 8. Liulin-SET spectrometer



Fig. 8. ARMAS FM9 module

The Liulin-SET spectrometer external view is shown in Fig. 8. Its real dimensions are 78x60x37 mm. The total mass is 0.16 kg. The black plastic bezel is made by polycarbonate (<http://www.hammondnmfg.com/pdf/1455C1201.pdf>), 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 the outer radiation belt (ORB) [3]. The Liulin-SET spectrometer is situated inside of the ARMAS FM9 module (Fig. 9), which is developed by the Space Environment Technologies LLC). The FM9 module provides to Liulin-SET 28 V, 10 mA voltage from the JEM.

The spectrum, together with information for the real time, is saved in the flash memory of the instrument. The capacity of the memory is 64 MB, enough for the storage of 390 days non-stop compressed spectra with a 10 sec exposition time.

Conclusions

The data received from the new missions with Liulin spectrometers in 2021-2022 will contribute to the detailed evaluation and understanding of the radiation environment in space and in the Earths' orbit. This is especially important, as the era of the space tourism has already been opened.

The ionizing radiation data obtained by the Liulin type instruments in space are part of the “Unified web-based database with Liulin-type instruments”, available online, free of charge at the following URL: <http://esa-pro.space.bas.bg/database> [19]. The data are stored along with the orbital

parameters of the satellites. The User Manual of the database is also available online at: <http://esa-pro.space.bas.bg/manual>.

Acknowledgements

The authors are thankful to the following colleagues, who are ready to use Liulins in their projects: Prof. Ilya Usoskin, head of Oulu Cosmic Ray Station (<https://www oulu.fi/university/researcher/ilya-usoskin>), Dr. Lucia Paciucci, National Research Council of Italy, Engineering, ICT and Technologies for Energy and Transportation Department (CNR-DIITET), Rome, Italy (<https://www.cnr.it/peoplepublic/peoplepublic/index/scheda/u/lucia.paciucci>) and President and Chief Scientist Dr. Kent Tobiska, Space Environment Technologies, Pacific Palisades, California, USA (<https://spacewx.com/>).

References:

1. Mewaldt, R. A., Cosmic Rays, online at http://www.srl.caltech.edu/personnel/dick/cos_encyc.html, 1996.
2. Simpson, J. A., in: Shapiro M. M. (Ed.) Composition and origin of cosmic rays, NATO ASI Series C: Mathematical and Physical Sciences. Vol. 107, Reidel, Dordrecht, 1983.
3. 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, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2017.11.008>
4. Dachev, T. P., et al., Overview of the Liulin type instruments for space radiation measurement and their scientific results, *Life Sciences in Space Research*, 4, 92-114, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lssr.2015.01.005>.
5. Dachev, T. P., et al., Overview of the ISS radiation environment observed during the ESA EXPOSE-R2 mission in 2014-2016. *Space Weather*, 15, 1475-1489, 2017. <https://doi.org/10.1002/2016SW001580>
6. Semkova, J., et al., Charged particles radiation measurements with Liulin-MO dosimeter of FRENED instrument aboard ExoMars Trace Gas Orbiter during the transit and in high elliptic Mars orbit. *Icarus*, Volume 303, 15 March 2018, Pages 53-66, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2017.12.034>
7. Dachev, T., P. et al., Description of the "Liulin Ten-Koh" charged particles spectrometer for the Japanese "Ten-Koh" satellite, Bulgarian Academy of Sciences. Space Research and Technology Institute. Aerospace Research in Bulgaria. 33, 5-24, 2021, Sofia, http://journal.space.bas.bg/arhiv/n%2033/Articles/1_Dachev.pdf
8. Dachev, T.P., et al., "BION-M" №1 spacecraft radiation environment as observed by the RD3-B3 radiometer-dosimeter in April-May 2013, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 123, 82-91, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2014.12.011>
9. Uchihoi, Y., et al., Analysis of the calibration results obtained with Liulin-4J spectrometer-dosimeter on protons and heavy ions, *Radiation Measurements*, 35, 127-134, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S1350-4487\(01\)00286-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1350-4487(01)00286-4)
10. Spurny, F., T. Dachev, B. Tomov, Yu. Matviichuk, Pl. Dimitrov, K. Fujitaka, Y. Uchihoi, H. Kitamura, Dosimetry Measurements During a Balloon and Aircraft Flights, *Proceedings of 7th STIL-BAS conference*, 169-172, Sofia, November, 2000.
11. Benton, E., 2005. 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. Available online at: (https://wrmiss.org/workshops/tenth/pdf/08_benton.pdf).
12. Mertens, C.J., et al. 2016, Cosmic radiation dose measurements from the RaD-X flight campaign, *Space Weather*, 14, 874-898, doi:10.1002/2016SW001407.
13. Wissmann, F., Burda, O., Khurana, S., Klages, T. and Langner, F., 2014. Dosimetry of secondary cosmic radiation up to an altitude of 30 km. *Radiation protection dosimetry*, 161(1-4), pp. 299-302. <https://doi.org/10.1093/rpd/nct329>
14. Kubančák, J., Ambrožová, I., Bütikofer, R., Kudela, K., Langer, R., Davidková, M., Ploc, O. and Malušek, A., 2014. Liulin silicon semiconductor spectrometers as cosmic ray monitors at the high mountain observatories Jungfraujoch and Lomnický štít. *Journal of instrumentation*, 9(07), p.P07018. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/9/07/P07018>
15. Mishev, A.L. and Hristova, E., 2012. Recent gamma background measurements at high mountain altitude. *Journal of environmental radioactivity*, 113, pp.77-82. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.04.017>
16. Zanini, A., et al., Liulin-AR spectrometer for radiation environment observation on SABIA-MAR 1 satellite, 3rd International Conference and Exhibition on Satellite & Space Missions, May 11-13, 2017 Barcelona, Spain, DOI: 10.4172/2168-9792-C1-017
17. Regener, E. & G. Pfozter, Vertical Intensity of Cosmic Rays by Threefold Coincidences in the Stratospher, *Nature* 136, 718-719, 1935. doi:10.1038/136718a0
18. El-Jaby, S. and Richardson, R.B., 2015. Monte Carlo simulations of the secondary neutron ambient and effective dose equivalent rates from surface to suborbital altitudes and low Earth orbit, *Life sciences in space research*, 6, pp.1-9.
19. Dachev, T., et al., Description of the database with Liulin type instruments' cosmic radiation data, *Proceedings from the Fourteenth International Scientific Conference "SPACE, ECOLOGY, SAFETY" – SES 2018*, 30-36, Sofia, Bulgaria, 7-9 November, 2018. <http://www.space.bas.bg/SES/archive/SES%202018%20DOKLADI/PROCEEDINGS%20SES%202018.pdf>

ACTIVE AND QUIESCENT PROMINENCES OF SOLAR CYCLE 24

Tsvetan Tsvetkov¹, Yoana Nakeva², Nikola Petrov¹

¹*Institute of Astronomy and National Astronomical Observatory – Bulgarian Academy of Sciences*

²*Aix-Marseille University, Department of Physics, France*

e-mail: tstsvetkov@astro.bas.bg

Keywords: Prominences, filaments, solar activity, solar cycle

Abstract: We present the results of a statistical study on the association between prominences/filaments, detected by Kislovodsk Mountain Astronomical Station of the Pulkovo Observatory, and active regions (listed by the NOAA Space Weather Prediction Center). The study covers the period of solar cycle 24 (December 2008 – December 2019) and includes 1735 active regions, 21186 prominences and 45279 filaments. Our results show that most of the H-alpha prominences/filaments tend to form outside active regions and most of the active regions are not producing a single prominence in their lifetime.

АКТИВНИ И СПОКОЙНИ ПРОТУБЕРАНСИ ОТ 24-И СЛЪНЧЕВ ЦИКЪЛ

Цветан Цветков¹, Йоана Накева², Никола Петров¹

¹*Институт по астрономия с Национална астрономическа обсерватория –
Българска академия на науките*

²*Университет Екс-Марсилия, Физически факултет, Франция*

e-mail: tstsvetkov@astro.bas.bg

Ключови думи: Протуберанси, влакна, слънчева активност, слънчев цикъл

Резюме: Представяме резултатите от статистическо изследване на връзката между протуберанси/влакна, регистрирани от Планинската астрономическа станция Кисловодск на Пулковската обсерватория, и активни области (публикувани от Центъра за прогнозиране на космическото време на Националната агенция на океанските и атмосферни изследвания на САЩ). Изследването обхваща периода на 24-ия слънчев цикъл (декември 2008 – декември 2019 г.) и включва 1735 активни области, 21186 протуберанса и 45279 влакна. Нашите резултати показват, че повечето протуберанси/влакна, наблюдавани в линията H α , се формират извън активни области, както и повечето активни области не образуват нито един протуберанс по време на съществуването си.

Introduction

Quiescent prominences (QPs) may retain their global properties relatively constant for periods up to few solar rotations. Usually they form outside active regions (ARs) on higher latitudes. Despite their shape often remains nearly unchanged in long time ranges, high-resolution observations reveal that their fine structure is dynamic. The lifetime of quiescent prominences varies, but is strongly dependent on their latitudes – in polar regions they live 5.2 solar rotations on average, while near the equator this period decreases to 3.3 rotations [1].

Active prominences (APs) emerge in or close to ARs. They are dynamic structures with clearly noticeable movements and typical lifetime of a few hours [2]. They are smaller in size than QPs, have similar temperature, but are denser and with stronger magnetic field [3].

As structures formed in significantly hotter and less dense environment, the geometry, dynamics and the existence of prominences are determined by the properties and evolution of the magnetic fields that support and isolate the prominence material in the corona. The connection with solar magnetic field is also proved by the dependence between their number, size and their

distribution at different moments of the 11-year solar cycle [4]. Their behavior is similar to the one of sunspots – during solar minimum we observe less filaments, they are smaller in size, shorter-lived and much less active. Around the maximum of the cycle, not only their number and activity increases, but prominences (similar to the sunspots) migrate – from average latitudes of $\pm 30^\circ$ at the beginning of the cycle to about $\pm 17^\circ$ at the end [5].

The solar cycle (SC) 24 began in December 2008 with a solar minimum that had lasted longer than average reaching record low levels of solar and geomagnetic activity [6] and ended 11 years later in December 2019, according to the data presented by SILSO Database of Royal Observatory of Belgium, Brussels. The 24th solar maximum happened in April 2014. SC24 had a low level of activity and fewer sunspots than average [7]. Still, some powerful events did occur, such as the active region (AR) 12192. It emerged in October 2014 and was the largest AR since November 1990 [7].

We present a statistical analysis on the link between ARs and prominences/filaments, observed during the SC24 (December 2008 – December 2019). Determining whether a prominence is related to an AR we divide them into AP and QP.

Data Sources and Association Criteria

Using the ARs listing of the NOAA Space Weather Prediction Center we considered all ARs between 11018 (appeared on 2009 May 23) and 12753 (2019 December 26) as belonging to the SC24. Although the first one was observed 6 months after the beginning of the SC, it was the first AR formed at latitude higher than 30° since December 2008 and we assume it as a starting point in our study. The daily reports of the H-alpha (6563 Å) telescope of Kislovodsk Mountain Astronomical Station of the Pulkovo Observatory are used to associate prominences and filaments with the events from our ARs sample. Finally, our sample includes 1735 ARs, 21186 prominences and 45279 filaments in the period of SC24. Due to the common nature of prominences and filaments, in our study we consider them as one process and both terms are used interchangeably.

Taking into consideration their shapes and sizes, to link a prominence/filament to an AR we require the difference between their given latitudes to be less or equal to 7° when they are detected on the same side of the central meridian.

Results

We compare the yearly mean total number of ARs and prominences with the progression of the SC, presented by the yearly mean sunspot number (Figure 1, left). Both sunspots and ARs follow nearly the same trend and peak in 2014. Prominences, on the other hand, reach maximum in 2012 and their activity slowly begins to decrease except for the period 2013-2014, when at the end they reach second (smaller) peak that coincides with the maximum of SC24.

A different point of view to the activity during the last solar cycle gives the comparison between the days with lack of activity events per year (Figure 1, right). The sunspots show typical behavior as in the period 2011-2015 only 3 days are spotless (two in 2011 and one in 2014) and in the years close to the solar minimum these days are more than 200. Least days without ARs are registered in the year of 24th solar maximum (2014) – 155. In the years around it (2012-2015) the number of days without observed prominences is almost a constant (94-98), but the absolute minimum is reached in 2017 when only 78 days were prominence-less. At the same time in the previous year (2016) the maximum is reached – in 129 days no prominence or filament was registered.

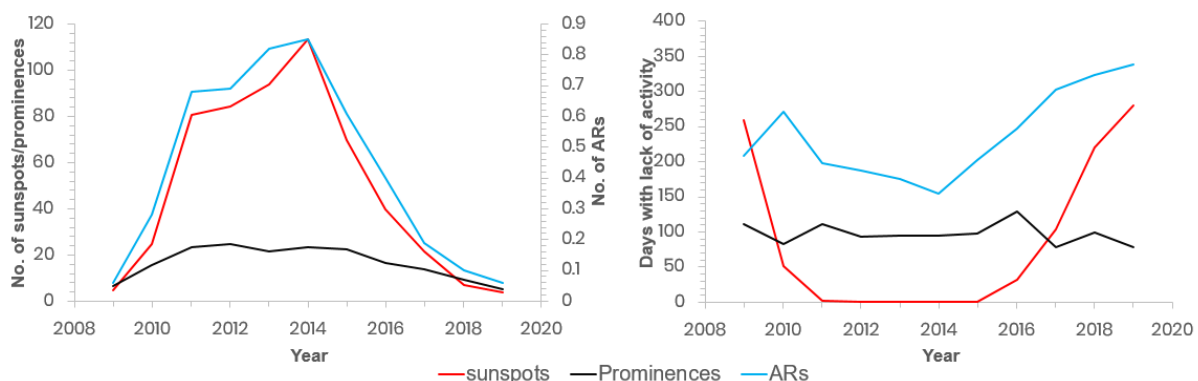


Fig. 1. Yearly mean total number of ARs, sunspots and prominences (left) and days with lack of ARs, sunspots and prominences per year (right)

The summary of the data for the SC24 (Table 1) shows that almost all detected prominences (about 99%) are formed outside ARs. Out of 66465 events, in only 947 cases a nearby AR is linked to the observed filament. This is significantly different from the generally accepted view that about 2/3 of prominences are quiescent. The reason for this result may be in the large event sample or in the high sensitivity method of detection of H-alpha prominences by Kislovodsk Mountain Station that successfully registered almost all events no matter how small or insignificant they appear [8].

Table 1. Association rates between ARs and prominences/filaments of SC24

		Prominences/filaments			
		Number		%	
AR-related		947		1.4	
Non-AR-related		65518		98.6	
Total		66465			
ARs	Number	-less	-productive	-rich (≥ 3)	Total
		1089	646	58	1735
	%	62.8	37.2	3.3	
				9.0	

On the other hand, statistics show that almost 63% of all ARs of SC24 did not produce any prominence. In 646/1735 (37%) cases at least one filament was associated with an AR and 58 of these ARs can be defined as prominence-rich, because they produced 3 or more filaments. This is 3.3% of all ARs and 9% of the 646 prominence-productive ARs.

Conclusions

We present a preliminary results of a study on the prominences and their connection with solar active regions in the last solar cycle 24 that covers the period between December 2008 and December 2019. Our analyses show that the peak of prominences activity is observed two years before the maximum of the solar cycle. Almost 99% of 66465 prominences/filaments can be classified as quiescent since they are not linked with an AR. On the other hand, 37% of ARs produced at least one filament and more than 3% of them were identified as a source of at least 3 filaments.

Acknowledgements

This study is supported by the National Science Fund of Bulgaria with contracts No. KP-06-H28/4 (8-Dec-2018) and KP-06-M38/3 (19-Dec-2019) and the Ministry of Education and Science under the National Research Programme “Young scientists and postdoctoral students” approved by DCM #577/17.08.2018.

References:

1. Forti, G., G. Godoli, Memorie della Società Astronomia Italiana 36:399, 1965.
2. Berger, T., ASPCS 463, 147, 2012.
3. Mackay, D. H., in “Solar Prominences” (ed. Vial, Jean-Claude), 355–380, 2015.
4. Gnevyshev, M. N., V. I. Makarov, Sol Phys 95, 189–192, 1985.
5. Coffey, H. E., C. D. Hanchett, IAU Colloq. 167: New Perspectives on Solar Prominences 150, 488, 1998.
6. Solomon, S. C., T. N. Woods, L. V. Didkovsky, J. T. Emmert, L. Qian, Geophys Res Lett 37:L16103, 2010.
7. Pesnell, W. D., J. Space Weather Space Clim. 10, 60, 2020.
8. Tlatov, A. G., V. V. Vasileva, V. V. Makarova, P. A. Otkidychev, Solar Phys 289:1403–1412, 2014.

DETERMINATION OF POWER PERTURBATIONS OF THE HORIZONTAL MAGNETIC FIELD ON THE EARTH SURFACE

Rolf Werner¹, Veneta Guineva¹, Andris Lubchich², Irina Despirak², Rumiana Bojilova³,
Dimitar Valev¹, Atanas Atanasov¹, Lyubomira Raykova¹

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia

³National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: rolwer52@yahoo.co.uk

Keywords: Magnetic substorm, Geomagnetic indices, Midlatitude Positive Bay (MPB), Horizontal power perturbations in the Earth surface magnetic field

Abstract: In 2015 Chu and later in 2017 McPherron have introduced a new index, the so called midlatitude positive bay (MPB) index, to characterize the activity of magnetic substorms at midlatitudes. In the frame of a bilateral project Bulgaria – Russia supported by the National Science Fund of Bulgaria (NSFB) (project number КП-06-Русия/15) and RFBR (project number 20-55-18003_Болг_а) a program was worked out based in general on the algorithm developed by Chu and McPherron. A key point of the algorithm consists in the estimation and removal of the main magnetic field and the mean solar quiet day variations. For this propose 25 successive days were used in the computations, centred at the day under consideration. The so called mean Solar quiet day variations were determined by superposed epoch analysis, and were subtracted from the observations during the considered day. The power perturbations were determined by the sum of the obtained by the described processing procedure squared and high pass filtered X and Y-component variations. In a pre-processing process, new procedures for data gap and peak detection and removal were included. Highly disturbed observations were previously removed by the outlier test of Grubbs. The horizontal power perturbations for the Bulgarian magnetic observatory Panagjurishte (PAG) are determined for the whole period from 2007 up to now by our developed processing tool, described in this work.

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МОЩНОСТТА НА СМУЩЕНИЯТА НА ХОРИЗОНТАЛНОТО МАГНИТНО ПОЛЕ НА ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ

Ролф Вернер¹, Венета Гинева¹, Андрис Любчич², Ирина Дэспирак², Румяна Божилова³,
Димитър Вълев¹, Атанас Атанасов¹, Любомира Райкова¹

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

²Полярен геофизически институт, Апатити, Русия

³Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките
e-mail: rolwer52@yahoo.co.uk

Ключови думи: магнитна суббурия, геомагнитни индекси, индекс на положителни отклонения на средни ширини (MPB индекс), смущения в хоризонталната мощност на приземното магнитно поле

Резюме: През 2015 г. Чу, а по-късно през 2017 г. McPherron въвеждат нов индекс, така наречения индекс на положителни отклонения на средни ширини (проект България – Русия, подкрепен от Националния научен фонд на България (номер КП-06-Русия/15) и RFBR (номер 20-55-18003_Болг_а) беше разработена програма, базирана на алгоритъма, описан от Чу и McPherron (MPB индекс), като характеристика на активността на магнитните суббурии. В рамките на двустранния. Ключовият момент на алгоритъма се състои в оценката и отстраняването на основното магнитно поле и средните слънчеви вариации при спокоен ден. За тази цел при изчисленията бяха използвани 25 последователни дни, центрирани към разглеждания ден. Така наречените средни слънчеви вариации се определят посредством метода на наслагване на епохите и са извадени от наблюденията през разглеждания ден. Мощността на смущенията бе определена от получените по описаната процедура квадрати и филтрираните високочестотни вариации на X и Y-компонентите.

В процеса на предварителна обработка бяха включени процедури за откриване и премахване на пропуски в данните и пикове. Силно смутените наблюдения бяха определени преди това от теста на Grubbs и изключени от пресмятанията. С нашата разработка, описана в тази работа е определена мощността на хоризонталните смущения за българската магнитна обсерватория Панагюрище (PAG) за целия период от 2007 г. до сега.

Introduction

During substorms large amounts of energy accumulated in the magnetosphere tail are released into the ionosphere and the inner magnetosphere. A lot of phenomena are generated e.g.[1], among which, disturbances in the surface magnetic field. During substorm expansions a typical systematic pattern of the surface magnetic field is observed. At auroral latitudes in the X-component are observed negative bays and at midlatitudes - positive bays.

To characterize storms, several indices were developed, as the disturbance storm time index (Dst) and as a measure of the substorm intensity AL and AU indexes, and their difference AE - the auroral electrojet index, for example.

McPherron and Chu [2,3] have introduced a new index to describe the substorm activity at midlatitudes, the midlatitude positive bay (MPB) index. Based on their algorithm and some new developments we have worked out a program to calculate the horizontal power of the surface magnetic field. To compare our results with the ones, published by McPherron and Chu in Space Science Review 2017 [2], we have used the same data. The obtained results were reliable [4]. We have applied our program for one of the European stations, the Panagjurishte station. European stations were not considered by McPherron in his data set.

Short description of McPherron's and Chu's algorithm to calculate geomagnetic power perturbations

The key point in the determination of the power perturbations in the horizontal geomagnetic field consists of the removal of the mean main magnetic field and the mean solar quiet day variations. The initial point is the assumption that round midnight the field is quiet. Time series of the magnetic field components of 25 successive days centred at the day under consideration were constructed. The main field of this interval was estimated by smoothed spline approximation using the midnight points as knots and was subtracted from the observed field. Using the remained daily field components a superposed epoch analysis was performed. Days with strong disturbances were excluded from further calculations. The mean epoch values describe the so called mean solar quiet day (Sq) variations [2,5]. They were removed from the observations on the day of consideration. The residuals contain mainly field perturbations. Remaining low-frequency changes were filtered out applying additionally a FFT-filter procedure. The power perturbations then were calculated by the squared X and Y component resulting by the described above procedure. The algorithm of McPherron and Chu is a refinement of the developed algorithm of Chu [3] and Chu et al. [6].

Data used

For the Panagjurishte station data from the Intermagnet data base (INTERMAGNET Data) for the whole time interval from 2007 up to now were used. The data were downloaded by a system developed at the National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences [7]. The daily data are arranged in columns, where the first column is the number, identical with the beginning of the one minutes sampled measurements, followed by the magnetic field components X, Y and Z. The last column contains the total field strength. All field data are presented as floating point numbers in ASCII format and are very easy readable.

Data processing

A program corresponding to the McPherron's and Chu's algorithm was developed with some new contributions. The program realizes the data reading, data arrangement, the pre-processing and the processing of the field components and the graphical presentation of the results. The pre-processing includes procedures of gap and peak detection additional to the original algorithm. Moreover, the procedure to detect strong magnetic field disturbances based on the prediction efficiency used by McPherron and Chu was replaced by the usually used Grubbs outlier test [8]. The program was tested using the same data as in an example presented in [2]. Our results obtained with the created by us program were very reliable. The obtained power perturbations have shown the same structures. The amplitudes have shown some small differences, caused mainly by differences in the procedure of strong

disturbances exclusion. The processing procedures are described in detail in [4]. In fig.1 in the top panels the original observations of the X-component (at the left side) and the Y-component (at the right side) are shown, where the daily data were arranged to series of sequences of 25 successive days (black line). The data corresponding to mean midnight points, used as spline knots, are marked by red pluses. The main magnetic field components under quiet conditions, estimated by smoothed splines, are presented by blue lines. They were removed from the observations. The remaining field components are shown in the bottom panels of Fig. 1.

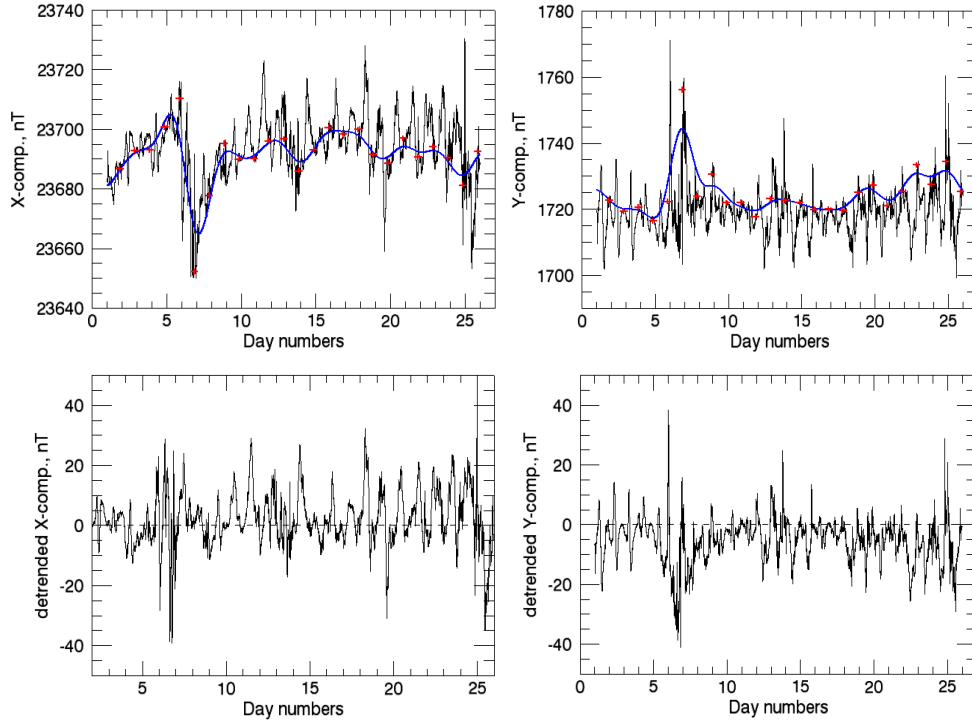


Fig. 1. At top the observations the of the X (at top left) and Y-component (at top right) of the horizontal magnetic field, the midnight spline knots (red pluses) and the approximated by smoothed spline main field for quiet conditions (blue lines) are shown. In the bottom panels, the remaining X (left panel) and Y (right panel) after the main field subtraction are presented.

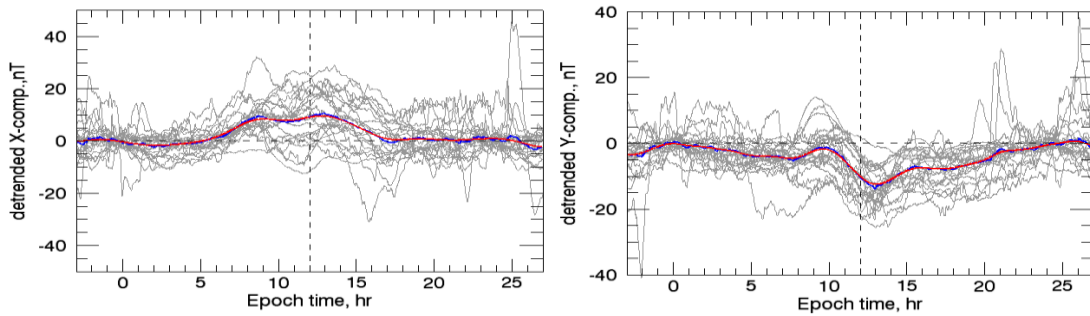


Fig. 2. Superposed epoch analysis of the daily main field removed observations (gray lines) of the X (left panel) and Y (right panel). The epoch means are drawn by blue lines and the smoothed ones, keeping only low frequency parts - by red lines.

From the bottom panels in Fig. 1 it is seen that the main field removed observations are mainly characterized by Sq effects. After the removal of days with strong magnetic field disturbances, superposed epoch analyses were performed to determine the Sq variations (Fig. 2). The mean epoch series are shown by blue lines. High frequency variations were suppressed by low pass filtering. The resulting mean solar quiet day variations are presented by red lines. Sq usually is determined for days with $K_p < 3$ [8]. The K_p -index was not taken into account in the algorithm. The next figure, Fig. 3, offers the magnetic field X (upper panel), Y (middle panel) components perturbations for the substorm day 22.02.2013, obtained by removal of the main field and the mean solar quiet day variations, and the computed from them horizontal power of the surface magnetic field (bottom panel). During the substorm

in consideration the main perturbations are observed in the X-component. A strong positive peak with a maximal value of about 16.7 nT is observed after 19 UT. Together with smaller perturbations of the Y-component at the same time, a power perturbation of about 414 nT² arises.

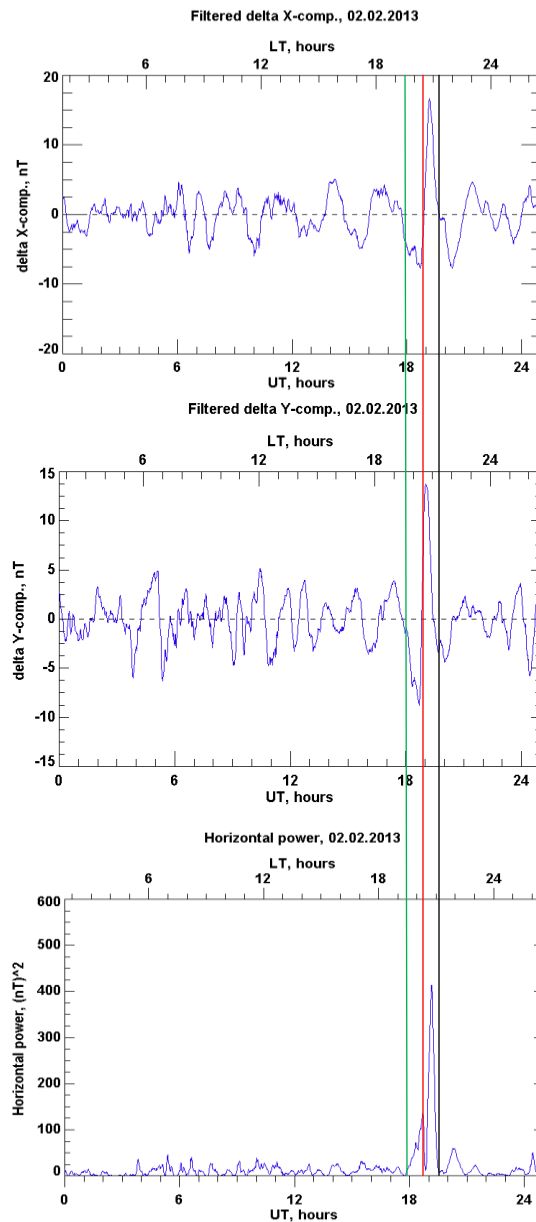


Fig. 3. Magnetic field component perturbations (X-component in the top panel, Y-component in the middle panel) and the horizontal power perturbations (bottom panel). The vertical red lines mark minima important for the determination of MPB onset and duration at Panagjurishte station (see text).

A slight local maximum in the horizontal power before the maximal perturbation is observed, caused by the negative part in the X and Y-components during about one hour before 19 UT between the green and red line. Such double maxima are frequently observed in cases of strong isolated substorms. Depending on the height of the negative amplitudes, the first maximum can be as higher as the second one. The end of the global maxima for the examined case is indicated by a black vertical line in fig.3. Using the power perturbations the MPB onset is determined by the minimum between the described two maxima. In the considered case, the onset is found to be at 18:50 UT (bottom panel in fig.3). The corresponding to the observed MPB peak substorm onset determined on the base of the SML index reported in the SuperMAG data base is 18:48 at Glon 19.2, Glat 74.5. for the Bear Island (BJN).

McPherron and Chu determine the substorm duration by the location in time of the second minimum after the MPB-index (defined as a power perturbation pulse mean over a multitude of stations) maximum, however this is not true in any case. They pointed out, that not every maximum in the power

perturbations is related to substorms and proposed the use of SML index simultaneously with the MPB index.

The perturbations in the X and Y-component and in the power of the horizontal magnetic field were calculated for the available data from the whole time interval from 2007 up to 2020. In the first version no perturbations at least for 25 days were determined in cases when the period of no data is longer than one day. For shorter no data periods, the results have to be used with caution.

The results are uploaded in a data catalog [9], where a daily file contain the perturbations of the X and Y-component and the power perturbations for every minute. The time moments are given in minutes and in hours. The daily results are presented as graphics as well.

Summary and conclusions

A program to calculate power perturbations in the Earth surface magnetic field was developed based on the algorithm of McPherron and Chu with some new elements. In difference to the McPherron and Chu algorithm, in our development the Grubbs's test is used to eliminate days with strong disturbed magnetic field components, and gap and peak detection and removal are implemented in the pre-processing procedure. To estimate the main field, a window of 23 days centered over the considered day is used, but secular variations have not been determined. The perturbations are determined by subtraction of the main field from the X and Y components and by removal of low pass filtered superposed epoch means from the components of the considered day.

By the developed program very like structures in the calculated power perturbations for the substorm day 2.03.2008, as the original, published by McPherron and Chu in 2017, are obtained. In addition, here a MPB was identified related to a substorm listed in the SuperMAG data base (substorm event list). This demonstrates, that the power perturbations determined by the developed program can be reliable.

Acknowledgements. The authors are grateful to the creators of the databases International Real-time Magnetic Observatory Network (Intermagnet) Data Download (intermagnet.org) and SuperMAG (SuperMAG: Products (jhuapl.edu)). for the opportunity to use them in this work. We thank the experts from Panagjurishte observatory (NIGGG-BAS) for providing data and support for their processing.

This study was supported by the National Science Fund of Bulgaria (NSFB) (project number КП-06-Русия/15) and by the RFBR (project number 20-55-18003Болг_a); the work of I.V. Despirak and A.A. Lubchich was carried out within the framework of the RFBR grant No. 20-55-18003_Bulg_a.

References:

1. Akasofu, S.-I., C.-I. Meng, Low latitude negative bays, *Journ. Atmos. Terr. Phys.* 30,2, 227–241, 1968.
2. McPherron, R.L., X. Chu, The midlatitude positive bay and the MPB index of substorm activity, *Space Sci. Rev* 206, 91–122, 2017.
3. Chu, X., Configuration and generation of substorm current wedge, Los Angeles: University of California Los Angeles
4. Werner, R., V. Guineva, A. Atanassov, R. Bojilova, L. Raykova, D. Valev, A. Lubchich, I. Despirak. Calculation of the horizontal power perturbations of the Earth surface magnetic field, *Proceedings of the Thirteenth Workshop "Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere"* Primorsko, Bulgaria, 13 - 17 September 2021, in press.
5. McPherron, R.L., The EARTH: its properties, composition and structure, in *Encyclopedia Britannica*, 545–558, 1987.
6. Chu, X.N., T.S. Hsu, R.L. McPherron, V. Angelopoulos, Z.Y. Pu, J.J. Weygand, K. Khurana, M. Connors, J. Kissinger, H. Zhang, O. Amm, Development and validation of inversion technique for substorm current wedge using ground magnetic field data. *J. Geophys. Res. Space Phys.* 119(3), 1909–1924, 2014
7. Божилова, Р., Автоматизирана система за събиране на геофизични данни - приложение XLV Сборник на „Национална конференция по въпроси на обучение по физика“, София, 6-9 Април 2017, стр. 55–59, 2017.
8. Grubbs, F.E., G. Beck, Extension of Sample Sizes and Percentage Points for Significance Tests of Outlying Observations, *Technometrics*, 14, 847–857, 1972.
9. Guineva, V., I. Despirak, R. Werner, R. Bojilova, L. Raykova, Development of a substorms catalog including the MPB observed at Panagjurishte station, Bulgaria, presented at the XII International Conference “Solar-terrestrial relations and physics of earthquakes precursors”, Paratunka, Kamchatsky kray, Russia, September 27 – October 01, 2021, in press.

CONSTRUCTION OF A CATALOG OF THE MAGNETIC VARIATIONS BY DATA OF THE BULGARIAN STATION PANAGJURISHTA

Veneta Guineva¹, Rolf Werner¹, Atanas Atanasov¹, Rumiana Bozilova², Lyubomira Raykova¹,
Dimitar Valev¹, Irina Despirak³, Nataliya Kleimenova⁴

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences

³Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia

⁴Schmidt Institute of Physics of the Earth, RAS, Moscow, Russia
e-mail: v_guineva@yahoo.com

Key words: magnetic substorms, midlatitude positive bays (MPB), catalog of magnetic variations on the PAG station

Abstract: Substorms represent one of the very important factors of the space weather. The substorms are observed at auroral latitudes as negative bay-like magnetic disturbances and displayed as positive bays (MPB) at midlatitudes. Recently, the special MPB index was introduced, which could demonstrate the substorm occurrence. This index was evaluated by the applying of the computed average values of the horizontal magnetic field power for a number of midlatitude stations.

Here we present the creation of the new catalog of the magnetic variations including the MPB data from the Bulgarian station Panagjurishte (~37° GMLat, ~97° GMLon). This catalog is being developed for the first time and consists of two main sections. The first section presents the computed values of the X and Y magnetic components and the full horizontal power. For this, we have developed special processing tools. The second section comprises some MPB characteristics, associated with substorms, identified by data of the IMAGE meridional magnetometer chain, the IL index and the obtained horizontal power at Panagjurishte with 1-min sampling. Now the first section of the catalog is completed for some time intervals. The second section is under construction.

The catalog will be on the website of the Space Research and Technology Institute of the Bulgarian Academy of Sciences.

РАЗРАБОТКА КАТАЛОГА МАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ ПО ДАННЫМ БОЛГАРСКОЙ СТАНЦИИ ПАНАГЮРИШТЕ

Венета Гинева¹, Ролф Вернер¹, Атанас Атанасов¹, Румяна Божилова², Любомира Райкова¹, Димитар Валеv¹, Ирина Дэспирак³, Наталья Клейменова⁴

¹Институт космических исследований и технологий – Болгарская академия наук

²Национальный институт геофизики, геодезии и географии – Болгарская академия наук

³Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия

⁴Институт физики Земли им. Шмидта, РАН, Россия
e-mail: v_guineva@yahoo.com

Ключевые слова: Магнитная суббуря, среднеширотные положительные бухты, каталог магнитных вариаций на болгарской станции Панагюриште

Абстракт: Важным аспектом при изучении космической погоды являются исследования суббурь. Известно, что магнитные суббури регистрируются на наземных магнитометрах как отрицательные бухты в авроральных широтах и как положительные бухты (mid-latitude bays- MPB) в средних широтах. Недавно был разработан индекс среднеширотной активности – MPB-индекс. Для расчета этого индекса применялись вычисленные средние значения мощности горизонтального наземного магнитного поля для ряда станций на средних широтах.

В нашем докладе мы представляем разработку нового каталога магнитных вариаций на болгарской станции Панагюриште (~ 37 ° GMLat, ~ 97 ° GMLon). Подобный каталог разрабатывается впервые, он будет состоять из двух основных разделов. В первом разделе будут представлены

вычисленные значения X- и Y- компонент магнитного поля и полная горизонтальная мощность МРВ, определенная по данным станции Панагюриште. Для этого нами были созданы специальные программы обработки магнитных данных. Второй раздел содержит некоторые характеристики положительных магнитных бухт (МРВ), которые наблюдались во время суббурь, развивающихся одновременно в авроральных широтах. Суббури определялись по данным меридиональной цепочки наземных магнитометров IMAGE, а именно по IL индексу и горизонтальной мощности МРВ в Панагюриште, использовались данные с 1-минутной выборкой. На данном этапе заполняется первый раздел нашего каталога. Второй раздел обсуждается и разрабатывается.

Планируется разместить каталог на сайте Института Космических исследований и Технологий Болгарской Академии Наук.

Introduction

The explosive release of a large amount of energy from the magnetosphere into the upper polar atmosphere is known as magnetospheric substorm [1]. Magnetospheric substorms are manifested in a number of various phenomena and are an important element of the space weather. They are related to the substorm current wedge (SCW), a current system, that originates in the Earth's magnetotail and flows along the magnetic field lines to the ionosphere [2,3]. SCW causes the auroral onset and further expansion [4]. At auroral latitudes, large disturbances in the ground magnetic field are generated. Negative bays in the X component of the magnetic field are observed. At the same time, at midlatitudes weaker disturbances occur, expressed as positive bays in the X component, known as midlatitude positive bays (MPB), and a systematic variation of the Y component. The locations of X and Y extrema can be used to determine the characteristics of the SCW and to find a relationship between other phenomena and SCW. Quantitative models of SCW have been developed, e.g. [5], in which, founded on ground based midlatitude magnetic variations determined parameters, a model of the field aligned currents is presented. The MPB can serve as a proxy for the substorm expansion onset. Recently, a new index, MPB index, was introduced [6, 7]. Lists of MPB onsets have been composed by different authors e.g. [6, 7].

The study the MPB behavior could be one of the important tools of the investigation of the solar-magnetosphere coupling during the substorm progress. The development of an original catalog of the midlatitude positive bays (MPB) registered at the Bulgarian station Panagurishte (~37° GMLat, ~97° GMLon) is one of the basic tasks of the project "Investigation of the geomagnetic disturbances propagation to midlatitudes and their interplanetary driver identification for the development of midlatitude space weather forecast" - a bilateral project Bulgaria – Russia 2019 – 2020. In this work, the process of creation for the first time of a new catalog of the magnetic variations and the magnetic positive bays, registered at Panagjurishte (PAG), intended to work out of the tasks of the joint project, is described.

Structure and content of the catalog

The structure and content of the catalog were thought out. The catalog is ftp positioned. A scheme of the catalog is presented in fig.1. The main part of the catalog consists of two sections. The first section "Magnetic field data" contains processed every day magnetic data. In the second section, "MPB data", information for the registered midlatitude positive bays at the Panagjurishte station is included.

A complimentary part is also envisaged in the catalog, comprising concomitant data about every substorm day, as sign conversion latitude of the X negative bays to positive ones, some geomagnetic indices, the presence or no of a geomagnetic storm and so on.

Section "Magnetic field data" of the catalog

To construct the catalog, first the magnetic field data have to be processed. Section "Magnetic field data" contains the results of the processed every day one-minute measurements of the X and Y magnetic components. To carry out the processing, special processing tools following the algorithm of McPherron [6] including some new elements have been developed. The processing consists of the following procedures:

- Construction of long arrays of 36000 one-minute sampled X and Y magnetic components data for an interval of 25 days, centered on the day under consideration;
- Preprocessing, including gaps and peaks detection and removal;
- Estimation and subtraction of the main field under quiet conditions;
- Removing of the very disturbed days (outliers);
- Determination and subtraction of the solar quiet day variations (Sq);

- High-pass filtration of the obtained X and Y component variations;
- Computing of the horizontal power.

This processing has been performed for all one-minute sampled measurements of the Panagjurishte station, from 2007 to 2020 and some results have been uploaded in the catalog.

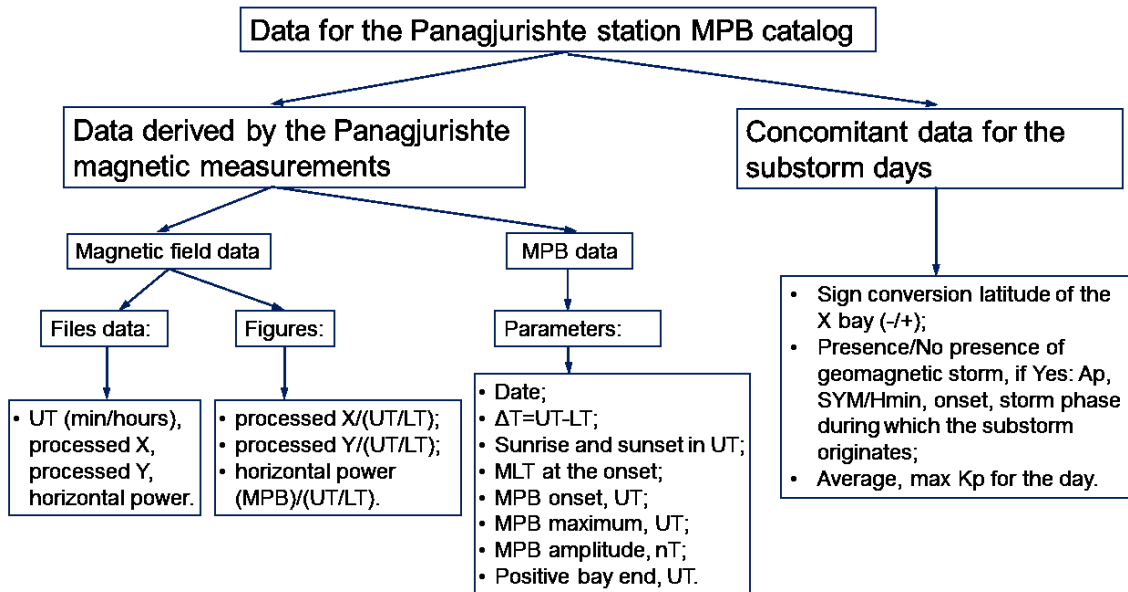


Fig. 1. Scheme of the structure of the Panagjurishte MPB catalog

The results included in the catalog, are data files and graphics for every day. The every-day files comprise:

- the time in min and hours;
- one minute data for the processed X and Y magnetic components, main field and solar quiet day variations removed;
- the horizontal power of the magnetic field (main field and solar quiet day variations (Sq) removed).

The appearance of a data file is presented in fig.2. The example is for 3 September 2013.

Magnetic field processed X and Y components and the resulting horizontal power Calculated at Space Research and Technology Institute, Sofia, Bulgaria				
Station: PAG				
Date of observation: 03.09.2013				
Time in UT	delta X-comp.	delta Y-comp.	Power	
min hours	nT	nT	nT	
1 0.017	0.47	-3.35	11.46	
2 0.033	0.43	-2.99	9.09	
3 0.050	0.29	-2.72	7.47	
4 0.067	0.26	-2.55	6.56	
5 0.083	0.12	-2.38	5.67	
6 0.100	-0.01	-2.41	5.80	
7 0.117	-0.04	-2.44	5.94	
8 0.133	0.03	-2.47	6.08	
9 0.150	0.20	-2.69	7.30	
10 0.167	0.27	-2.92	8.61	
11 0.183	0.35	-2.85	8.23	
12 0.200	0.42	-2.87	8.44	
13 0.217	0.40	-2.50	6.41	
14 0.233	0.57	-2.22	5.28	

Fig. 2. Look of a magnetic field data file. The example is for 03.09.2013. The file contains 1 minute sampled data for the whole day (1440 values).

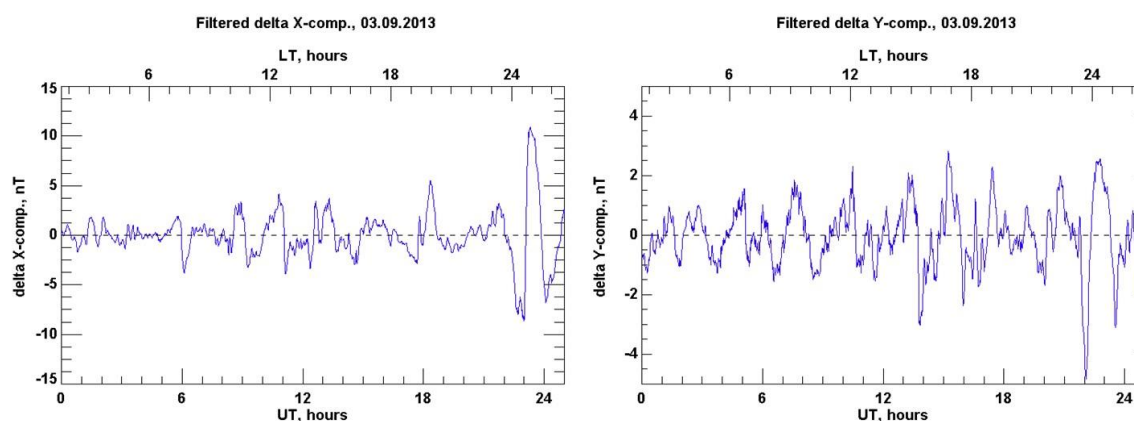


Fig. 3. Processed X (left panel) and Y (right panel) components of the magnetic field, measured on 03 September 2013 at the Panagjurishte station

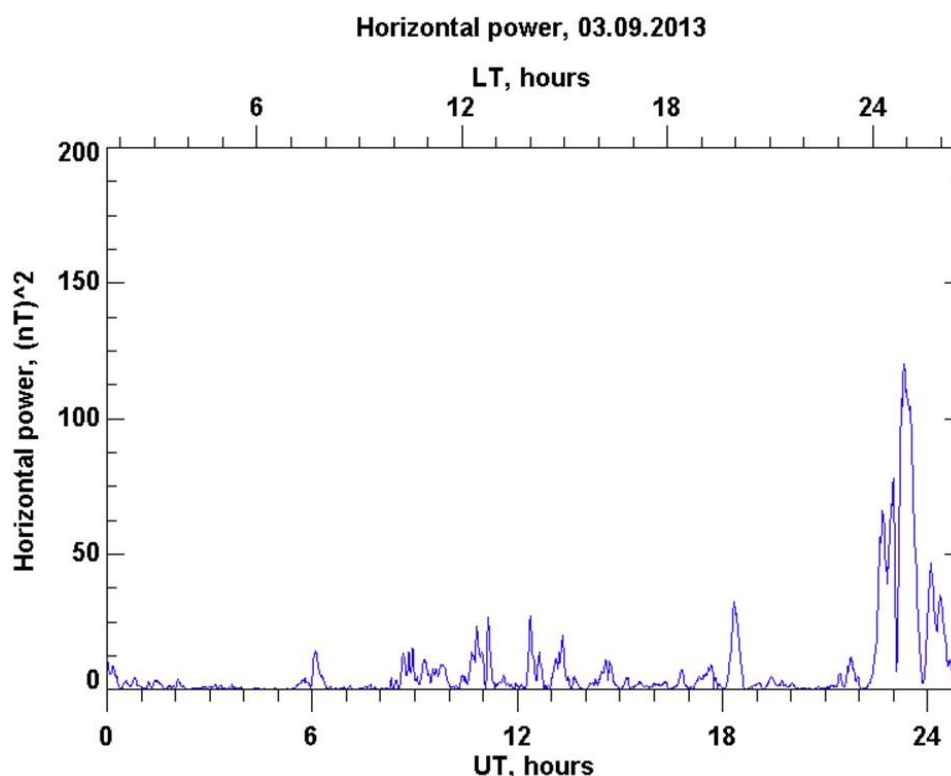


Fig. 4. Horizontal power of the magnetic field perturbations on 03 September 2013 at Panagjurishte

The graphics present:

- the processed X component;
- the processed Y component;
- the horizontal power of the magnetic field.

The processed X and Y components for 3 September 2013 are shown in fig.3, and the horizontal power computed from them is presented in fig.4.

Section “MPB data” in the catalog

The second basic section of the catalog, “MPB data”, is envisaged to provide information about all midlatitude positive bays registered at the Panagjurishte station (PAG). First, the substorms are to be identified. The substorms are being detected by the inspection of the magnetic data of the IMAGE meridional chain including the IL IMAGE index and the obtained horizontal power at Panagjurishte together. Data of INTERMAGNET and SuperMAG stations in the longitudinal band 90°-104° GMLon (near the longitude of the PAG station (~97° GMLon), are also used to follow the substorms development.

For each substorm its midlatitude display – positive bay – at the station PAG (Bulgaria) was examined and a file with chosen parameters was created.

In the beginning of every file the date and the difference between local and universal time (LT-UT) for Panagjurishte are written, the UT for the sunrise and sunset at Panagjurishte for the substorm day, and the MLT at the positive bay onset. After that, some parameters of the relevant MPB are included, namely the time of the positive bay onset, the time of the MPB maximum, the MPB amplitude and the time of the MPB end. These parameters are being determined by the X component of the magnetic field, obtained after the main field subtraction, estimated by a smoothed spline through the midnight points of 25 consecutive days, centered on the considered day, and the following removal of the mean field caused by solar quiet day variations, obtained by superposed epoch analysis, and high-pass filtration. In fig.5 (a), the original X component from 20 UT to 24 UT on 03.09.2013 and the computed smoothed spline are presented, in fig.5 (b) – the resulting X after the main field subtracted this way, in fig.5 (c) – the obtained X after the processing, and in fig.5 (d) – the original X data, the average of the day subtracted, for comparison with the got result. The way of determination of the MPB parameters is shown by the red lines, as follows:

- time of the positive bay onset – vertical line (1);
- time of the positive bay maximum – vertical line (2);
- amplitude of the X-component – arrowed line (3);
- time of the positive bay end – vertical line (4).

The parameter values are obtained from the computed numerical X data. It is seen, that the midlatitude positive bay on 03.09.2013, obtained after our processing procedure (fig.5 (c)) and the MPB after subtracting the average value of the day (fig.5 (d)), are practically identic. The times of the MPB onset, maximum and end coincide. The amplitudes are 19.5 nT and 19.1 nT by our result (fig.5 (c)) and the average value subtraction (fig.5 (d)), respectively.

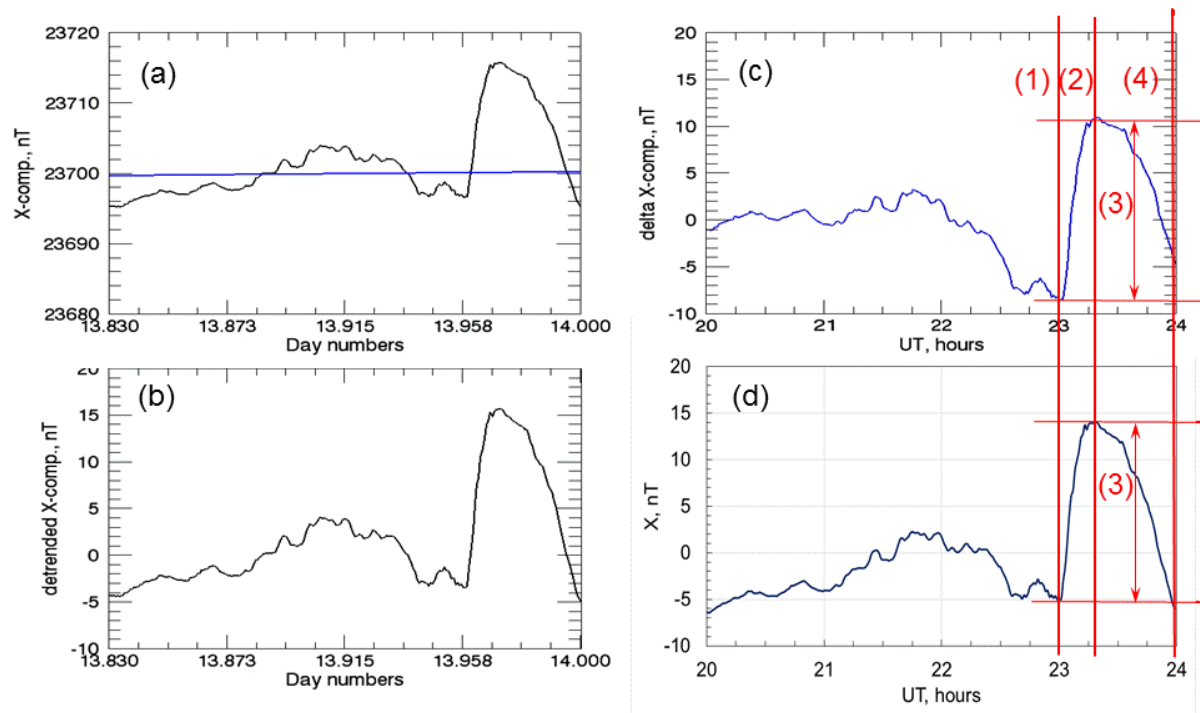


Fig. 5. An example of the determination of the MPB parameters. We have chosen an isolated substorm, namely the one at 23 UT on 03 September 2013.

- (a) Original X data from 20 UT to 24 UT on 03.09.2013 and the smoothed spline by the midnight points, computed from 25 days long series, centered on the considered day;
- (b) X component obtained after the subtraction of the main field estimated by the way mentioned above.
- (c) X component, main field under quiet conditions and mean field caused by solar quiet day variations removed. The manner to determine the MPB parameters is presented by straight lines, enumerated as follows: (1) time of the positive bay onset; (2) time of the positive bay maximum; (3) amplitude of the X-component; (4) time of the positive bay end;
- (d) The estimation of the MPB parameters, when the average day value was subtracted from the original data (as it is done by the INTERMAGNET data base). The meaning of the lines is the same as in (c).

Summary

A substorms catalog including the X and Y components variations and the horizontal power of the magnetic field, the main field under quiet conditions and the mean solar quiet day removed, and the positive bays characteristics by data of the midlatitude Bulgarian station Panagjurishte (PAG) is being created for the first time. The catalog is FTP positioned with preliminary address https://magnetic.nuclearmodels.net/Catalog_MPB/Stations/Panagjurishte/. Later this catalog will be located in the website of the Space Research and Technology Institute (SRTI) of the Bulgarian Academy of Sciences. Section "Magnetic field data" is completed. Tools for data preprocessing and processing have been developed. The Panagjurishte (PAG) one minute magnetic data since 2007 have been processed and the results uploaded in the catalog. Section "Substorm data" is under construction. The substorms during January and February 2013 have been identified. The characteristics of the positive bays were determined.

The work on the development of the catalog of positive magnetic bays during substorms will be continued. The catalog will be used to work out the tasks of a joint bilateral project Bulgaria-Russia.

We plan also to implement permanent processing of the newly registered data and thus to keep the catalog up to date.

This work could be useful for further studies. The processing tools could be applied for other European stations data to form a dataset and to obtain the midlatitude positive bay (MPB) index. This will allow to implement a complex analysis of the space-temporal characteristics of the magnetic substorms at midlatitudes and auroral latitudes in order to reveal the peculiarities of the spreading of the geomagnetic disturbances to midlatitudes depending on the conditions of the near-Earth space weather.

Acknowledgements. The authors are grateful to the creators of the databases International Real-time Magnetic Observatory Network (Intermagnet) Data Download (intermagnet.org) and IMAGE (<http://space.fmi.fi/image/>), for the opportunity to use them in this work. We thank the experts from Panagjurishte observatory (NIGGG-BAS) for providing data and support for their processing.

This study was supported by the National Science Fund of Bulgaria (NSFB) (project number КП-06-Русия/15) and by the RFBR (project number 20-55-18003Болг_а); the work of I.V. Despirak and N.G. Kleimenova was carried out within the framework of the RFBR grant No. 20-55-18003_Bulg_a.

References:

1. Akasofu, S.-I., Polar and magnetospheric substorms, D. Reidel, Norwell, Mass., 1968
2. McPherron, R. L., C. T. Russel, M. P. Aubry, Satellite studies of magnetospheric substorms on August 15, 1968. 9. Phenomenological model for substorms, *Journal of Geophysical Research*, 78(16), pp. 3131–3149, 1973
3. Sergeev, V. A., L. I. Vagina, R. D. Elphinstone, J. S. Murphree, D. J. Hearn, L. L. Cogger, and M. L. Johnson (1996), Comparison of UV optical signatures with the substorm current wedge predicted by an inversion algorithm, *J. Geophys. Res.*, 101(A2), 2615–2627
4. Ritter, P., and H. Lühr (2008), Near-Earth magnetic signature of magnetospheric substorms and an improved substorm current model, *Ann. Geophys.*, 26, 2781–2793, doi:10.5194/angeo-26-2781-2008.
5. Sergeev, V. A., N. A. Tsyganenko, M. V. Smirnov, A. V. Nikolaev, H. J. Singer, and W. Baumjohann, Magnetic effects of the substorm current wedge in a "spread-out wire" model and their comparison with ground, geosynchronous, and tail lobe data, *J. Geophys. Res.*, 116, A07218, 2011
6. Chu, X., Configuration and generation of substorm current wedge, Los Angeles: University of California Los Angeles, 2015
7. McPherron, R. L., X. Chu, The midlatitude positive bay and the MPB index of substorm activity, *Space Science Reviews*, 206, pp. 91–122, 2017

СОГЛАСОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОССТАНОВЛЕННЫХ И ДОСТОВЕРНЫХ ЦИКЛОВ РЯДА ЧИСЕЛ ВОЛЬФА

Игорь Шибает

ИЗМИРАН, Троицк, Россия
e-mail: ishib@izmiran.ru

Ключевые слова: Числа Вольфа, солнечный цикл, минимум Дальтона, цикл Гляйсберга

Резюме: В работе представлены варианты групповой коррекции средних значений циклов $I \div IX$. Так как при сопоставлении протяженных фрагментов локальные невязки данных играют меньшую роль, то опираясь на интегральные оценки этих фрагментов (без детализации их «сложной» истории формирования) мы получаем более взвешенные интервальные оценки. Параметры интервалов (групп циклов) достоверного ряда служат основой коррекции.

Многие исследователи используют ряд чисел Вольфа (или опирающиеся на него показания) с учетом восстановленных данных. Но при объединении отрывочных данных с различными плотностью наблюдений, амплитудным разрешением и масштабированием искажаются, естественно, локальные характеристики регистрируемого процесса и взаимосвязь временных фрагментов разного масштаба.

Другие авторы, считая эти данные ненадежными, опираются только на достоверный ряд *Wtool*. При этом «повисают» понятия (структуры) сформированные с опорой хотя бы на часть восстановленных данных. Цикл Гляйсберга – яркий тому пример.

MATCHING OF PARAMETERS OF RESTORED AND RELIABLE CYCLES OF A SERIES OF WOLF NUMBERS

Igor Shibaev

IZMIRAN, Troitsk, Russia
e-mail: ishib@izmiran.ru

Keywords: Wolf's numbers, solar cycle, Dalton minimum, Gleissberg cycle

Abstract: The work is based on the Zurich series of average monthly Wolf numbers W ($W = W_{rest} U_{Wtool}$), which includes the reconstructed W_{rest} series (from 1749 to 1849) and a number of reliable U_{Wtool} data (regular instrumental observations from 1849 to the present). Many researchers use a series of Wolf numbers (or readings based on it) taking into account the recovered data. When combining fragmentary data with different densities of observations, amplitude resolution and scaling, the local characteristics of the recorded process and the relationship of time fragments of different scales will naturally be distorted. All this manifested itself during the formation of the restored W_{rest} series, but little attention is paid to this, although the influence of these factors has not been evaluated.

Other authors, considering these data unreliable, rely only on the reliable U_{Wtool} series. At the same time, concepts (structures) "hang" generated based on at least part of the recovered data. The Gleissberg cycle is a vivid example of this, since the concept of the "Gleissberg cycle" arose from the analysis of a small amount of data with varying degrees of reliability, and with the key role of cycles $V \div VII$ from the reconstructed series. The growth of the Gleissberg cycle period with an increase in the proportion of reliable data illustrates this well.

In this paper, the variants of the group correction of the average values of cycles $I \div IX$ are presented. Since local data inconsistencies play a smaller role when comparing extended fragments, relying on integral estimates of these fragments (without detailing their "complex" formation history), we obtain more weighted interval estimates. The parameters of intervals (groups of cycles) of a reliable series serve as the basis for correction.

Введение

Работа опирается на цюрихский ряд среднемесячных чисел Вольфа W ($W = W_{rest} U_{Wtool}$), который включает восстановленный ряд W_{rest} (с 1749 г. по 1849 г.) и ряд достоверных данных U_{Wtool} (регулярные инструментальные наблюдения с 1849 г. по настоящее время).

Многие исследователи используют ряд чисел Вольфа (или опирающиеся на него показания) с учетом восстановленных данных. Но при объединении отрывочных данных с различными плотностью наблюдений, амплитудным разрешением и масштабированием исказятся, естественно, локальные характеристики регистрируемого процесса и взаимосвязь временных фрагментов разного масштаба. Всё это проявилось при формировании восстановленного ряда *Wrest* [1, Fig.2], но на это обращают мало внимания, хотя влияние этих факторов не оценивалось.

Другие авторы, считая эти данные ненадежными, опираются только на достоверный ряд *Wtool*. При этом «повисают» понятия (структуры) сформированные с опорой хотя бы на часть восстановленных данных. Цикл Гляйсберга [2] – яркий пример тому, т. к. понятие «цикл Гляйсберга» возникло из анализа небольшого объема данных, имеющих различную степень достоверности, и с ключевой ролью циклов V÷VII (минимум Дальтона) из восстановленного ряда. Отмеченный в работе [3] рост периода цикла Гляйсберга с увеличением доли достоверных данных хорошо это иллюстрирует.

Подробный анализ ряда *W* с 1749 г. по 2005 г. проведен в более ранней публикации автора [4], где выделена 150-летняя гармоника, характерная для достоверной части ряда. Сравнение спектральных компонент и анализ их гладкости показал существенные отличия в их поведении для *Wrest* и *Wtool* (несогласованность характеристик рядов). Также разнятся статистические характеристики групп циклов I ÷ IX и X ÷ XXIII соответствующих восстановленному и достоверному рядам. Степень искажений, при этом, возрастает с удалением в прошлое и менее искажены характеристики временной области примыкающей к 1849 г., т.е. область циклов VIII ÷ IX. Также отметим, что у циклов I, V и VII аномально длинные ветви роста – более половины цикла. Кроме этого, интервальные оценки рядов [5] показали противоречивость параметров самого ряда *Wrest*.

В этой работе представлены варианты групповой коррекции средних значений циклов I ÷ IX. Так как при сопоставлении протяженных фрагментов локальные невязки данных играют меньшую роль, то опираясь на интегральные оценки этих фрагментов (без детализации их «сложной» истории формирования) мы получаем более взвешенные интервальные оценки. Параметры интервалов (групп циклов) достоверного ряда служат основой коррекции.

Интервальные оценки рядов через группы циклов

Естественно сравнивать группы с одинаковым количеством циклов, тогда девяти восстановленным циклам 1÷9 (группа *G0*) можно сопоставить шесть групп *G1÷G6* по девять циклов из достоверной части ряда *Wtool*: 10÷18, 11÷19, 12÷20, 13÷21, 14÷22, 15÷23. Каждой группе сопоставим суммарные длительность циклов ΣT и площадь циклов ΣSq в группе, за оценку «среднего» значения *W* в группе возьмем $w = \Sigma Sq / \Sigma T$. Для группы восстановленных циклов *G0* эти параметры равны: $\Sigma T_0 = 1209$ мес., $\Sigma Sq_0 = 56713.65$, $w_0 \sim 46.91$. Классификация циклов по длительности («длинные» циклы с $T_c > 133$ мес. и «короткие» циклы $T_c < 133$ мес.) позволила параметризовать и аппроксимировать характеристики групп достоверных циклов [5]. При проекции «правил», полученных для групп *G1÷G6* на группу *G0*, получена несогласованность длительности и «энергетики» восстановленного ряда и отмечена необходимость коррекции, в первую очередь, временной структуры ряда *Wrest*, т.е. соотношения «длинных» и «коротких» циклов. Более реалистичным сценариям соответствует $N_L = 3$ ($\Sigma T = 1159.0$ месяцев -- среднее значение по группам *G1÷G6*) и $N_L = 2$. Мы будем опираться на зависимость $w = \Sigma Sq / \Sigma T$ от количества «длинных» циклов N_L в группе (Рис. 1), где связи $\Sigma T(N_L)$ и $\Sigma Sq(N_L)$ с N_L для групп по 9 достоверных циклов взяты из работы [5]. Используем эту связь для коррекции средних значений циклов группы *G0*.

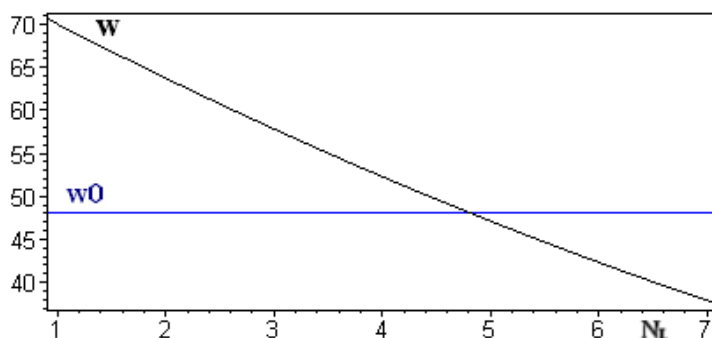


Рис. 1. Зависимость среднего значения цикла в группе от количества «длинных» циклов N_L в группе.

Коррекция средних значений восстановленных циклов

Видим, что значениям $N_L \leq 4$ соответствует область с $w > w_0$. Оценим проявление возросшего значения w группы восстановленных циклов в параметрах индивидуальных циклов. Площадь большинства циклов группы G0 больше (или около) среднего значения 6301.52 и естественно отнести прирост ($\Sigma Sq - \Sigma Sq_0$) к минимуму Дальтона (связать прирост с коррекцией минимума Дальтона). Табличные средние значения циклов восстановленного ряда представлены на Рис. 2, где, для наглядности, сплошной линией отмечено среднее (~ 26.48) от средних значений циклов $5 \div 7$. Относя возросшую «энергетику» всех девяти циклов к этим трем **проблемным циклам**, получим прирост среднего значения $(w-w_0) \times 9/3$ для каждого из них. Итоговые средние уровни для скорректированных средних значений циклов $5 \div 7$ отмечены пунктирными линиями. Варианту $N_L=3$ -- «взвешенная оценка длины группы G0», соответствует уровень 59.15 (фактически нивелируется минимум Дальтона) и возможно формирование максимума с уровнем 77.15 для варианта с $N_L=2$.

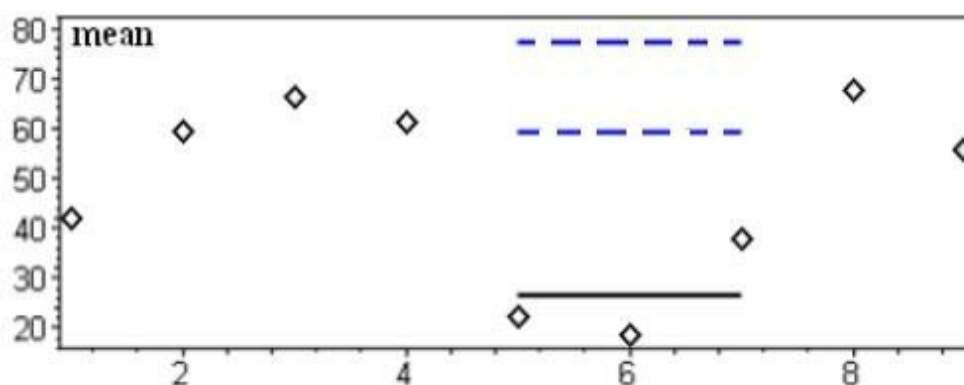


Рис. 2. Средние значения циклов 1÷9; ось оХ – номер цикла.

Заключение

При сопоставлении протяженных фрагментов локальная невязка данных играет меньшую роль и получаются более взвешенные оценки. Классификация циклов по длительности позволяет описать связь между параметрами достоверных циклов и показать противоречивость этих параметров для группы циклов 1÷9. Приведенный сценарий связывает согласование параметров восстановленного ряда с коррекцией минимума Дальтона, что должно отразиться в характеристиках цикла Гляйсберга.

Отметим, что критическое отношение к восстановленному ряду выражает ряд авторов ещё в трудах симпозиума 1978 г. -- «Солнечно-земные связи, погода и климат» [6]. Попытка сбалансировать временные характеристики циклов ряда Wres за счет «потерянного» цикла предпринята в работе [7].

Литература:

1. David H. Hathaway The Solar Cycle / <https://arxiv.org/pdf/1502.07020.pdf>, 2015.
2. Gleissberg, W. A long-periodic Fluctuation of the Sun-spot Numbers // Observatory, V. 62, P. 158–159, 1939.
3. Shibaev, A. Connection between period of low-frequency component Wolf's numbers (WNS) and length of Wolf's numbers series // Aerospace Research in Bulgaria, V. 29, P. 5–9, 2017.
4. Shibaev, I. G. Estimation of the reconstructed part of the Wolf series and the possibility of its correction. Solar System Research, V. 42, № 1, P. 63–71, 2008.
5. Shibaev, I. Old and new versions of wolf sunspot numbers: consistency of characteristics for restored and instrumental parts of series / Proceedings of 15th International Scientific Conference "Space, Ecology, Safety" SES'2019. Sofia, Bulgaria, P. 37–41, 2019.
6. Solar-Terrestrial Influences on Weather and Climate. Proceeding of a Symposium. The Ohio State University, Columbus, Ohio, 24-28 August 1978. Dordrecht, Holland, p. 348, 1979.
7. Usoskin, I. G., K. Mursula, and G. A. Kovaltsov, The lost sunspot cycle: Reanalysis of sunspot statistics. A&A, V. 403, № 2, P. 743–748, 2003.

FORECASTING OF WOLF NUMBER SERIES USING THE MACHINE LEARNING METHODS

Alexander Shibaev

Moscow State University
e-mail: alexshibaev@yandex.ru

Keywords: Wolf number series, machine learning, XGBoost

Abstract: Recently the methods of machine learning, deep learning (neural networks) have been used intensively in scientific research and to suit many applications. This paper attempts to analyse and forecast the Wolf number series cycles using machine learning algorithms. The applied class of algorithms is decision-tree ensembles like the Random Forest and the Gradient Boosting (the XGBoost realisation). The quality of designed algorithms was evaluated based on the three suspended cycles 22–24, the forecast for cycle 25 was provided. The comparison of algorithm forecasting results for the old and new versions of WSN revealed the improved forecasting quality for the old version of the series compared to the new one.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЯДА ЧИСЕЛ ВОЛЬФА МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Александр Шибает

МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия
e-mail: alexshibaev@yandex.ru

Ключевые слова: числа Вольфа, машинное обучение, XGBoost

Резюме: В последние годы методы машинного обучения (ML), глубокое обучение (нейронные сети) все активнее внедряются и используются в широком круге научных исследований и прикладных задач. В данной работе, применяя алгоритмы машинного обучения, предпринята попытка анализа и прогнозирования циклов ряда чисел Вольфа WSN v.2. Используемый класс алгоритмов – ансамбли деревьев решений: случайный лес (Random Forest) и Gradient Boosting (реализация XGBoost). Качество построенных алгоритмов оценивается на трех отложенных циклах: 22–24, также построен прогноз для 25 цикла WSN v.2. При сравнении результатов прогнозирования алгоритмов на WSN v.1 и v.2 отмечено улучшение качества предсказаний для старой версии ряда (v.1) по сравнению с v.2.

Data preprocessing

The most crucial stage of data analysis and model development in the ML is data pre-processing. For better discerning of regularities, the WSN v.2 [1] series without quasi-two-year components (periods less than 2 years) averaged by 13 months was used. The obtained smoothed WSN_smooth series is shown in Fig. 1.

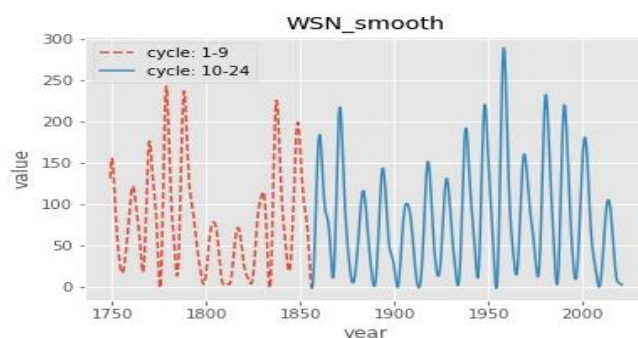


Fig. 1. WSN v.2 series without quasi-two-year components

Due to incompleteness and gaps in the data, cycles from 1 to 9 were discarded and not used in the analysis and forecasting [2]. To increase the dataset amount, the WSN_smooth series was duplicated twice from the cycle 10. For example, to forecast the cycle 22, the part of the series from cycle 10 to cycle 21 was repeated twice.

In the ML, objects are characterised with the set of numeric parameters (features), to which target variables (targets) are associated. The general problem is to learn to restore the desired regularity using the set of known objects (the training dataset) and the corresponding target vector. As the new set of objects (the test dataset) is obtained, the ML algorithms forecast the target vector.

In this paper, the algorithm for the creation of the training dataset is as follows: the current value of the series (target) x_t is forecasted using the previous k values: x_{t-k}, \dots, x_{t-1} . To help algorithms discern long-period components of the series, the $k=831$ was selected (it corresponds to about 6 cycle lengths). The training dataset was created using the slide along the WSN_smooth series. The training dataset and the target vector are shown schematically below.

$$\text{Dataset: } \begin{pmatrix} x_1 & \cdots & x_{831} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{t-831} & \cdots & x_{t-1} \end{pmatrix}, \quad \text{target: } \begin{pmatrix} x_{832} \\ \vdots \\ x_t \end{pmatrix}$$

Now will be considered in more detail the process of the solution to forecast the cycle 22. To create the training dataset and target vector, the WSN_smooth series from double-length cycles 10 to 21, which was processed to the end with the slide algorithm, was used as a base. The ML algorithms were adjusted based on the results obtained. To forecast the first value x_1^{pred} of suspended cycle 22, the k of previous values was used. To forecast the n point of suspended cycle x_n^{pred} , the already forecasted $x_1^{pred}, \dots, x_{n-1}^{pred}$ values of cycle and $k - n + 1$ values of previous cycles were used. To forecast cycle 23, the twice-duplicated WSN_smooth series from cycles 10 to 22 was processed to the end with the slide algorithm; the further solution scheme is the same. To forecast the cycle 24, the twice-duplicated WSN_smooth series from cycles 10 to 23 was processed to the end with the slide algorithm, and so on.

Data analysis algorithms

Parameters of machine learning models are of two types: internal and hyperparameters. The model seeks the internal those automatically based on the dataset and target vector. Hyperparameters should be set up by a researcher who should vary the values; models will discern regularities in the data better or worse, and the error function will be larger or smaller respectively for the new (or suspended) data. In this paper, adjustable hyperparameters of the Random Forest Regressor algorithm were: `n_estimators` (the number of trees in the algorithm), `max_features` (the number of flags to choose the splitting), `min_samples_leaf` (the limitation for the number of samples in the leaf). Parameters of the XGBoost Regressor algorithm were: `n_estimators` (the number of trees in the algorithm), `learning_rate` (the learning rate), `subsample` (the part of the dataset used for learning), `max_depth` (the maximum depth of trees), `min_samples_leaf` (the limitation for the number of samples in the leaf). To evaluate the forecasting quality of the suspended cycle model, the RMSE error function

(the root-mean-square error, $\sqrt{1/m \sum_{i=1}^m (x_i^{true} - x_i^{pred})^2}$, m is the number of points in the cycle)

was used. The optimum parameter values for the models were adjusted by varying the hyperparameter values and obtaining the forecast error function in cycles 22 to 24. For example, the RMSE distribution for cycle 22 of one of the Random Forest models with various combinations of value pairs for `max_features` and `min_samples_leaf` parameters is shown in Fig. 2.

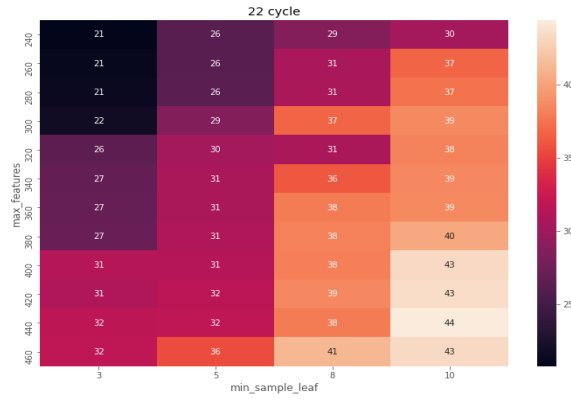


Fig. 2. RMSE error matrix at cycle 22

Cycle's predictions

For steadier forecasting, several models were developed, and forecasts for them were averaged. Five models were used in forecasting; three of them (rf1, rf3, rf4) relate to Random Forest Regressor and two (xgb5, xgb6) to XGBoost Regressor. Besides the rf4, all models were trained using duplicated series; the rf4 was trained based on the dataset created from the WSN_smooth series with no repetitions, which increased the variety of algorithms. As a rule, the forecasting averaging force for several algorithms (the ensemble) increases as the variety in the ensemble rises. The forecasting results for models and their averaged forecasts for cycles 22 to 24 respectively are shown in Fig. 3-5.

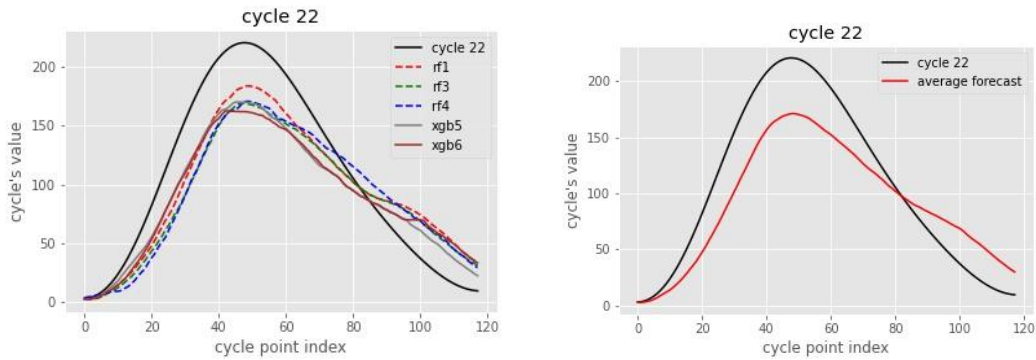


Fig. 3. Model predictions for cycle 22 (left) and their average (right)

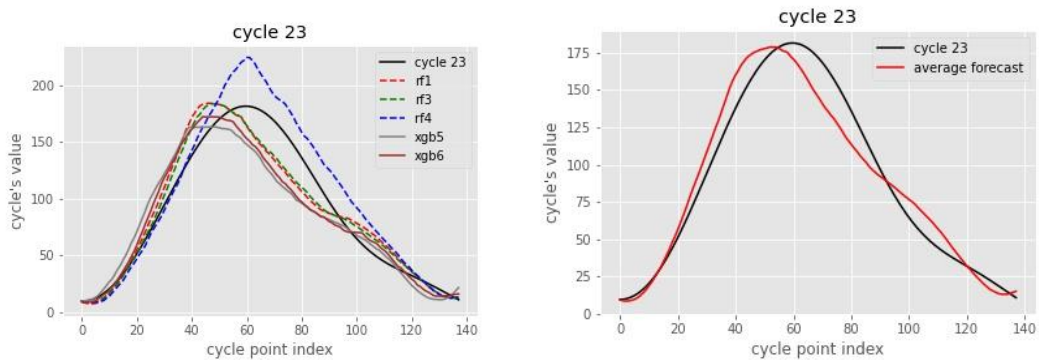


Fig. 4. Model predictions for cycle 23 (left) and their average (right)

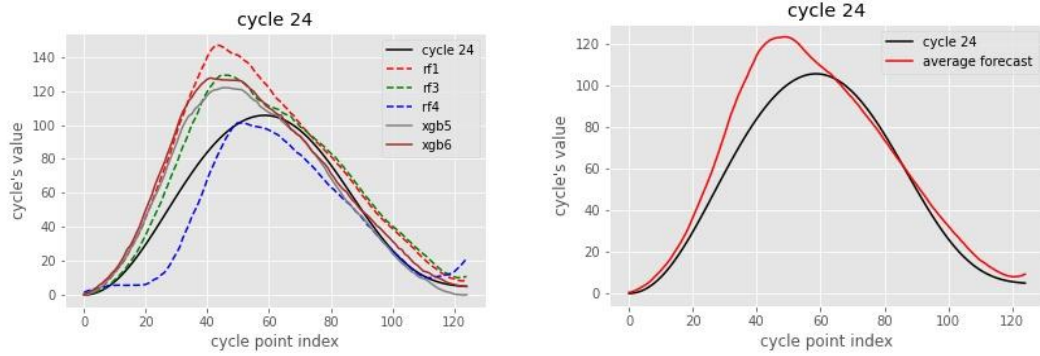


Fig. 5. Model predictions for cycle 24 (left) and their average (right)

It is worth noting that the minimum point between the previous and new cycles was accepted as the new cycle start in the smoothed WSN_smooth series. Even insignificant shifting of the cycle start by 4-6 points often results in the notable changes in the model forecast. Model forecasts for cycle 25 are shown in fig.6.

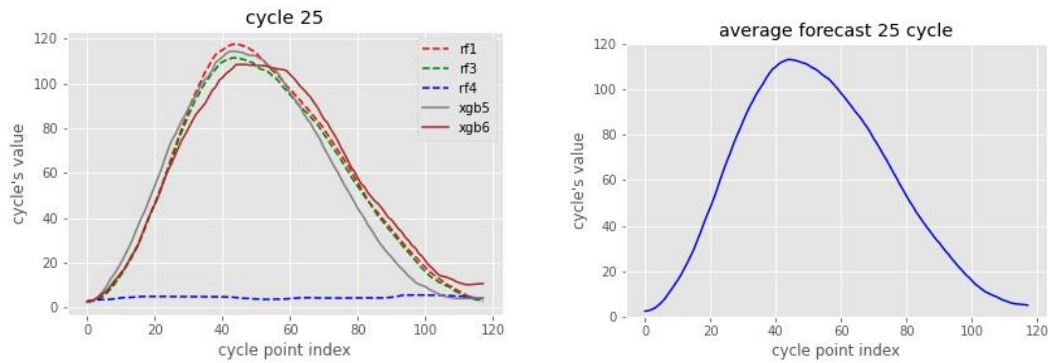


Fig. 6. Model predictions for cycle 25 (left) and their (no rf4) average (right)

As it is seen, the rf4 model fails on cycle 25, but if it is adjusted using the dataset obtained from the WSN_smooth series using the duplication, then the forecast complying to those for other models will be obtained. The averaged forecast of the new cycle without including the forecast for the rf4 model is shown in fig.6.

Comparing WSN v.1 to v.2

Besides the analysis of the WSN v.2 series with no quasi-two-year components (WSN_smooth), the machine learning methods were used to study the classic WSN v.1 and WSN v.2 series. The training dataset creation scheme and the adjustment of parameters using suspended cycles are the same. For WSN v.1, the Random Forest-class algorithms are steadier in hyperparameters. It means that it is easy to adjust the parameter value ranges, in which the error is minimised at once for all three suspended cycles. For WSN v.2, hyperparameter value ranges that minimise the error in cycles 22 and 24 do not match. Fig.7-9 shows distributions of error (RMSE) in cycles 22 to 24 for WSN v.1 and v.2 by values of max_features, min_samples_leaf parameters of one of the Random Forest models.

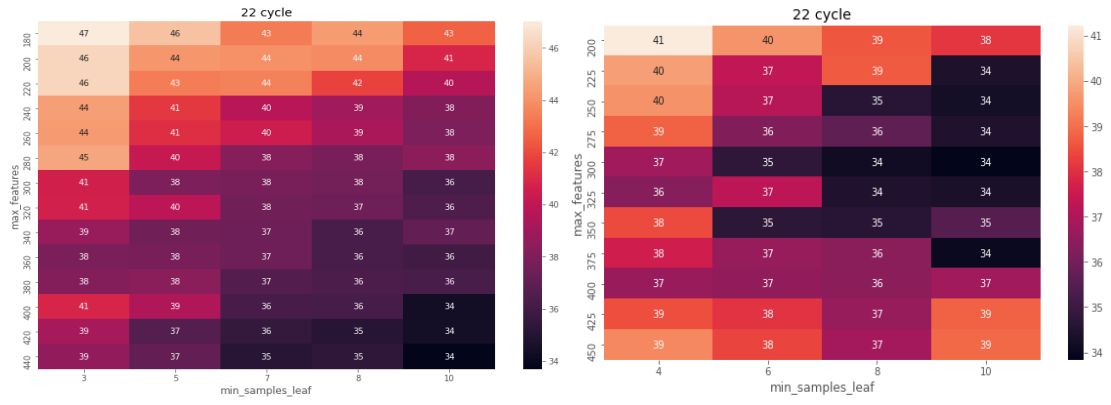


Fig. 7. Error matrix on cycle 22 WSN v.1 (left), WSN v.2 (right)

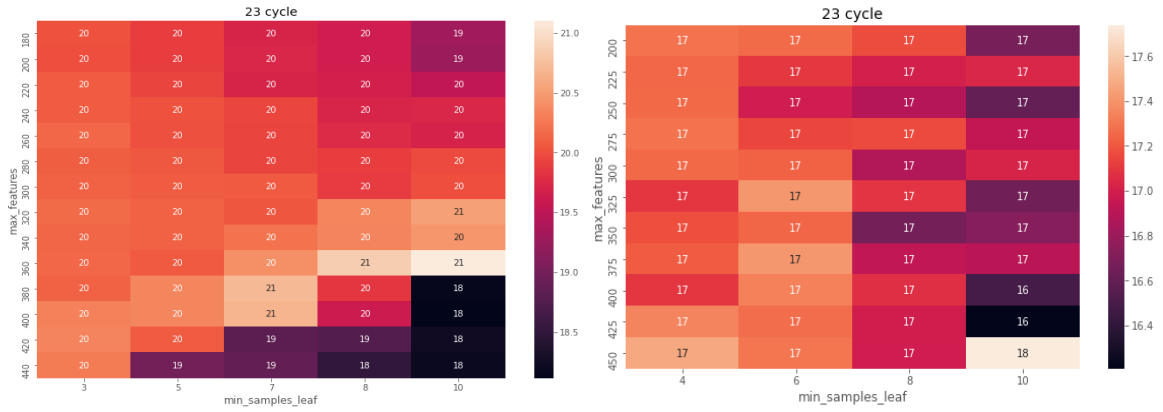


Fig. 8. Error matrix on cycle 23 WSN v.1 (left), WSN v.2 (right)

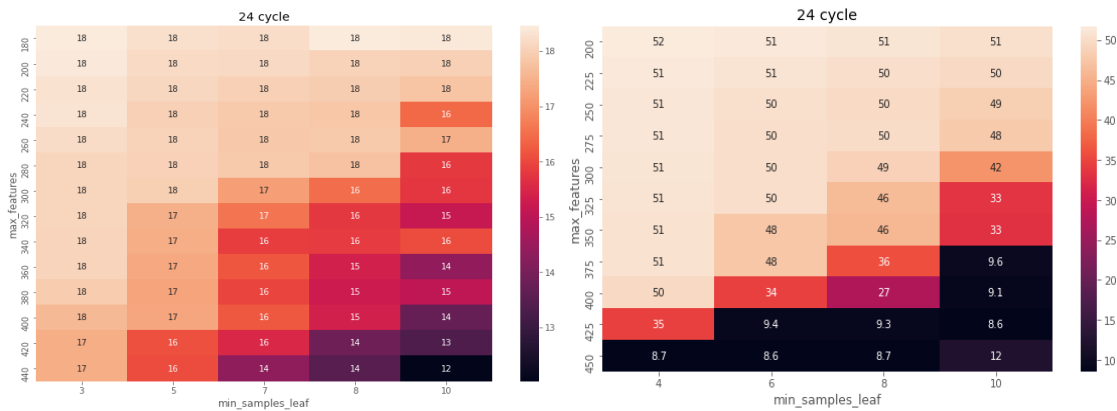


Fig. 9. Error matrix on cycle 24 WSN v.1 (left), WSN v.2 (right)

It is clearly seen that for v.1, the minimum points in suspended cycles are reached in the same range (below the secondary diagonal of the error matrix). For v.2, these ranges almost do not intersect, which is a characteristic pattern. Analysing the forecast results for different models, it may be said that, on average, for v.1, algorithms restore better the regularities of the series and are steadier than for v.2. It might be associated with the supplementary noisiness of the new version of series after the transformation of v.1 into v.2 [3] (fig.10).

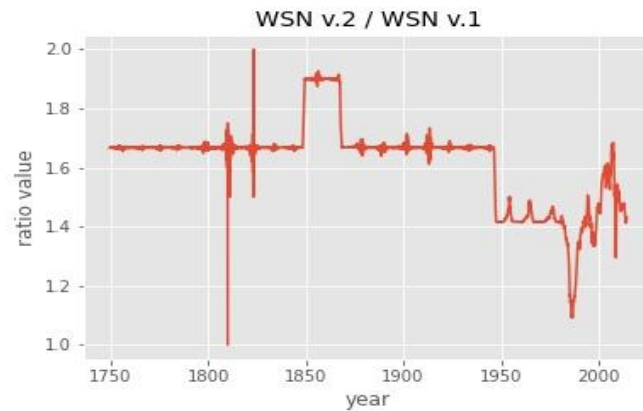


Fig. 10. Ratio WSN v.2 to WSN v.1

Results

This paper attempted to restore the dynamics of smoothed Wolf number series (with no two-year components) using the machine learning algorithm. The quality of forecasting models was evaluated based on cycles 22 to 24, and algorithms demonstrated quite good results for suspended data. Moreover, the forecast for the current cycle 25 was performed too. Also, the ability of algorithms to restore regularities for WSN v.1 and v.2 was analysed. In average, the reviewed algorithms based on decision trees restore better the regularities for WSN v.1 than for v.2. Perhaps it occurs due to the supplementary noisiness of the new version of the Wolf number series after the transformation of v.1 into v. 2.

References:

1. Clette, F., L. Svalgaard, J. M. Vaquero, E. W. Cliver. Revisiting the Sunspot Number Space Science Reviews. 2014.
2. David, H. Hathaway. The Solar Cycle Living Rev. Solar Phys. 2015.
3. Shibaev, A. I. The characteristics of old and new versions of month Wolf numbers range and there uniformity are compared. XIV Young Scientists Conference "Fundamental and Applied Space Researches" papers. 2017.

INFLUENCE OF GALACTIC COSMIC RAY FORBUSH DECREASE ON THE OZONE PROFILES

Natalya Kilifarska, Tsvetelina Velichkova

*Climate, Atmosphere and Waters Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: natalya_kilifarska@yahoo.co.uk; joy_real@abv.bg*

Keywords: geomagnetic storm, Forbush decrease, ozone profile

Abstract: Recently proposed mechanism for ozone production in the lower stratosphere, initiated by the lower energetic electrons in Regener-Pfotzer maximum, could be additionally verified in periods of sudden decreases in cosmic rays intensity, known as Forbush decreases (FD). The strongest geomagnetic storm during the 24-th solar cycle (known as the St. Patrick's day storm) is characterised by a significant Forbush decrease. Analysis of time series of different neutron monitors (NM) reveals that FD accompanying the geomagnetic storm is not recorded simultaneously in NMs spread over the world. This situation allows us to compare the local ozone profiles' responses to the different spatial-temporal variability of cosmic rays intensity. The ozone profiles have been examined within the entire March and their values before and during the Forbush decrease are compared. It was confirmed that weakening of particles flux, entering Earth's atmosphere, is followed by immediate changes in ozone profile – different in the upper and lower stratosphere. Particularly, the lower stratospheric ozone demonstrates high sensitivity to the level of cosmic radiation – decreasing significantly with its depletion.

ВЛИЯНИЕ НА ФОРБУШ ПОНИЖЕНИЕТО В ИНТЕНЗИТЕТА НА КОСМИЧНИТЕ ЛЪЧИ ОТ МАРТ 2015 ВЪРХУ ПРОФИЛИТЕ НА АТМОСФЕРНИЯ ОЗОН

Наталия Килифарска, Цветелина Величкова

*Институт за изследване на климата, атмосферата и водите – БАН
e-mail: natalya_kilifarska@yahoo.co.uk; joy_real@abv.bg*

Ключови думи: геомагнитна буря, Форбуш понижение, озонен профил

Резюме: Валидността на предложения в последните години механизъм за производство на озон в ниската стратосфера – в резултат от активирането на йонно-молекулярни реакции в максимума на Регенер-Пфотсер – може да бъде проверен в периоди на внезапно понижение на потока космични лъчи, известен като Форбуш понижение. Най-силната геомагнитна буря в протекание на 24-я слънчев цикъл, известна като бурята в деня на Св. Патрик, е съпроводена със значително Форбуш понижение. Интересно е да се отбележи, че рязък спад в постъпващата космическа радиация е регистриран от наземно-базираната мрежа от неутронни монитори, в различни моменти от развитието на бурята и нейното постепенно затихване. Това ни даде възможност да сравним измененията в профилите на озона в зависимост от локалното проявление на Форбуш понижението. Настоящото изследване потвърждава установеният преди факт, че отслабването на потока космическа радиация е съпроводено с незабавни промени в профилите на озона – различни във високата и в ниската стратосфера. В частност, плътността на озона в ниската стратосфера намалява значително с намаляването на интензитета на космическите лъчи достигащи до земната повърхност.

Introduction

The St. Patrick's day storm in March 2015 appears after the solar explosion from the western, geo-effective region on the solar disk, which triggers a partial halo coronal mass ejection, propagating toward the Earth. The interplanetary shock wave, sweeping the Earth after that, is accompanied by a significant Forbush decrease (FD), measured by various detectors. The analysis of the onset time of FD shows that many neutron monitors counted it simultaneously. However, peculiarities have been

found in some of them. As an illustration of this effect, Fig. 1 presents the temporal variability of the FD onsets in three high altitude neutron monitors – Lomnický Stit (LMKT; $R=3.84$, $Alt=2634$ m), Emilio Segre Observatory in Israel (ESOI; $R=10.75$, $Alt=2055$ m) and Tibet (TIBT; $R=14.1$; $H=4300$ m). Note the pre-storm reduction of cosmic ray (CR) flux in LMKS and its post-storm decrease in ESOI observatory, shown in Fig. 1.

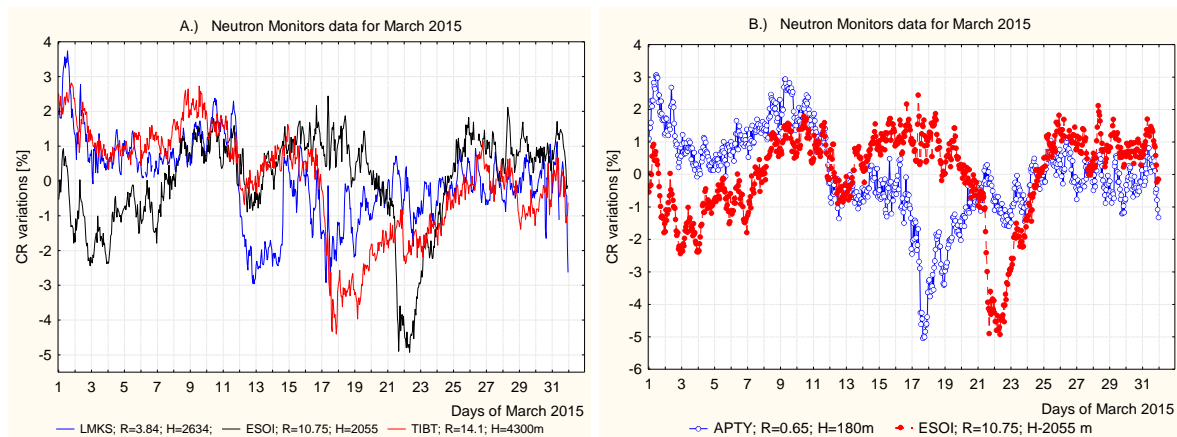


Fig. 1. Time series of cosmic radiation measured in several neutron monitors' locations

According to the recent understanding, the non-simultaneous FD events occur when a relatively weaker interplanetary magnetic cloud strikes the dusk side of the magnetosphere [1]. The heterogeneity of the interplanetary magnetic field and disturbed magnetosphere are the main reasons for the observed differences in FD onset time, depending more on the measuring station's longitude than on its latitude [2]. This situation has been exploited as a possibility to investigate the local response of ozone profile to the short lasting decrease of the cosmic ray flux reaching the surface.

Data and methods of analysis

The hourly values of neutron monitors counting rates have been derived by the freely available data at NMDB portal: <http://www01.nmdb.eu> and the IZMIRAN data server: <http://cr0.izmiran.ru/common/links.htm>. Provided data are pressure and efficiency corrected. The relative changes in cosmic radiation in % are calculated as deviations from the monthly mean values, normalised by the same mean and multiplied by 100.

Gridded data for an atmospheric ozone profile has been taken from the ERA-Interim reanalysis <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>. The deviations from the monthly mean values have been used for assessment of the short-term fluctuations in ozone's profile.

Two methods have been used as quantitative estimators of similarity in temporal variability of cosmic radiation and ozone profiles – the classical cross-correlation method and the artificial neural network one.

Results

The spatial distribution of the cosmic ray Forbush decrease (FD) in March 2015 has been constructed from observatories, participating in the world neutron monitors network, with altitude less than 500 m. above the sea level (see Fig. 2). Note the heterogeneously distributed FD being more significant in regions with stronger longitudinal magnetic gradient.

Two monitors – APTY (67.57°N; 33.39°E) and ESOI (33.3°N; 35.8°E) – have been selected for analysis of the ozone response to the reduced CR intensity. They have different geomagnetic rigidity (R) what means that particles with different energies and different origin are able to affect the ozone profiles over both observatories. At the same time the two monitors are placed near 30°E longitude, which excludes the potential influence of the geomagnetic field longitudinal gradient. Moreover, the FD onset in both observatories is shifted by four days, allowing us to analyse the ozone response to the global (storm related) and local changes of the atmospheric ionization.

The daily O_3 profiles over Apatite, shown in Fig. 3, illustrate fairly well the ozone sensitivity to the variations in arriving cosmic rays. Note that the Forbush decrease commencement is followed by a reduction of ozone density in the upper stratosphere, and its pile up in the lower stratosphere – starting at March 18, 2015. The low magnetic rigidity of APTY indicates that it is freely accessible to the CR, arriving along the open geomagnetic field lines.

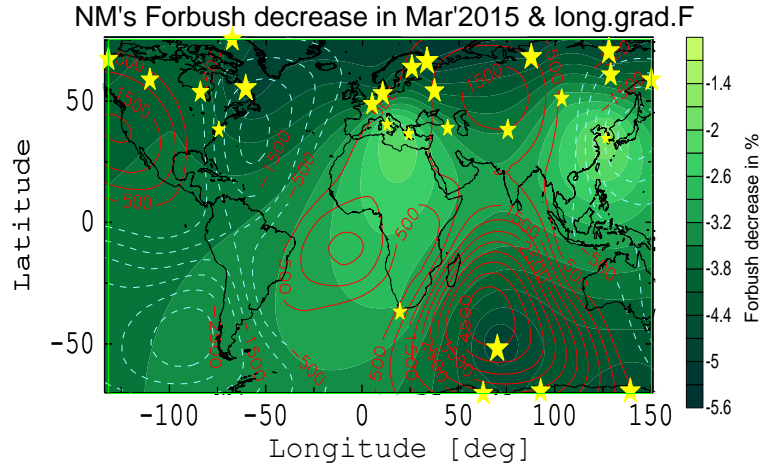


Fig. 2. Map of Forbush decrease in March 2015 as measured in the ground-based network of neutron monitors with elevation above the sea level less than 500 m (green shading) and differently sized stars. Note that larger stars denote higher cosmic ray intensity. Overdrawn is the longitudinal gradient of the geomagnetic field (contours).

When the interplanetary shock wave pass the Earth, the solar plasma propagates in polar stratosphere, activating ozone reduction – through direct dissociation or through activation of ozone destroying chemical reactions. The reduced optical thickness of the upper stratospheric ozone allows penetration of solar ultraviolet radiation deeper in the lower stratosphere, where it activates the ozone self-restoration [3]. As a result a short lasting enhancement of the lower stratospheric ozone density is detected (right panel in Fig. 3).

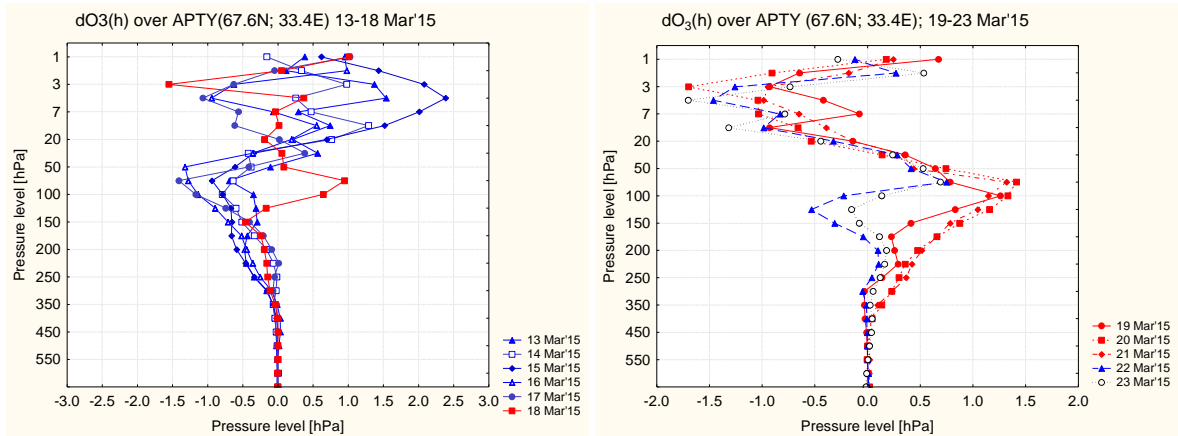


Fig. 3. Ozone profiles over Apatite before, during and after the geomagnetic storm at 17-18 March 2015.

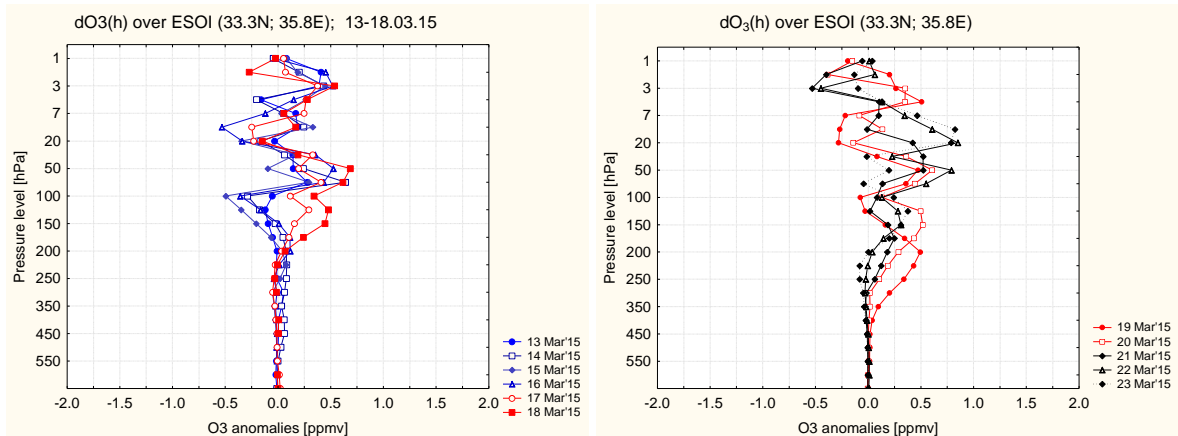


Fig. 4. Ozone profile over Emilio Segre Observatory and its variability during geomagnetic storm in 17-18 March 2015

On the other hand, the ESOI site is assessable mainly to the radiation trapped in Earth's radiation belts. This explains the smallest O_3 response over ESOI observatory to the global geomagnetic storm of March 17-18, 2015 (see Fig. 4). The weak positive anomalies in O_3 mixing ratio, between 50 and 200 hPa, starts at March 17 and continue until the onset of FD in March 21. This enhancement of the lower stratospheric O_3 is accompanied by ozone depletion at upper stratospheric levels. The latter fact is an indication of the self-restoration mechanism standing behind the positive ozone anomalies in the lower stratosphere.

The ozone response to the FD commencement in March 21-22 at Emilio Segre Observatory is shown in Fig. 5. Note the strong enhancement of O_3 density in the middle stratosphere (7-30 hPa), following the recovery of the cosmic radiation after the Forbush decrease. A short-lasting weaker peak is visible also near 100 hPa. In this case the raise of the lower stratospheric ozone density could not be attributed to the self-restoration mechanism, due to the strongest ozone enhancement in the upper stratosphere. Consequently, the only possible explanation is the activation of the ion-molecular reactions of ozone production [4].

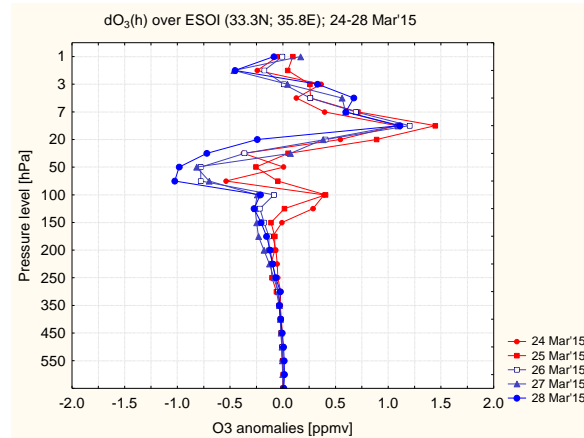


Fig. 5. Response of ozone profile over Emilio Segre Observatory to the Forbush decrease in March 21-22, 2015

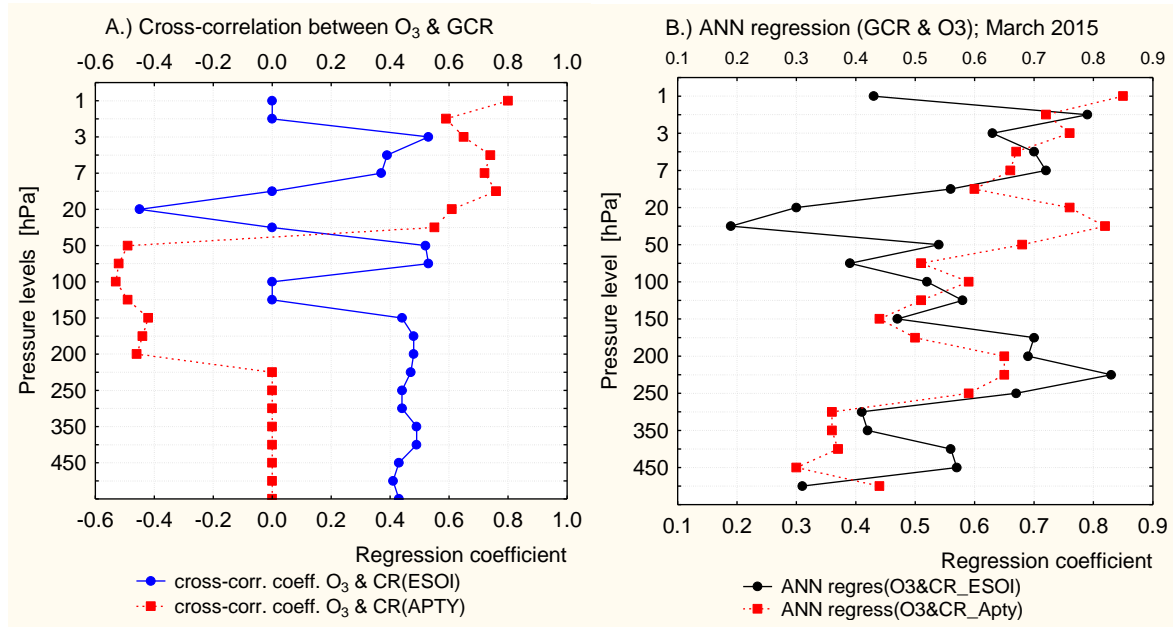


Fig. 6. (A.) Cross-correlation between galactic cosmic rays measured in Apatite (red contour) and Emilio Segre Observatory (blue contour), and corresponding ozone profiles over both sites; (B.) Similarity in temporal evolution of O_3 density and cosmic radiation measured at Apatite (black contour) and Emilio Segre Observatory (red contours) during the March 2015

Furthermore, we have assessed the rate of connection between temporal variability of incoming cosmic radiation and O_3 profiles (see Fig. 6). The left panel in the figure shows the cross-correlation coefficients between neutron monitors' records for March 2015 and temporal variations of

daily ozone anomalies at each meteorological level. The figure shows a strong positive correlation of upper stratospheric ozone and cosmic radiation reaching the Apatite neutron monitor. The lower stratospheric O₃ over Apatite is moderately correlated with cosmic radiation, but with opposite sign. The strength of CR-ozone relation over Emilio Segre Observatory is weaker and more complicated. Correlation coefficients above 0.5 are found in the upper stratosphere, as well as at 50-70 hPa. Unlike the Apatite, where the tropospheric O₃ does not correlate with cosmic radiation, the temporal variations of both variables over Israel are moderately synchronised, and their correlation coefficients are between 0.4 and 0.5.

Having in mind the non-linear character of analysed data records, we have estimated the similarities in their temporal variability by the use of the artificial neural network method. The results are shown in Fig. 6 (B). A high degree of similarity has been found in the upper stratosphere over both observatories. In Apatite two more peaks of similarity are visible – at 30 and 225 hPa. In ESOI observatory the highest ever similarity between cosmic radiation and O₃ mixing ratio is found between 175- and 225 hPa. Comparison of the results derived by the two methods shows that cross-correlation technics give only a rough estimation of the possible relations between analysed variables. The neural network technic is more flexible, allowing better description of height variable relation between both variables – cosmic radiation and ozone. However, it has to be bear in mind that the anti-phase covariance is interpreted by this method as dissimilarity.

Discussion and conclusion

The existence of secondary souse of ozone in the lower stratosphere, activated by the atmospheric ionization produced by galactic cosmic rays, has been discovered not long ago [5]. The current research provides more evidence for sensitivity of atmospheric ozone to the amount of the arriving cosmic radiation. The examination of ozone's profiles reveals that in both analysed observatories – Apatite (67.57°N; 33.39°E) and Emilio Segre Observatory (33.3°N; 35.8°E) have been found positive anomalies in the lower stratospheric ozone, after the onset of Forbush decrease related to the geomagnetic storm on March 17-18, 2015. The mechanisms of ozone enhancement in both sites, however, are different. Thus at Apatite, which is accessible for particles arriving along the open geomagnetic field lines, the abundance in the lower stratospheric ozone density is due to the process of ozone self-restoration, after its destruction at higher levels by the lower energy solar particles, arriving with interplanetary magnetic shock [3].

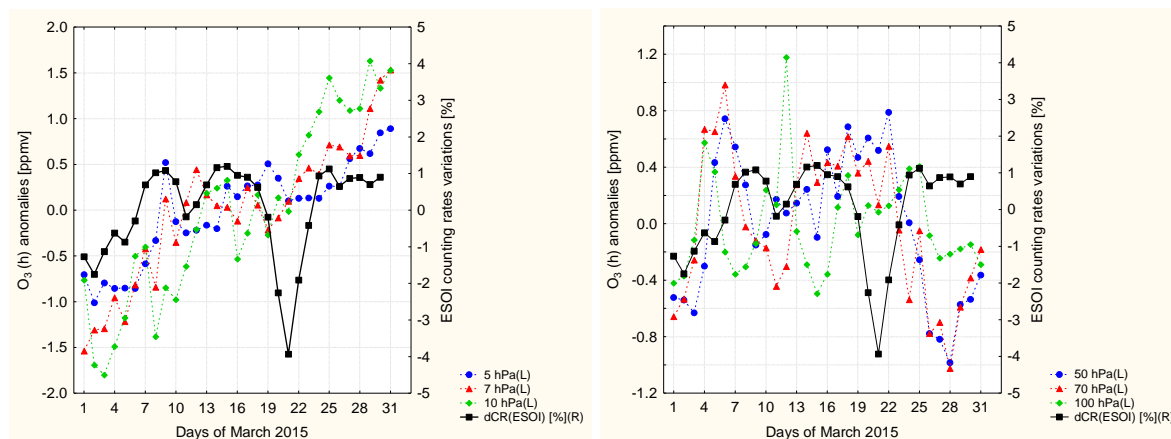


Fig. 7. Time series of O₃ at different pressure levels and cosmic radiation measured at Emilio Segre Observatory in March 2015

On the other hand, the subtropical Emilio Segre Observatory in Israel is influenced mainly by the energetic particles trapped in Earth's radiation belts. For this reason the onset of Forbush decrease in arrived cosmic radiation flux is followed by a depletion of the lower stratospheric ozone density – due to the reduced amount of available atmospheric ionisation and reduced rate of ozone production. In the period of recovery after the Forbush decrease, however, a pile up of ozone density is found – at lower and in the upper stratospheric levels. While the upper stratospheric effect (at 5-10 hPa) could be partially attributed to the transition from winter to the summer raise of ozone density (see the ozone time series shown in the left panel of Fig. 7), the enhancement in the lower stratospheric ozone should be undoubtedly assigned to the raise of the atmospheric ionisation after the Forbush decrease, and activation of additional ozone production near the Regener-Pfotzer maximum [5, 6]. In support of our conclusion, the balloon measurements over Israel, from May 2015

[7], shows that the level of the Regener-Pfotzer maximum is placed near 17 km, corresponding to the ~70 hPa, where the amplitude of ozone variability is higher (refer to the right panel of Fig.7).

In resume, the atmospheric ozone profile is very sensitive not only to the solar particles related to the geo-effective solar eruptions (broadly elucidated in scientific literature), but also to the galactic cosmic rays, and more specifically to the secondary ionisation produced by them in the lower stratosphere. The latitude dependence of the ozone response is due to the different energies of the impacting particles. The lower stratospheric O₃ at latitudes shielded by the closed geomagnetic field lines is sensitive to the radiation trapped by geomagnetic field in Van-Allen radiation belts. At the same time, the high latitude ozone is vulnerable to the solar plasma, hitting the Earth after solar proton events.

Acknowledgments: The study is supported by the Bulgarian National Science Fund, Contract KP-06-N34/1/30-09-2020 “Natural and anthropogenic factors of climate change – analyses of global and local periodical components and long-term forecasts”, and by the Bulgarian National Science Fund, Contract DN 14/1/11.12.2017. We acknowledge the NMDB database (www.nmdb.eu), founded under the European Union's FP7 programme (contract no. 213007), as well as the IZMIRAN neutron monitors data base (<http://cr0.izmiran.ru/common/links.htm>) for the data provided. Special thanks also to the project teams of ERA Interim reanalysis, providing gridded data for meteorological variables.

References:

1. Oh, S. Y., Yi, Y., 2009. Statistical reality of globally nonsimultaneous Forbush decrease events. *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 114. <https://doi.org/10.1029/2009JA014190>
2. Fenton, A. G., McCracken, K. G., Rose, D. C., Wilson, B. G., 1959. The onset times of forbush-type cosmic ray intensity decreases. *Can. J. Phys.* 37, 970–982. <https://doi.org/10.1139/p59-108>
3. Kilifarska, N. A., V. G. Bakhmutov, G. V. Melnyk, Energetic particles influence on the Southern Hemisphere ozone variability, *Compt. rend. Acad. bulg. Sci.*, 66(11), 1613–1622, 2013.
4. Kilifarska, N. A. An autocatalytic cycle for ozone production in the lower stratosphere initiated by Galactic Cosmic rays, *Compt. rend. Acad. bulg. Sci.*, 66(2), 243–252, 2013.
5. Kilifarska, N. A., 2017. Hemispherical Asymmetry of the Lower Stratospheric O₃ Response to Galactic Cosmic Rays Forcing. *ACS Earth Space Chem.* 1, 80–88. <https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.6b00009>
6. Kilifarska, N. A., Bakhmutov V. G., Malnyk G. V., 2020. The Hidden Link Between Earth's Magnetic Field and Climate - 1st Edition, Paperback ISBN: 9780128193464; eBook ISBN: 9780128193471
7. Yaniv, R., Yair, Y., Price, C., Nicoll, K., Harrison, G., Artamonov, A., Usoskin, I., 2016. Balloon measurements of the vertical ionization profile over southern Israel and comparison to mid-latitude observations. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 149, 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2016.10.003>

HYPOTHETIC INTERPRETATION OF ATMOSPHERIC ELECTRIC FIELDS AND CURRENTS AT HIGH LATITUDES MEASURED DURING SEP

Peter Tonev

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

Keywords: middle atmosphere electrodynamics, aerosols, atmospheric conductivity, spatial electric charges.

Abstract: The electric response in mesosphere, stratosphere and at ground level at high latitudes during major SEP events observed by experimental measurements during decades is characterized by systematically peculiar and extremely large variations of the electric fields and currents. The experimental case considered demonstrates vertical electric fields ~ 10 V/m in mesosphere at latitude 58.5°S during major SEP event began from 19 October 1989 and very strong geomagnetic storm (K_p reaches 8+) on 21 October (the experimental day). We show that the profile of vertical electric field indicates for severely reduced conductivity in the mesosphere and upper stratosphere, and for capability of generation of extra downward electric currents below the mesosphere during major SEP events. These last can give a key for explanation of the peculiar behavior of electric fields measured in the stratosphere at auroral latitudes during GLE69.

ХИПОТЕТИЧНА ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА АТМОСФЕРНИТЕ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ПОЛЕТА И ТОКОВЕ НА ВИСОКИ ШИРИНИ ИЗМЕРЕНИ ПО ВРЕМЕ НА СЛЪНЧЕВИ ПРОТОННИ СЪБИТИЯ

Петър Тонев

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

Ключови думи: електродинамика на средната атмосфера, аерозоли, атмосферна проводимост, пространствени електрически заряди.

Резюме: Електрическият отклик на големи слънчеви протонни събития (СПС) в мезосферата, стратосферата и на повърхността на високи ширини, наблюдаван чрез експериментални измервания в продължение на десетилетия, се характеризира системно със странни и екстремно високи вариации на електрическите полета и токове. Разглежда се ракетен експеримент проведен на 21.10.1989 г. на географска ширина 58.5°S , в който по време на СПС с начало 19.10.1989 г. и силна геомагнитна буря (K_p достига 8+) е измерено вертикално електрическо поле $E_z \sim 10$ V/m в мезосферата. Тук се показва, че профилът на E_z е индикатор за силно намалена проводимост в мезосферата и високата стратосфера, а също за възможността под мезосферата да се генерират допълнителни низходящи токове по време на големи СПС. Това може да даде обяснение за странното поведение на измерените в средната стратосфера електрически полета по време на СПС на 20.01.2005 г.

Two experiments demonstrating effects of SEP on atmospheric electric characteristics

In this paper is given hypothetical explanation of the effects of major solar proton events (SPEs) on atmospheric electrical characteristics in different atmospheric regions (mesosphere, stratosphere, and at ground level) which have being experimentally observed during several decades. From these two experiments at high and auroral latitudes during strong SPEs are studied here: 1) a rocket-borne measurements at latitude 58.5°S which yield profile of the vertical electric field E_z from 20

to 70 km [1]; and *ii*) a balloon-borne measurements in Antarctic middle stratosphere [2]. They demonstrate extremely strong and unusual electric response. A short description follows:

The rocket experiment. During SPE on 19-22 October 1989 at latitude 58.5°S over Southern Indian Ocean the profile of vertical electric field E_z has been obtained in a rocket experiment [1]. The experimental rocket flight is on 21 October at 19:31 UT when also strong geomagnetic storm takes place with planetary geomagnetic index $K_p=8$ at the time of flight (during this day K_p reaches 8+). The profile of E_z is shown in Fig.1 by thick line. E_z reaches extremely high values in mesosphere and upper stratosphere: $E_z=+12.2$ V/m at altitude $z=58$ km, and $E_z=-9.7$ V/m at $z=46$ km. A striking fact is also the change of sign of E_z : the electric field is upward above 50 km, and downward below that altitude. There is no satisfying explanation of these features. For comparison, by usual conductivities close to 50 km, $2 - 6 \times 10^{-11}$ S/m, and by fair-weather current $J_{fw}=-2$ pA/m² E_z should be about -100 mV/m, i.e. at least by two orders of magnitude smaller, or even well below that value if conductivity σ is enhanced due to strong impact ionization during SPE. It should be noted that the E_z peak values $E_{z\text{peak}}$ found are the biggest ever measured in many tens or more similar rocket-borne experiments [1].

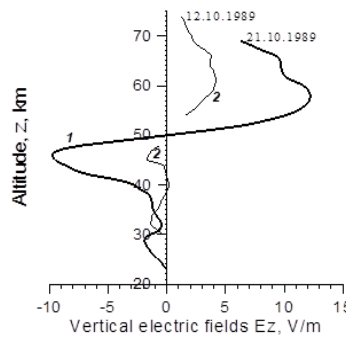


Fig. 1. Profile of vertical electric field E_z (curve 1) at latitude 58.5° (South Indian Ocean) on 21.10.1989, at 19:31 UT during major SPE (GLE event) and strong geomagnetic storm [1]

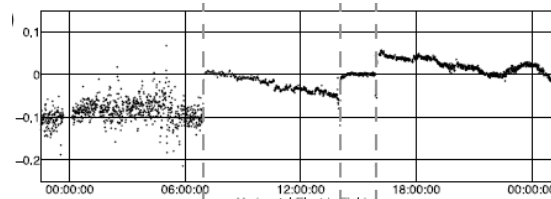


Fig. 2. Time variations of the vertical electric field E_z at 31-33 km altitude during GLE 69 [2]. Dashed vertical lines correspond to times: $t_0=06:51$ of SPE onset, $t_1=14:00$ UT, and $t_2=15:54$ UT.

The balloon-borne experiment. Measurements in Antarctic middle stratosphere (31-33 km) carried out on 20 January 2005 coincide with a SPE of very hard spectrum (GLE 69) [2]. Balloon coordinates change from (70.9°S, 10.9°W) to (71.4°S, 21.5°W) during the day. The geomagnetic conditions are: *i*) quiet from the SPE onset at $t_0=06:51$ UT until $t_1=14:00$ UT; *ii*) from 14:00 UT until the end of day the geomagnetic activity is increased; *iii*) after $t_2=15:54$ UT strong geomagnetic substorm takes place. Also, at times t_1 and t_2 the protons of energies <5 MeV have sudden increase, according to GOES-10 data for the proton flux (Kokorowski *et al.*, 2006). The observed variations of vertical electric field E_z are shown in Fig.2. For the first ~ 1.5 hours after t_0 E_z is close to zero. Then, until time t_1 $E_z < 0$ becomes unusually large, so that the related current J_z exceeds the nominal fair-weather current J_{fw} more than three times. At time t_1 E_z has a jump to about zero and remains such until time t_2 . At t_2 the electric field E_z has another sudden jump to large positive values such that J_z becomes well larger than J_{fw} , but now it is upward until the end of the day. These features remain unexplained.

Interpretation of rocket measurements

The stopping altitude z_{ps} of energetic protons entering the atmosphere depends approximately by logarithmic law on their initial energy E_p , as shown below:

E_p , MeV	0.3	1	5	10	30	50	100
z_{ps} , km	100	89	72	63	48	39	30

Any proton penetrating into the atmosphere injects an elementary positive charge $q_e = 1.6 \times 10^{-19}$ C there which cannot abandon the atmosphere since their carriers have no sufficient energy to enter the magnetosphere. Thus, uncompensated positive spatial charges injected during SPE are being accumulated in the atmosphere. They remain uncompensated until precipitation of electrons of the same quantity which neutralize the atmosphere. Redistribution of these uncompensated positive charges within the atmosphere takes place before neutralization. If conductivity is undisturbed, these charges run upwards to the base of the magnetosphere (~150 km) and are being distributed evenly there, with no contribution to atmospheric electrical characteristics. However, we show here that this is not always the case, because of the strong disturbance of conductivity in middle atmosphere related to formation and growth of aerosol particles.

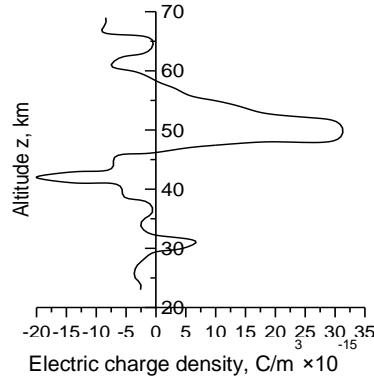


Fig. 3. Profile of the electric charge density $\rho(z)$ derived from E_z profile by the use of Gauss's law

The specific E_z profile in Fig.1 indicates for presence of layers of positive, as well as negative spatial charges of large density ρ . These last are estimated here from the Gauss's law $\text{div} \mathbf{E} = \rho/\epsilon_0$, where \mathbf{E} is the electric field, $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m is permittivity. In $\text{div} \mathbf{E}$ dE_z/dz is the only significant term, hence, the charge density ρ is determined as

$$(1) \quad \rho = \epsilon_0 dE_z/dz.$$

Fig. 1b demonstrates the profile of ρ obtained from the profile of E_z shown in Fig.1a. Further, we analyze the main layer L_P of positive charge around 50 km and the columnar positive charge Q_{LP} in it. Layer L_P is hypothetically fed by uncompensated positive charges injected together with energetic protons during SPE. This layer is assumed to be in quasi-steady state at time of the experiment, since: i) any precipitations of protons or electrons from the magnetosphere ± 1 hour to the launch time would not have contribution to L_P ; ii) the decay of proton flux is slow for many hours before and after the experiment, only ~7% per hour, as follows from data for energetic proton flux obtained at GOES-7 [3]. Under quasi-steady conditions the conductivity in layer L_P satisfies the equation:

$$(2) \quad Q_{LP}/t_R = J_{\text{prot}},$$

where $J_{\text{prot}}(z) = q_e F_{\text{prot}}(z)$ is the source current into L_P formed by the newly injected uncompensated positive charges; $F_{\text{prot}}(z)$ is the flux of protons whose stopping altitude is z , and $t_R(z)$ is the charge relaxation time at z , $t_R(z) = \epsilon_0/\sigma(z)$. The source current J_{prot} into the layer is obtained here from GOES-7 data for the energetic proton flux [3] assuming identity between proton flux at the top of atmosphere (~100 km) and that measured at GOES-7 (this assumption is used also by other authors). We take into account [4] which show that during strong geomagnetic storm with $K_p = 8$ all protons of energies >0.5 MeV enter the atmosphere at geomagnetic latitude $\Lambda = -62.7^\circ$ of the experiment.

With columnar charge density in layer L_P $Q_{LP} \sim 10^{-10}$ Cm⁻² and $J_{\text{prot}} \sim 10^{-14}$ Am⁻² from protons with stopping altitude in L_P , roughly estimated conductivity σ_{LP} at L_P (47-58 km) is:

$$(3) \quad \sigma_{LP} = J_{\text{prot}} \epsilon_0 / Q_{LP} \sim 10^{-15} \text{ S/m}$$

This is extremely low conductivity, but it is necessary to avoid fast relaxation of the charge Q_{LP} . Hypothetically, such low conductivity could realize in presence of aerosol particles, if their

parameters, such as density and size, are suitable. Similarly, extreme reduction of conductivity, but in noctilucent clouds in summer mesopause, is determined in different experiments although without SPE. [5] show that SPEs produce aerosol particles in stratosphere.

The estimation of columnar resistance r_L of the layer L_P 47-58 km of thickness $\Delta z=11$ km yields $r_{LP} = \Delta z/\sigma_{LP} \sim 10^{19} \Omega m^2$ - more than one order of magnitude larger than the columnar resistance r_0 of the region 0 - 20 km. We should note that under quiet conditions only r_0 is significant.

These results demonstrate that the following structure of the electrical link in middle atmosphere at high and auroral latitudes has been formed during SPE with onset on 19 October 1989. Main layer L_P of positive spatial charge $\sim \pm 5$ km has been formed around the altitude $z_B=50$ km which is a boundary separating regions of upward vertical electric field E_z above z_B , and downward E_z below z_B . Layer L_P contains large uncompensated positive spatial electric charge Q_{LP} fed by the elementary charges of arriving protons which is relaxing through the electric currents J_U above z_B (upward), and J_L below z_B (downward). Another boundary z_{PN} above z_B separates layer L_P and an upper located layer L_N of induced negative spatial charge due to the conductivity gradient (here $z_{PN}=58$ km).

Electric currents J_U and J_D are superimposed to the downward fair-weather current J_{fw} which is ~ 2 pA.m⁻² under quiet conditions, and during SPE is strongly diminished due to decreased conductivity σ_M in the middle atmosphere. The reduction of conductivity σ_M leads to increase of columnar resistances r_{PL} below altitude z_B of the region where conductivity is affected by aerosol particles, r_{PU} between boundaries z_B and z_{PN} , and r_N above z_{PN} .

Current $J_z = J_D + J_{fw}$ is of interest since it determines the electric field variations in stratosphere and down to surface, as well. At the time of the rocket experiment resistances r_{PL} and r_{PU} become extremely large, corresponding to the very late phase of SPE (54.5 hours from its onset). This determines that current J_D is very small. At earlier phases of SPE these resistances would be smaller, but yet large enough to affect current J_D which depends also on the charge Q_{LP} , and on separating boundary z_B which, at earlier phases, would be located at higher altitude.

Interpretation of balloon measurements on 20 January 2005

From time $t_0=06:51$ until 08:40 UT the electric field E_z is close to zero since resistances r_{PL} , r_{PU} and r_N are too small to affect it, and J_{fw} is reduced since σ is increased by 10-20 times. At time period t_1-t_2 the charge Q_{LP} , the resistances r_{PL} and r_{PU} , and current J_D enlarge, while $J_{fw} \ll J_D$. This determines large currents J_D and $J_z \sim J_D$. The jump of E_z from extremely large negative values to almost zero with the geomagnetic activity increase at time $t_2=14:00$ UT is possibly due to sudden enlargement of resistance $r_{PU} + r_N$. The second jump at $t_3=15:56$ UT (the substorm onset) is caused, possibly, by strong EEP which causes eventually a change of polarity of layer L_P and of current J_D .

Conclusion

- Extremely large electric fields (exceeding 10 V/m) observed in mesosphere at auroral latitudes during major SEP could be caused by development of aerosol layers and injection of uncompensated positive electric charge.
- Creation and growth of aerosol particles in mesosphere and upper stratosphere at high latitudes are driven by SEP; they cause dramatic decrease of conductivity and thus control the redistribution of uncompensated positive charges within the atmosphere.
- These processes determine effective electrical coupling between mesosphere and stratosphere at high latitudes which appears as consistency of electric field behavior in these regions.

References:

1. Zadorozhny, A. M., A. A. Tyutin (1998). Effects of geomagnetic activity on the mesospheric electric fields, Ann. Geophys. 16, 1544–1551, 1998.
2. Kokorowski, M., Sample, J.G., et al. (2006). Rapid fluctuations of stratospheric electric field following a solar energetic particle event, Geophys. Res. Lett., 33, L20105.
3. Marvin, D. C., D. J. Gorney. Solar Proton Events of 1989: Effects on Spacecraft Solar Arrays, Aerospace Report No. TR-0091(6945-01)-2, 1992.
4. Rodger, C. J., M. A. Clilverd, et al. Dynamic geomagnetic rigidity cutoff variations during asolar proton event, J. Geophys. Res., 111, A04222, 2006, doi:10.1029/2005JA011395.
5. Shumilov, O. I., E. A. Kasatkina, K. Henriksen, E. V. Vashenyuk (1996). Enhancement of stratospheric aerosols after solar proton event, Ann. Geophysicae 14, 1119–1123, 1996).

A SYSTEM FOR DETECTION, LOCALIZATION AND IDENTIFICATION OF IONIZING RADIATION SOURCES BASED ON AN INTERNET OF THINGS GROUND UNMANNED VEHICLE

Svetoslav Zabunov¹, Rositsa Miteva²

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²Institute of Astronomy with National Astronomical Observatory – Bulgarian Academy of Sciences
e-mails: svetoslavzabunov@gmail.com, rmitova@astro.bas.bg

Keywords: Ionizing radiation detection Internet of Things ground-based vehicle, Nuclear disaster management, Systems and platforms for ionizing radiation sensor payloads.

Abstract: Ionizing radiation sources on our planet are either naturally occurring or artificially created. In both cases, if disseminated in the environment they would pose health hazards for the population. Certain scenarios of disasters with nuclear facilities establish a threat to public health and security. Systems for detection of ionizing radiation sources, preferably unmanned, are required.

The current paper focuses on a novel system employed in radiation sources detection operations by means of carrying an ionizing radiation sensor as payload on a mobile ground-based platform. The platform consists of a wheeled vehicle that is remotely controlled and has no crew. The solution aims at detection, tracking and identification of different ionizing radiation sources. Possible scenarios of implementation of the system include nuclear facility disasters and catastrophes, radioactive material smuggling through borders, research and maintenance of uranium mines, management of nuclear waste depots, etc.

СИСТЕМА ЗА ОТКРИВАНЕ, ЛОКАЛИЗАЦИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ НА ИЗТОЧНИЦИ НА ЙОНИЗИРАЩО ЛЪЧЕНИЕ БАЗИРАНА НА ИОТ НАЗЕМНА ПЛАТФОРМА С ДИСТАНЦИОНЕН КОНТРОЛ

Светослав Забунов¹, Росица Митева²

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

²Институт по астрономия с национална астрономическа обсерватория – Българска
академия на науките

e-mails: svetoslavzabunov@gmail.com, rmitova@astro.bas.bg

Ключови думи: Наземно превозно средство за откриване на йонизиращо лъчение, Управление на ядрени катастрофи, Системи и платформи за пренасяне на сензори за йонизиращо лъчение като полезен товар.

Резюме: Източниците на йонизиращо лъчение са естествени или изкуствено създадени. И в двата случая, ако бъдат разпръснати в околната среда биха представлявали риск за здравето на хората. Определени сценарии на бедствия с ядрени съоръжения представляват заплаха за общественото здраве и сигурност. В такива ситуации са нужни системи за откриване на източници на йонизиращо лъчение, за предпочитане без хора на борда.

Настоящата публикация се фокусира върху иновативна система, която се използва за откриване на източници на йонизиращо лъчение. Това става чрез пренасяне като полезен товар на сензор за йонизиращо лъчение върху мобилна наземна платформа. Платформата се състои от колесно превозно средство, което се управлява дистанционно и няма хора на борда. Решението цели откриване, следене и идентификация на различни източници на радиация. Възможни сценарии на приложение включват ядрени катастрофи, контрабанда на радиоактивни материали през граница, изследвания и поддръжка на уранови мини, управление на дела с ядрени отпадъци и др.

Introduction

The ionization radiation sources are ubiquitous. They have natural origin or have been artificially created by humans through technological processes. For example, nuclear power plants are one of the largest “laboratories” creating nuclear byproducts being non-existent in nature as natural elements. On the other hand, we find a lot of natural radioactive substance in the environment some of which are used to create nuclear fuel for nuclear plants and their mining is an important industrial niche. The utilization of all these radioactive products poses risks to the environment and humans and requires adequate technology for radiation dosimetry and surveying. Possible scenarios requiring a ground-based unmanned platform carrying a dosimetry sensor are disaster management of nuclear accidents such as the Fukushima Daiichi nuclear disaster from 2011 and the Chernobyl disaster from 1986. Other cases to employ the system are the management of natural resources and mines of radioactive ores, smuggling counteraction, nuclear waste maintenance, etc.

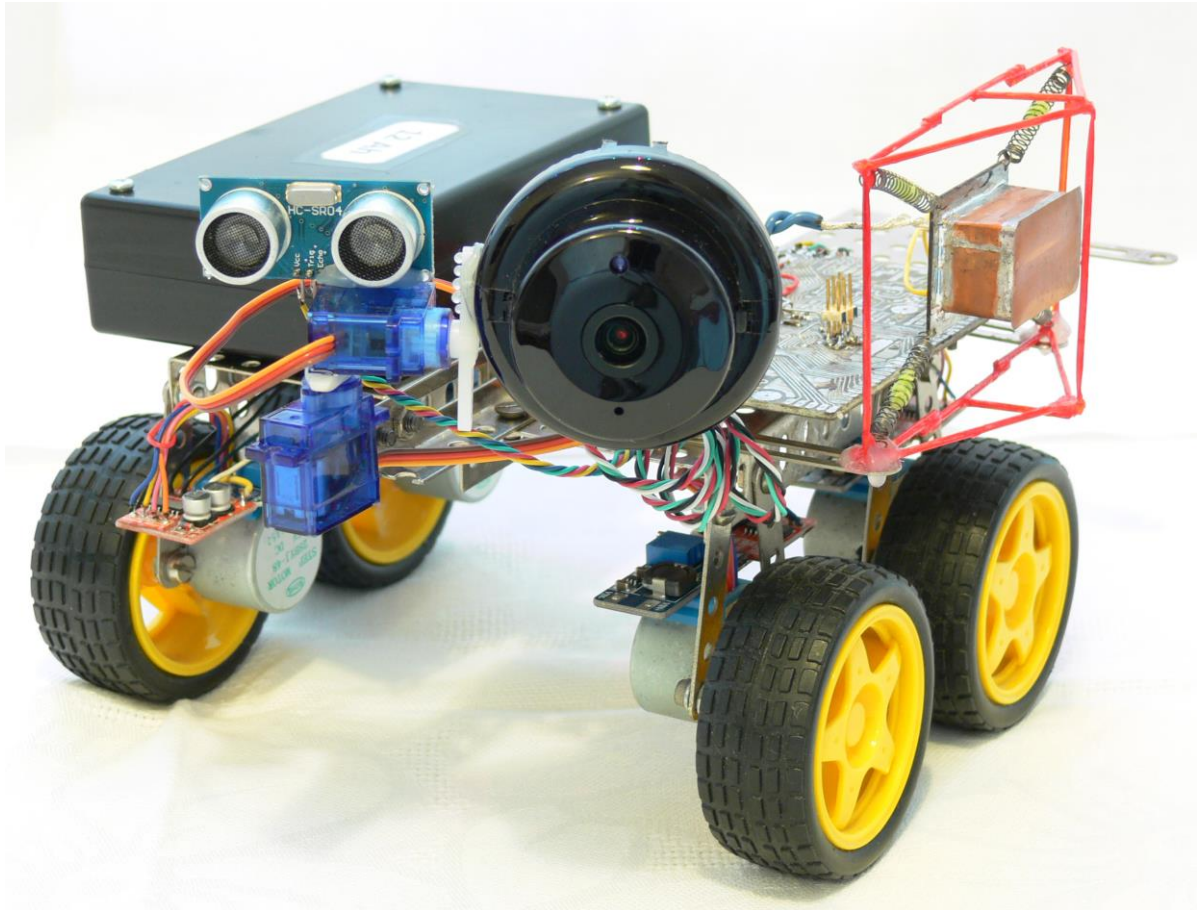


Fig. 1. The novel ground-based wheeled platform carries a spectrometric ionizing radiation sensor as payload

We have directed our research work towards the design and development of an unmanned ground-based platform used to carry an ionizing radiation sensor as its payload (see Fig. 1). The sensor was also developed for the project and is briefly described herein. The framework of this project is defined by several prerequisites that were to be met. First of all, the ground-based platform should be lightweight and cheap to manufacture and maintain. It has to be maneuverable and with off-road capabilities. The vehicle must be able to carry a sensor that is used not only for dosimetry, but also to generate spectral analysis of the radioactive sources with the goal of identifying them. Finally, in order not to risk exposing humans to radiation, the mobile platform should be unmanned.

This article discusses a novel design of a ground-based vehicle system for radiation dosimetry and radioactive source identification (Fig. 1). The article starts with overview of existing work in the field of ground-based dosimetry unmanned vehicles. The general construction of the vehicle is disclosed along with details of its design, electrical part, power source, propulsion, suspension, payload platform, auxiliary electronics, navigation camera and radio communications modules. A brief description of the employed radioactive sensor is illustrated.

In conclusion, future work is outlined with ideas of improving the system and its parts.

Related work

Existing ground-based unmanned systems having the same purpose of ionizing radiation dosimetry and spectrometry are found in the scientific literature.

The CARMA 2 ground-based vehicle is a large wheel platform used for ionizing radiation surveying. It has dimensions of 830x440x1030 mm but a ground clearance of only 65 mm. The battery life of this vehicle is 4 hours maximum. It is interesting to note that the CARMA 2 creators estimate high probability of catastrophic failure in γ -environments having the intensity of the Fukushima Daiichi disaster site. It is obvious that systems with high failure rates and at the same time being costly like the CARMA 2 platform are inefficient.

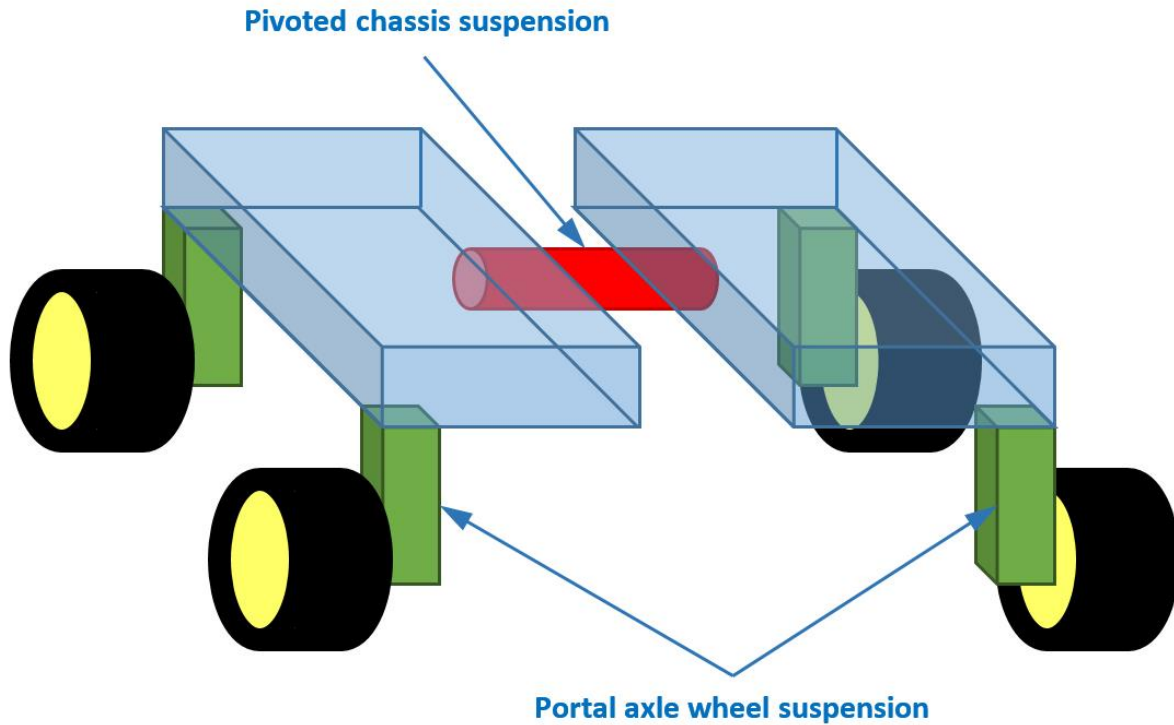


Fig. 2. The pivoted suspension of the ground-based platform and the portal axles ensure high ground clearance and uninterrupted contact with the ground of all four wheels

There are other systems that have been grounded at the Fukushima Daiichi site used specifically for γ -surveying such as JAEA-3 and Quince. The former is a four wheeled platform equipped with gamma ray imaging sensor called Gamma Eye. This system including both the platform and the instrument weighs 70 kg. Quince, on the other hand, is a tracked vehicle having a little less weight of 50 kg. The instrument on board is the dosimeter CPXANRFA-30 manufactured by Fuji Electric Co., Ltd.

There are still other developments most of which are wheeled and some – tracked. The majority of utilized sensors are Geiger Müller tubes for γ - and β -surveying, but there are modern solid state sensors also.

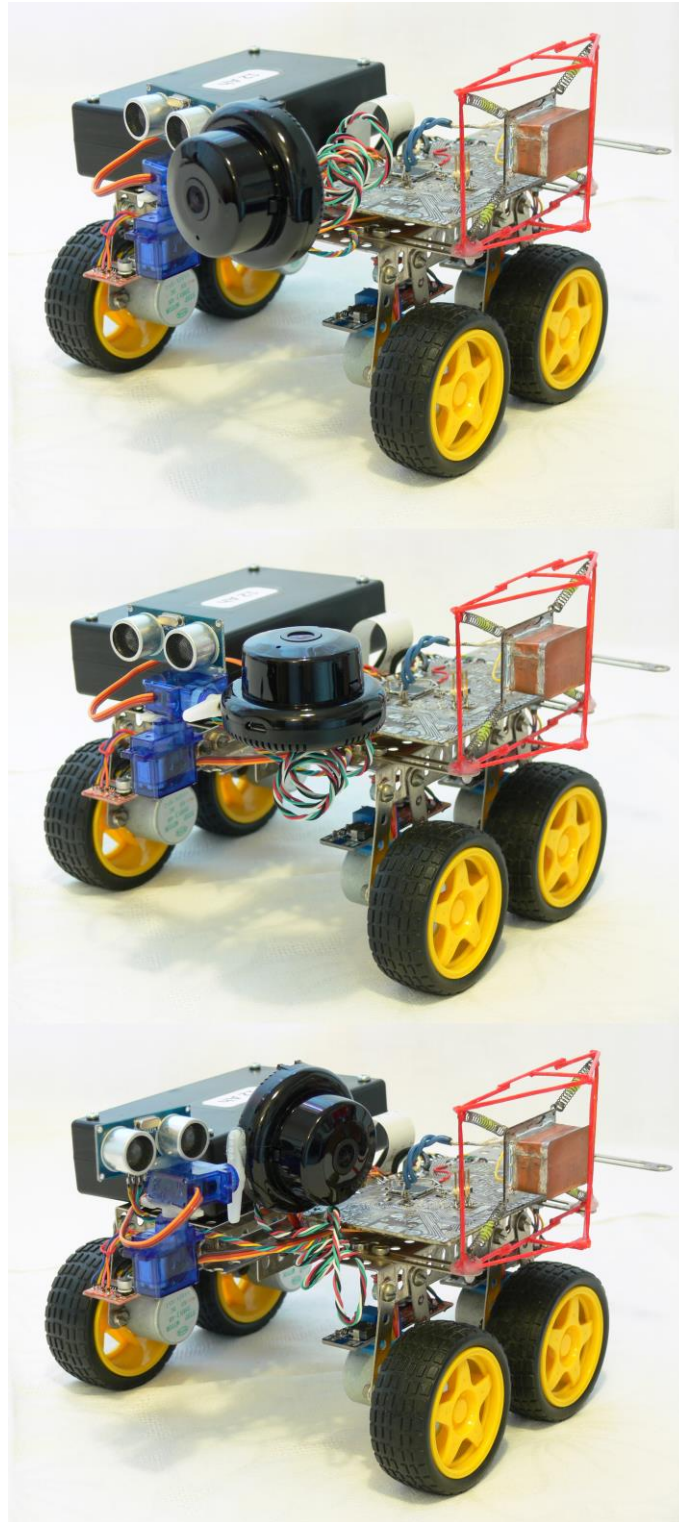


Fig. 3. The employed camera is a high definition digital device, articulated in two axis using servo mechanisms

Although the variety of ground-based systems for ionizing radiation surveying is overwhelming, most if not all of the apparatuses have their electronics unprotected from high radiation doses. The major reason for this vulnerability is the implementation of standard electronics lacking radiation hardening or radiation resistance. These unmanned platforms are nonetheless expensive. The cost is expected to be high for specialized equipment, but combining high cost with high failure rate and significant unit weight makes the utilization of such systems very inefficient and problematic.

Taking into account all these drawbacks of the existing systems we came to the conclusion that we should develop our ionizing radiation platform around low cost and radiation resistant electronics.

The platform design

As already mentioned we defined several goals to be satisfied by our design. These include low cost, low weight, simplicity of design to achieve low failure rate and finally implementation of radiation resistant electronics.

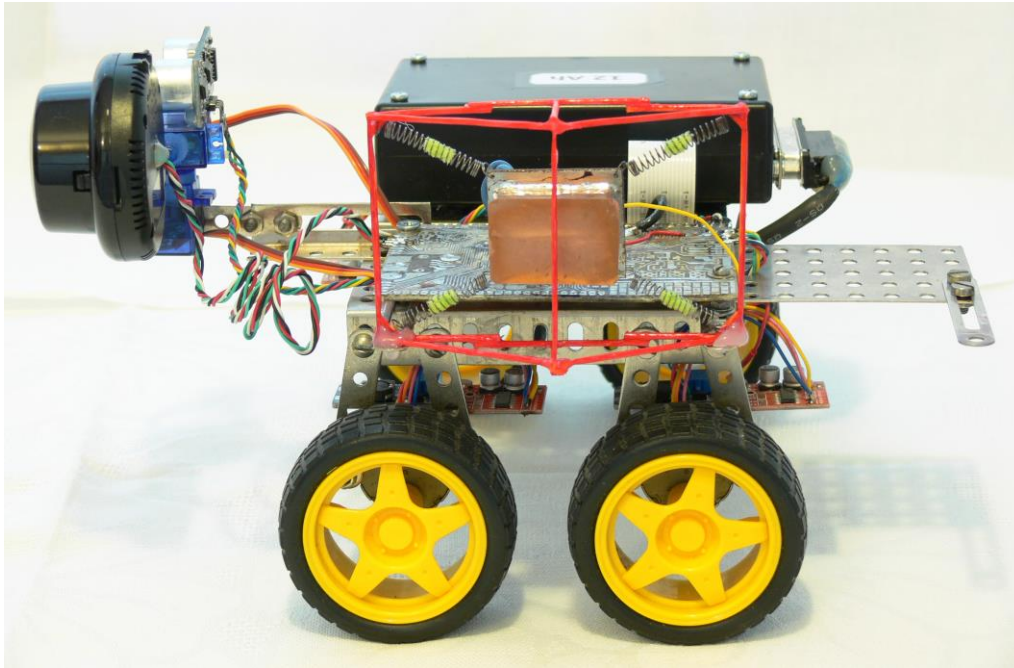


Fig. 4. The novel platform has dimensions of 300×250×170 mm and weighs only 1.11 kg

The low cost and weight make the system deployable in large numbers easily. We target cost of at least ten times lower than the average price of the existing platforms. Our total vehicle weight along with the payload is also tens of times less in comparison with the existing platforms and was established at 1.11 kg. Most employed parts, including the motors, camera and servo actuators, are off-the-shelf components. Two modules were designed and developed by us – the main control board and ionizing radiation sensor. These units are also built around standard components.

The dimensions of the vehicle are 300×250×170 mm (Fig. 4). A single person is able to carry and deploy several devices simultaneously.

Starting with the chassis, there are two boards connected through a pivoted suspension. There is no differential mechanism for the pivot – hence the vehicle is simpler and more robust in design. Each board, left and right, mount two wheels, thus each wheel is always in contact with the ground (see Fig. 2). Each wheel is driven by an electric stepper motor. The motors rely on a reduction gear mechanism realizing a portal axle. This approach increases the ground clearance of the vehicle which is 50 mm.

Our platform uses skid-steering (differential steering). It offers simplicity and reliability. In order to maintain low tension on the gear boxes and less power consumption during steering we designed the distance between the front and rear wheels to be much less than the distance between the left and right wheels. Further, the vehicle suspension is unsprung.

A block diagram of the platform electronics is shown in Fig. 5. They are built around a control board of our own design. This board is a modification of an experimental autopilot board we have developed previously for use in multirotor drones. The heart of the board is a digital signal processor (DSP) microcontroller unit (MCU) of the Kinetis family – the DSP MCU MK22FN1M0VLL12. This MCU is ARM-core based and offers a 32 bit architecture. It has an auxiliary computational unit – a single precision floating point unit. Its core is the Kinetis ARM Cortex-M4. The chip is packaged into a 100 pins low-profile quad flat package (LQFP). We have at our disposal two analogue to digital converters (ADCs) with 16 bit accuracy. The MCU has 128 kiB random access memory (RAM) and 1 MiB of flash memory. The latter may be used as a substitute to electrically erasable programmable

read-only memory (EEPROM). The processor of the MCU runs at 120 MHz clock and offers plenty of performance adequate for the expected computational tasks and real-time control function. The process of the chip is 90 nm and the MCU is powered with 3.3 V supply.

The next version of the vehicle is planned to employ a new control board built around a radiation resistant MCU. We have again selected representatives of the Kinetis family of MCUs. These MCUs are built using the 130 nm process and have a number of noise immunity techniques engaged. They are powered with 5 V supply. An example of such a microcontroller is the MKE02Z64VQH4. This microcontroller withstands 30 krad(Si) when exposed to 20 keV X-rays. Its core is ARM Cortex-M0+ and has no floating point unit, but is also based on 32 bit ARM architecture. The delivered processing power is adequate.

The control board also has an inertial measurement unit (IMU) inside. The latter is designed around microelectromechanical devices, namely a three axis gyroscope, three axis accelerometer and three axis magnetometer. Barometer device is also employed. The magnetometer and gyroscope units come at hand with a ground vehicle when navigation using magnetic field is required. The accelerometer reports the inclination of the vehicle and any vibrations that might be transferred to the chassis from the ground.

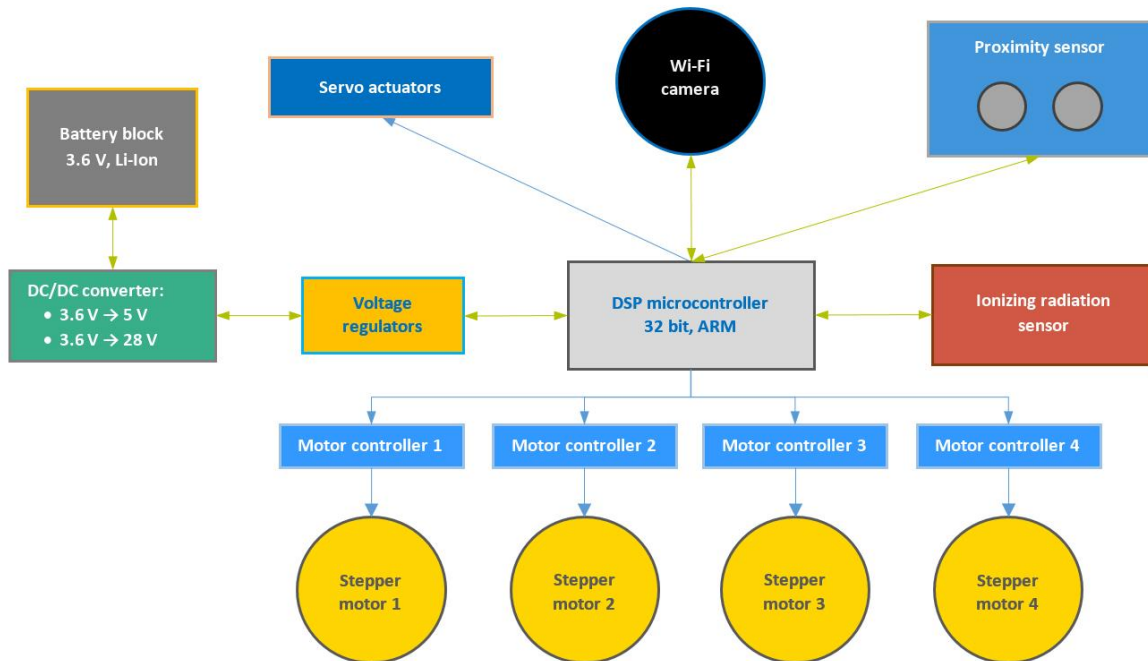


Fig. 5. A block diagram of the platform electronics

Each motor is controlled through four wires by a motor controller. All four controllers are directly connected to the main control board. The stepper motors ensure electrical noise free operation and precise command of movement.

The power source is 3.6 V Li-Ion battery pack which is changeable and is connected by means of a plug. Different packs offer different capacities. We carried out our tests using a 12 Ah battery which offers about 4 hours of operation time under vehicle motion and all systems working. There are a number of voltage converters on board with the purpose of delivering all required voltages by different electronics modules including the payload. Some of the voltages, as required, are regulated with the help of low noise low drop-out (LDO) voltage regulators.

The platform relies on a digital high definition Wi-Fi camera. It offers Wi-Fi connection with the control station and the radio link is used for video transfer, information exchange and control commands. Control of the vehicle over the Internet is possible converting the system to an Internet of Things (IoT) device. The camera has night vision capabilities using internal switchable filter and active infrared (IR) illumination. The articulation of the camera is realized through two servo devices (see Fig. 3). This approach ensures two-axis tilting by 180°.

An ultrasonic distance metering sensor is mounted on the first servo device manipulating the camera covering 180° horizontally (see Fig. 3).

Ionizing radiation sensor

Our platform is designed with the idea to carry any type of ionizing radiation sensor as payload that meets the maximum allowed payload weight. For the current version of the vehicle this limit is 400 g. For the purpose of our parallel project – a micro drone carrying an ionizing radiation sensor as payload – we have developed our own sensor that is extremely lightweight and weighs only 10 g. For all our tests we used this sensor and it can be seen on Fig. 1, 3 and 4 enclosed in a copper shielding and suspended on a frame using springs (see Fig. 4 and 5). The sprung suspension solves a notorious problem with PIN photodiode based ionizing radiation sensors – parasitic registering of vibrations. When we started the development of our sensor we had as starting point the Liulin family of ionizing radiation sensors. Liulin radiological instruments have been designed and developed at the Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences and have a long history of successful devices. We aimed at an instrument that has no internet MCU and relied on the MCU of the control board it was connected to. Thus we intended to save board real estate, component count, weight and power consumption which we achieved successfully. Another benefit is the theoretically reduced failure rate – the simpler a device is, the less prone to failure it proves to be.

Our radiation sensor follows the tested path of employing a solid state radiation sensitive component – a PIN photodiode. The very thin shielding of only 50 μm stops light, moisture, dust particles and electromagnetic interference, and at the same time lets through gamma rays having energies well below 60 keV and low energy beta particles. Further, we achieved spectral identification of the radioactive sources using spectral analysis. We should mention that a PIN photodiode based sensor can detect fast neutrons with energies above 1 MeV, accelerated protons and heavy ions apart from beta and gamma rays.

The employed PIN photodiode is Hamamatsu S5107 with 100 mm² active area and sensitive silicon volume thickness of 0.3 mm.

The sensor also hosts an analogue transimpedance amplifier and signal shaper. The output signal is delivered directly to the ADC of the MCU of the host board by means of a shielded cable. The high resolution in both voltage and time of the ADC allows direct sampling of the signal. Any hardware such as sample-and-hold circuits and threshold detectors have been discarded. By these means we have further reduced the weight and power consumption of the platform while increasing its reliability. Further, the complete digital signal processing reveals exciting ability of extracting as much information as it is possible from the single. The computed and experimentally measured output RMS noise voltages coincide to an ample degree and are at 15 mV. Our Americium-241 sample (see Fig. 6 – left) emitting 60 keV gamma rays generates 120 mV positive amplitude signal. By adjusting channel 1 to correspond to 60 keV gamma ray energy we record 512 channels of ionization event energies. We tested the system with a number of radioactive samples among which Potassium-40, Uranium-238 (see Fig. 6 – right), Radium-226, Thorium-232, background radiation.

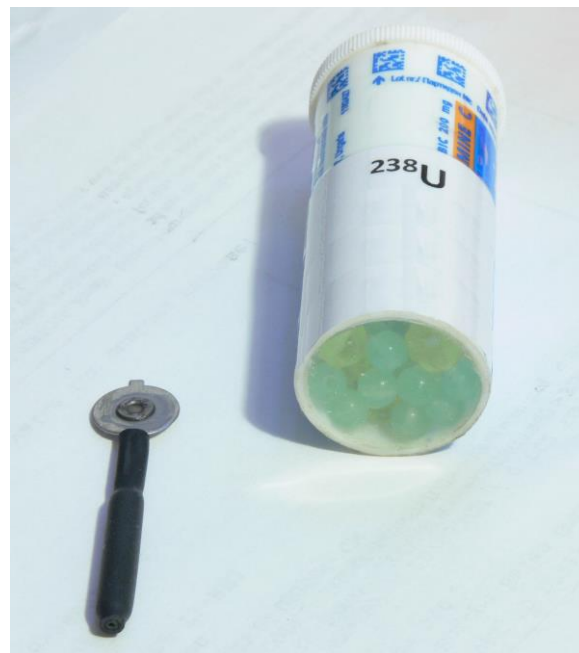


Fig. 6. Some radioactive samples used in the experiments with the sensor and the mobile platform. Americium-241 on the left and Uranium-238 on the right. Radiation levels are harmless.

Conclusions

We have achieved a competitive ground-based unmanned platform for carrying ionizing radiation sensors on board. The platform is Internet of Things capable and has low cost for manufacturing and maintenance. Along with the developed radiological sensor it becomes a good starting point for further progress in the field.

For our next version of the system we want to improve the radio communications capabilities, the navigation of the system in confined spaces, the self-governing capacity. We also aim at lowering further the costs and elevating the radiation resistance of the electronics.

Acknowledgements

We would like to express our special recognition to prof. Jordanka Semkova from Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences for the incredible help and support she gave us during this breathtaking venture.

References:

1. Bird, B., Griffiths, A., Martin, H., Codres, E., Jones, J., Stancu, A., Lennox, B., Watson, S. and Poteau, X. (2019), "A Robot to Monitor Nuclear Facilities", IEEE ROBOTICS & AUTOMATION MAGAZIN, 1070-9932/19©2019IEEE, pp. 35–43, March 2019.
2. Chaiyasoonthom, S., Hongyim, N. and Mitatha, S. (2015), "Building Automatic Packet Report System to report position and radiation data for autonomous robot in the disaster area", 15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2015), Oct. 13-16, 2015 in BEXCO, Busan, Korea, pp. 85–88.
3. Dachev, T.P., Semkova, J.V., Tomov, B.T., ...Cubancak, J., Nikolaev, I. (2015) Overview of the Liulin type instruments for space radiation measurement and their scientific results. *Life Sciences in Space Research*, 2015, 4, pp. 92–114
4. Dudar, A.M., Wagner, D.G., Teese, G.D. (1994), "AUTONOMOUS MOBILE ROBOT FOR RADIOLOGIC SURVEYS", United States Patent, Patent Number: 5,324,948, Date of Patent: Jun. 28, 1994
5. Filip F. Filipov (2017), "Erforschung und Implementierung von Technologien für die Navigation in Innenräumen", TU-Sofia – Verteidigung zur Erlangung des Doktor Titels, Sofia, 2017.
6. Garcia-Sanchez, A.-J., Angosto, E.A.G., Riquelme, P.A.M., Berna, A.S. and Ramos-Amores, D. (2018), "Ionizing Radiation Measurement Solution in a Hospital Environment", *Sensors* 2018, 18, 510, pp. 1–32
7. Kawatsuma, S., Fukushima, M., Okada, T. (2012), "Emergency response by robots to Fukushima-Daiichi accident: summary and lessons learned", *Industrial Robot: An International Journal*, Vol. 39, Iss. 5, pp. 428–435.
8. Kawatsuma, S., Mimura, R. and Asama, H. (2017) "Unitization for portability of emergency response surveillance robot system: Experiences and lessons learned from the deployment of the JAEA-3 emergency response robot at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants", *ROBOMECH J.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–7, Feb. 2017
9. Kim, D., Woo, H., Ji, Y., Tamura, Y., Yamashita, A. and Asama, H. (2017), "3D Radiation Imaging Using Mobile Robot Equipped with Radiation Detector", *Proceedings of the 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, Taipei, Taiwan, December 11–14, 2017, pp. 444–449.
10. Lauria, M. et al. (2006), "Design and Control of a Four Steered Wheeled Mobile Robot", *IECON 2006 - 32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics*, Paris, France, 2006, pp. 4020–4025
11. Leite, F.G.H. et al. (2017), "Ionizing Radiation Effects on a COTS LowCost RISC Microcontroller", 2017 18th IEEE Latin American Test Symposium (LATS), pp. 1–4.
12. Nagatani, K. et al. (2013), "Emergency response to the nuclear accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants using mobile rescue robots", *J. Field Robot*, vol. 30, no. 1, pp. 44–63, Jan./Feb. 2013.
13. Seco, J., Clasio, B. and Partridge, M. (2014), "Review on the characteristics of radiation detectors for dosimetry and imaging", *Physics in Medicine and Biology* 59(20), pp. R303–R347
14. Semkova et al. (2018), "Charged particles radiation measurements with Liulin-MO dosimeter of FRENDO instrument aboard ExoMars Trace Gas Orbiter during the transit and in high elliptic Mars orbit", *Icarus* 303 (2018), pp. 53–66.
15. Shrivastava, S., Henry, R. (2009), "Process Simulation and Analysis for PIN Detector", *IEEE Circuits and Systems International Conference on Testing and Diagnosis, ICTD*, 28-29 April 2009, pp. 1–4
16. Zakaria, A.H., Mustafah, Y. M., Abdullah, J., Khair, N. and Abdullah, T. (2016), "Development of Autonomous Radiation Mapping Robot", 2016 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, IRIS 2016, 17-20 December 2016, Tokyo, Japan, pp. 81–86.

BRIGHTNESS VARIABILITY AT DIFFERENT SCALES OF DETECTION IN THREE BINARY STAR SYSTEMS

Daniela Boneva

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

Keywords: Stars: Binary stars; Stars: cataclysmic variables; Stars: symbiotic binaries

Abstract: We present a periodic and quasi-periodic variability in brightness of three binary stars: MV Lyr (Lyrae), ER Del (Delphinus) and FU Ori (Orion).

The brightening events occur both at different time- and amplitude- scales in the magnitude. According to this, we define the events' types as flickering and flares. On the base of the observational data, we calculate the color indices during the nights of the three objects high states. Using the B-V index, the color temperatures are calculated. The results show, the color in the selected observational intervals of MV Lyr and ER Del is rather red and the corresponding objects' temperatures are not very high.

We compare the properties of the brightness variability events for the three objects. We conclude that it partially depends on the physical nature of the each of the objects, due to their different types of stars.

ПРОМЕНЛИВОСТИ В БЛЯСЪКА ПРИ РАЗЛИЧНИ СКАЛИ НА ОЦЕНКА В ТРИ ДВОЙНИ ЗВЕЗДНИ СИСТЕМИ

Даниела Бонева

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

Ключови думи: Звезди: Двойни звезди; Звезди: симбиотични; Променливости в блясъка

Резюме: В тази статия ние представяме периодична и квазипериодична променливост в яркостта на три двойни звезди: MV Lyr (Lyrae), ER Del (Delphinus) и FU Ori (Orion).

Промените в блясъка се случват както в различни времеви, така и в амплитудни скали. Според това, ние дефинираме типовете на събитията като просветвания и изхвърляния. Въз основа на данните от наблюденията, ние изчисляваме цветовите индекси по време на високите състояния на трите обекта. С помощта на индекса B-V се изчисляват цветовите температури. Резултатите показват, че цветът в избраните интервали на наблюдение на MV Lyr и ER Del е по-скоро червен и температурите на съответните обекти не са много високи.

Ние сравняваме свойствата на промените в яркостта за трите обекта и правим извод, че те зависят от физическите характеристики на всеки от обектите, произтичащи от различните типове на изследваните звезди.

Introduction

1. The problem

Brightness variations are usually associated with fluctuations in a light curve that appeared in numerous variable stars. These variations are characterized with amplitude of a few 0.1 to 5 and more magnitudes on different time-scales from seconds to days. In depends on these characteristics, they could be delimited as flickerings, flares, bursts, outbursts.

The flickering and flares are known as small-scale amplitude events, of 0.01 to 1 mag (Warner (1995) and Babbista & Bortoletto (2004)). They usually appeared in type of binaries as cataclysmic variables (CVs), supersoft X-ray binaries, and symbiotic stars (Sokoloski 2003). The higher amplitude

fluctuations of the bursts and outbursts, >2 mag, have been detected in various of objects, as well (Warner 1995, Bisikalo et al. 2003).

The study of various types of brightness variation is important. The results give an information needed for further calculation of luminosity, stellar masses, radii and temperatures.

2. Targets' details

For the purpose of this paper, the objects of different types are selected. In this subsection, we give some details of MV Lyr (Lyrae), ER Del (Delphinus) and FU Ori (Orion).

MV Lyr is a member of VY Scl subclass of Nova-likes stars (NLs). It exhibits a high rate of accretion with existence of hot white dwarf ($\approx 50000\text{K}$). MV Lyr has an orbital period of $P = 3.19\text{hr}$ and a mass ratio of $q = 0.4$ (Skillman et al. 1995). The system inclination is found to be in a range: $i = 10 \div 13^\circ$. Short-periods drops in brightness are observed, as MV Lyr displays "quasi-orbital" light variations. The typical time scale of the observed fast quasi-periodic oscillations is approximately tens of minutes.

ER Del belong to the Symbiotic variables of the Z Andromedae type. They are known as close binaries that consist a hot star primary star, usually a white dwarf and a red giant secondary star. Their combined brightness displays irregular variations with amplitudes up to 4 mag. in V. For ER Del, it is found that its cool companion is a giant of S5.5/2.5 spectral class (Ake 1979). The estimated effective temperature of ER Del is $T_{\text{eff}} \approx 3470 - 3500\text{ K}$ (Boffin et al. 2014). The spectrum bands indicate for mass transfer from the red giant companion (Van Eck & Jorissen 1999). The ER Del orbital period is ≈ 2089 days and its eccentricity is $e \approx 0.17 - 0.22$ (Jorissen et al. 2012, Boffin et al, 2014).

The third object FU Ori is a variable young stellar object, which belongs to type of FU Orionis, a class with exceptional increases in optical brightness within 5 magnitudes or more (Herbig 1977). These occasional sudden increases in their brightness (Hartmann & Kenyon 1996) could be caused by the variability in the accretion rate. The mass of the FU Ori's primary star is calculated to be $M_1 = 1.1M_\odot$ (Solar masses) and the mass of the FU Ori itself $M_2 = 0.5M_\odot$ (Hartmann & Kenyon 1996). The FU Ori discs are found to be quite massive and compact (Liu et al. 2018), about 10 – 20 of the stellar masses and radii of tens of AU (Astronomical unit). The disc inclination angle $i = 55^\circ$.

In this paper we aim to compare the variability in brightness of the three described above binary stars. In section Results: observational data of the three objects are presented; color indices and the temperatures are calculated. For the purpose of this paper, we use data from AAVSO (American Association of the Variable Star Observers).

Results

1. Observational data and light curves

MV Lyr: The observational period of a year and a half, from 2011/03/29 to 2012/11/18 (fig.1a), was chosen according to the active state period during the long time of brightness variability. The light curve in figure 1 indicates the transition between the low and high state, as the magnitude increases with 3.5 – 5 in V, in ≈ 8 months: 2011/09/15 – 2012/05/02. To track the small amplitude variations in the magnitude, we select one night during the high state of this period (fig.1b). The non-periodic variations in brightness with 0.15 – 0.3 mag in the frame of 40 – 90 min are probably a manifestation of flickering.

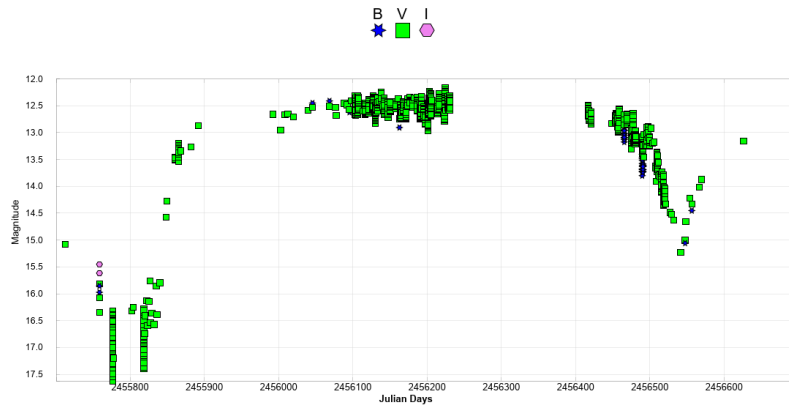


Fig. 1. Light curve of MV Lyr in B and V bands: Observational period: 2011/03/29 - 2012/11/18. (AAVSO data, Observers' Codes WGR, PVEA, LMJ.)

The variations in the light curve, zoomed from the later period of fig. 1a, when the brightness starts to decrease are represented in Figure 1c. Here, we see the difference in data in B and V bands.

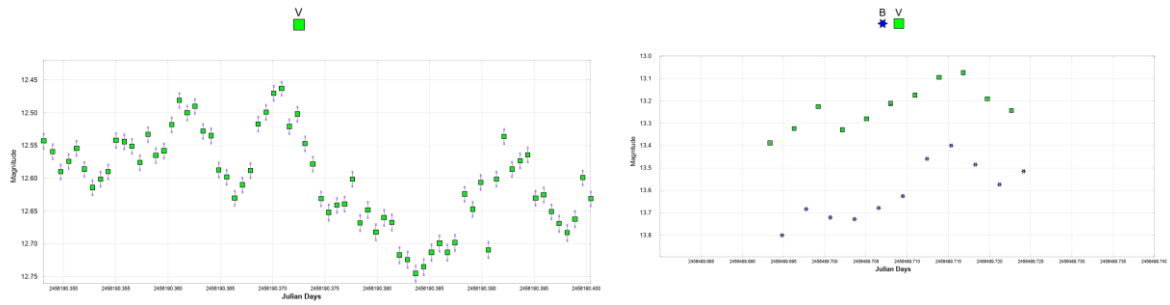


Fig. 1b (left). Light curve of MV Lyr. A close up view of the figure 1a. The figure shows the brightness variability in one night, in V band. Observational period: UTC 2012/09/19 20:21:16 - 2012/09/19 21:36:37 (AAVSO data, Observer's Code ATE.). Fig. 1c (right). Light curve of MV Lyr in B and V bands. The figure shows brightness variations in B and V bands during one night. (AAVSO data, Observer's Code ATE).

The brightness of ER Del changes with up to 0.5 mag in a frame of three months, during the chosen observational period of \approx four years: 2016/07/30 to 2020/05/30 (fig. 2).

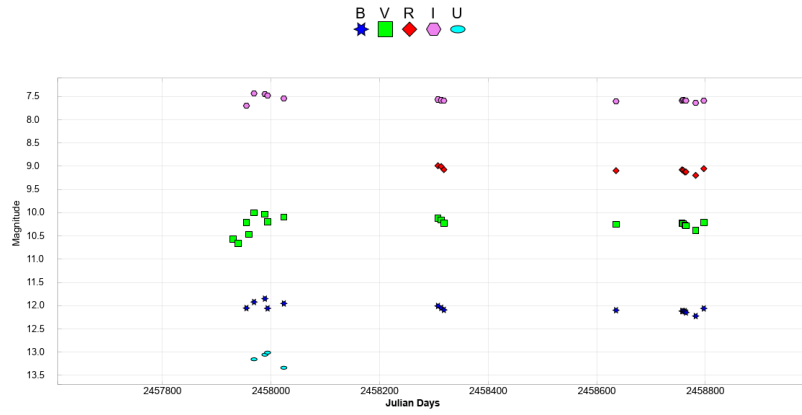


Fig. 2. Light curve of ER Del in UBVR bands. Three months variability: JD 2457920 – 2458040. The entire observational period: 2016/07/30 to 2020/05/30. (AAVSO data, Observer's Code GCO, SRIC, AAUA.)

FU Ori: The time scales of the FU Ori's irregular variability are much larger. The small amplitude variability duration is less than a year, while the outbursts could prolong from ten to hundreds of years. The rise time of the outburst is from year to ten years.

It is difficult to track-out the so long observational period. The selected observational period is \approx 3 years. We suggest the light curve of FU Ori (fig. 3) is mostly likely an exhibition of a small-amplitude variability in the magnitude during its outburst state.

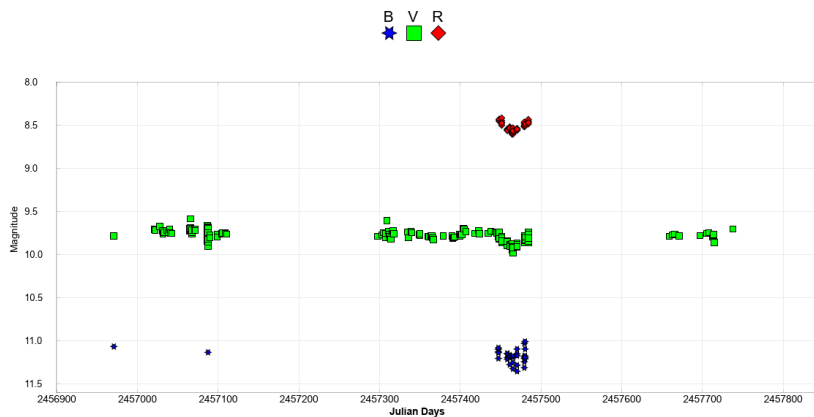


Fig. 3a. Light curve of FU Ori. Variations in BVR bands. Observational period: 2014/07/11 to 2017/04/06. (AAVSO data, Observer's Codes DKS, DUBF, HBB, SAH)

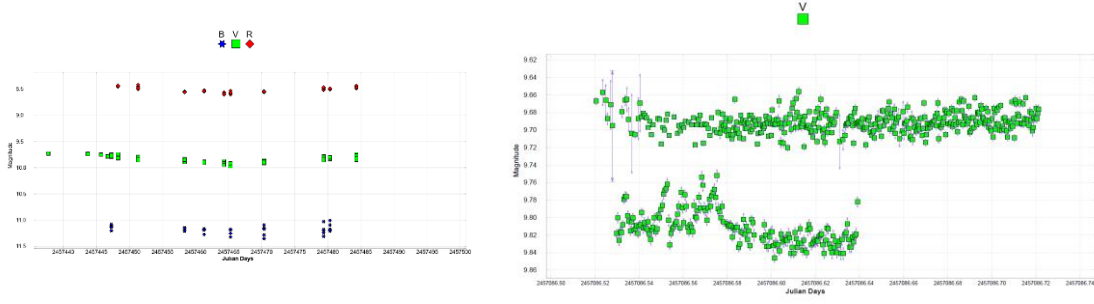


Fig. 3b (left). Light curve of FU Ori. A close up view of the variations in BVR bands. Observational period: 2016-02-21 12:00 - 2016-04-16 12:00 UTC. Fig. 3b (right). Light curve of FU Ori. A close up view of the variations in V bands. Observational time during the night: 2015/03/05 00:28 – 2015/03/05 05:45 UTC. (AAVSO data, Observer's Codes DKS, DUBF, HBB, SAH)

Figures 3b and 3c present the much extended time scale the shorter periods of the whole observational period of fig.3a. We can see in detail the brightness variations of FU Ori in intervals of two months (fig.1b) and five hours (fig.1c). Figure 3b clearly shows short-period variability with small-amplitude variations in V, with ~ 0.05 to 0.1 mag. They appear to be quasi-periodic variations.

2. Color index and temperature

The observational data in B and V bands allow us to estimate the color index or the color of the studied objects, for the time of observations. Following the data from previous subsection, we obtain the next values of the B-V index for the three objects.

MV Lyr at high state on JD 2456489.69 (UTC 2013/07/16): $B-V \approx 0.32 \pm 0.005$ at its maximum brightness and $B-V \approx 0.41 \pm 0.005$ at minimum brightness.

ER Del on JD 2457988.87 (UTC 2017/08/23): $B-V \approx 1.92 \pm 0.1$ at maximum brightness; $B-V \approx 1.56 \pm 0.12$ at minimum brightness.

FU Ori on JD: 2457480.31987 (2016/04/01): $B-V \approx 1.21 \pm 0.07$ at its maximum brightness and $B-V \approx 1.37 \pm 0.07$ at minimum brightness. On this date, the color index of FU Ori is slightly larger than zero. The color tends to be reddening.

Using the B-V index, we could estimate the color temperature (Tcol) during the minimum and maximum brightness of the three objects. We use the formula of Ballesteros (2012):

$$T = 4600K \times \frac{1}{(0.92(B - V) + 1.7)} + \frac{1}{(0.92(B - V) + 0.62)}$$

Then, for the color temperature values of the three objects, we obtain:

Tcol (MV Lyr min) = $6827K \pm 0.0006$

Tcol (MV Lyr max) = $7337 K \pm 0.0005$

Tcol (ER Del min) = $3254 K \pm 0.002$

Tcol (ER Del max) = $3705 K \pm 0.0009$

The color temperature of ER Del, obtained in our calculation is very close to the value, in a range of the effective temperature ($T_{\text{eff}} = 3500K \pm 160$), obtained in (Boffin et al. 2014).

Tcol (FU Ori min) = $4000 K \pm 0.0006$

Tcol (FU Ori max) = $4289 K \pm 0.0006$

The obtained temperature of FU Ori is lower than the expected one. A reason of this result could be found in the possible source. Another explanation is the insufficient amount of data that we have, which leads to the larger value of the error in the estimation.

The dates of the calculated temperatures correspond to the dates used in the B-V index estimation. The parameters are listed in the Table 1:

Table 1. Color index and temperature of the three objects: MV Lyr, ER Del, FU Ori.

Object	Parameter	B-V (min) [mag]	B-V (max) [mag]	Tcol (min) [K]	Tcol (max) [K]
MV Lyr		0.41 ± 0.005	0.32 ± 0.005	$6827K \pm 0.0006$	$7337 K \pm 0.0005$
ER Del		1.56 ± 0.12	1.92 ± 0.1	$3254 K \pm 0.002$	$3705 K \pm 0.0009$
FU Ori		1.37 ± 0.07	1.21 ± 0.07	$4000 K \pm 0.0006$	$4289 K \pm 0.0006$

Conclusion

In this paper, we presented a periodic and quasi-periodic variability in brightness of the three binary stars: the Nova-likes star MV Lyr; the symbiotic variable ER Del and the variable young stellar object FU Ori.

Our aim was to distinguish each of the three stars in the way their light curves exhibit.

The brightening events occur both at different time- and amplitude- scales in the magnitude. In depend on this, we defined the events as flickering and flares.

The different observational periods of the three objects are considered in accordance with their activity states. The dissimilarity in the manifestation of their brightness variability is coming from the physical properties due to the objects' classes and types.

On the base of the observational data, we calculated the color indices during the nights of the three objects high states. Using the B-V index the color temperatures are calculated. The results show the color in the selected observational intervals is rather red and the corresponding objects' temperatures are not very high.

Acknowledgements: The authors thank the AAVSO (American Association of Variable Star Observers) for providing the data of Light Curve Generator, contributed by observers worldwide and used in this research. This work is partially supported by the grant KP-06-H28/2 08.12.2018 (Bulgarian National Science Fund).

References:

1. Ake, T. B., 1979, ApJ, 234, 538
2. Baptista, R., A. Bortoletto, 2004, ApJ, 128, 1, 411–425
3. Ballesteros, F. J. 2012, EPL, 97, 34008.
4. Berio, P., Ph. Stee, F. Vakili, D. Mourard, D. Bonneau, O. Chesneau, N. Thureau, D. Le Mignant, R. Hirata, A&A, 1999, 345, 203–210
5. Bisikalo, D. V., A. A. Boyarchuk, P.V. Kaigorodov, O.A. Kuznetsov, 2003, Astron. Rep., 47, 809
6. Boffin, H. M. J., M. Hillen, J. P. Berger, A. Jorissen, N. Blind, J. B. Le Bouquin, J. Mikołajewska and B. Lazareff, A&A 564, A1 (2014)
7. Hartmann, L., S. J. Kenyon, 1996, ARAA, 34, 207–240
8. Herbig, G. H., 1977, ApJ, 217, p. 693–71
9. Jorissen, A., S. Van Eck, T. Dermine, H. Van Winckel, N. Gorlova, 2012, Baltic Astronomy, 21, 39
10. Liu, H. B., Dunham M. M., Pascucci I., et al., 2018, A& A, 612, A54
11. Skillman, D. R., J. Patterson, J. R. Thorstensen, 1995, PASP, 107, 545
12. Sokoloski, J. L., JAAVSO, V. 31, 2003
13. Van Eck, S., A. Jorissen, A & A, 345, 127–136 (1999)
14. Warner, B., 1995, Cataclysmic Variable Stars, Cambridge Univ. Press, Cambridge
15. Zhu, Z., L. Hartmann, N. Calvet, J. Hernandez, J. Muzerolle, A.K. Tannirkulam, 2007, ApJ, 669, 483

КОНЦЕПЦИЯТА НА ФУНДАМЕНТАЛНА АДВЕКЦИЯ – ОБЕКТИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ ВЪВ РЕЛАТИВИЗМА И КОСМОЛОГИЯТА

Красимира Янкова

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

Ключови думи: адвекция; релативизъм; космология

Резюме: Разгръщаме концепцията на фундаментална адвекция (ФА) във водещите направления от съвременната теоретична физика. Разглеждаме широко аспектите на развитие на адвективния механизъм, като разшириме полето на нашите проучвания и разпростряхме действието на механизма за да проследим възможните типове връзки, които се изграждат в процеса на еволюция на локално и глобално ниво. Определяме Каскадността, като главният носещ елемент на адвекцията, която е и в основата на нейната самоиндукция.

THE FUNDAMENTAL ADVECTION CONCEPTION – OBJECTS OF A RESEARCH IN THE RELATIVITY AND COSMOLOGY

Krasimira Yankova

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

Keywords: advection; relativism; cosmology

Abstract: We develop the concept of fundamental advection (FA) in the leading directions of modern theoretical physics. We look broadly at aspects of development, expanding the scope of our research and extending the mechanism action to trace the possible types of relationships that are built in the process of evolution locally and globally. We define Cascade as the main supporting element of advection, which is also the basis of its self-induction.

1. Въведение

Въз основа на наша разработка в теорията на акреция Янкова [2-12] установихме нова по комплексна и универсална форма на адвекция. В процеса на изследване получихме и основните аргументи за да поставим въпроса за фундаментален характер на механизма.

От изследванията си на фундаментална адвекция в различните направления на физиката до момента, установихме и общ признак в поведението на механизма. Навсякъде адвекцията проявява каскадност и формира каскади в средата.

2. Каскадност

Каскадността е носещ елемент на адвекция по всички нива:

1. Примките на МП в диска [5, 11, 12];
2. При квантова адвекция амплитудите на мрежовите вълни, които възникват се развиват в каскади хармоники;
3. Дърветата локални мултиверси и техните филизи в космологията [15, 16].

Адвекцията води до каскадност, а каскадите включват обратните връзки на механизма. ОВ провокират отговор, който не позволява затихване на нелинейните подкачки в процесите и така гарантират самоиндукцията на адвекция.

3. Концепция

Адвекцията пренася свойствата на средата от една област в друга. Измества формациите – всички смущения и структури без изменения в тях. По същество адвекцията е термо-динамичен механизъм, но от съществено значение за неговото проявление е при каква ТД се развива.

3.1. Адвекция в класическата физика

Тук адвекцията е свързана с топлинната стабилност на средата – флуида. И по специално с мрежовото охлаждане в него. От друга страна охлаждането е пряко свързано с градиента на ентропията. Ентропията е мярка за качественото охлаждане на флуида. Отрицателната ентропия създава условия за поглъщане на свободната енергия от неустойчивостите в него и води до ново състояние чрез необратим преход. Появяват се множество и различни по размер и ориентация структури в потока и те проявяват каскадно поведение. Размерите им нарастват за сметка на придобитото от енергийния излишък в околната среда. Тези формации контролират физическите параметри и преразпределението на енергията – стимулират обраните връзки и естествено усилват ефектите на нагряване. Така градиентът на ентропията не просто става отрицателен, но поддържа тенденцията да остане отрицателен. Това осигурява топлинната подкачка от нелинейни взаимодействия, необходима да поддържа адвекцията в режим на самоиндукция.

3.2. Адвекцията на квантово ниво

Квантовата адвекция е свързана със спина на частиците. Когато възникне адвективно изместване, то се развива във безстепенни взаимодействия от типа близки съседи и адвекцията има характер на мрежови флуктуации.

3.3. Адвекция в въве релативизма и космологията

Като част от метриката [13] адвекцията е ориентирана към или от формацията която я генерира. Затова е необходимо върху метриката на Вселената да се наложи тази на генериращата структура. Най-вероятни такива са квазарите. Те са подходящо разпределени по време и пространство. Освен това е относително коректно да се считат за достатъчно изолирани за удобството на изследването.

4. Постановка на задачата – връзки с допълнителните измерения

Стартираме от:

$$(1) \quad g_0 = \sum_1^3 dx_i - \sum_1^2 d\tau_j - \text{метриката на многообразието, } j = T^{\parallel}, T^{\perp}; \text{ където } T^{\parallel} = \sum t_m, m=1,2,3$$

е времеви триплет синхронизиран с пространствения триплет в алтернативата (нашата Вселена), а $T^{\perp} = \sum t_n$, $n=k-3$ са всички останали времеви компоненти включени или не в многообразието.

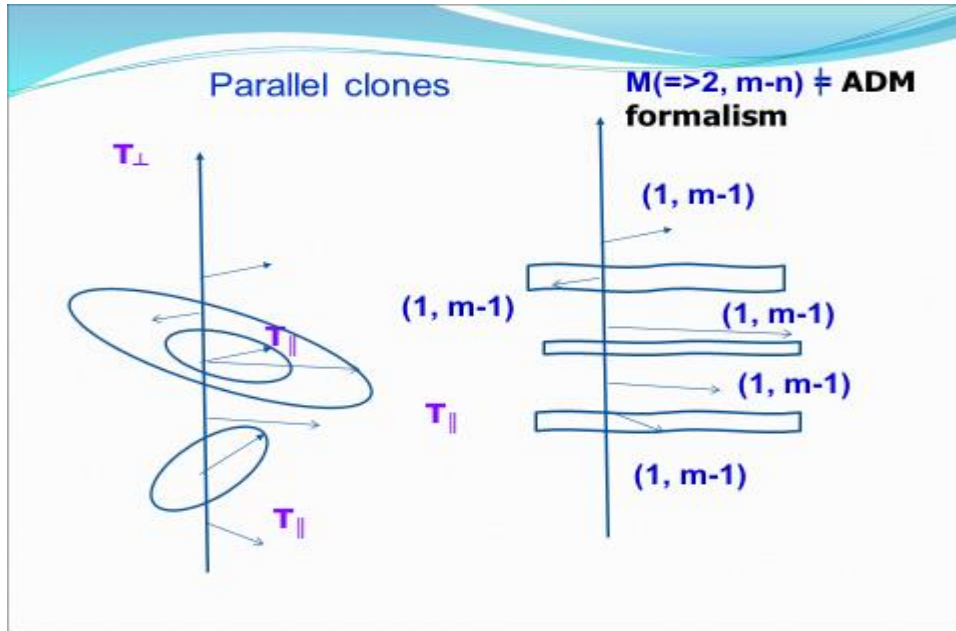
(2) $\eta_{ij} = \{-, -, +, +, +\}$ – за локалната метрика на нашата Вселената, която е метрика на първичен клон [14], ще приемем най-простото решение със сигнатура на Минковски. В него всички времеви измерения са плоски [1]. Това означава само, че в близките времеви околности на първичния клон измеренията по време са плоски, но не поставя ограничение върху формата им отвъд тези околности.

Енергийно-импулсния тензор придобива нови компоненти привнесени от допълнителните измерения: в сферично-симетричната наложена метрика при звезда или компактен обект; а също в по-опростената метрика на придружаващи структури на двойния фон, като диска в квазара например, и други.

$$(3) \quad \begin{pmatrix} g_{0||} & 0 & g_{||r} & g_{||\varphi} & 0 \\ 0 & g_{0\perp} & g_{\perp r} & g_{\perp\varphi} & g_{\perp\theta} \\ g_{||r} & g_{\perp r} & g_{rr} & 0 & 0 \\ g_{||\varphi} & g_{\perp\varphi} & 0 & g_{\varphi\varphi} & 0 \\ 0 & g_{\perp\theta} & 0 & 0 & g_{\theta\theta} \end{pmatrix} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \begin{pmatrix} g_{0||} & 0 & g_{||r} & g_{||\varphi} & 0 \\ 0 & g_{0\perp} & g_{\perp r} & 0 & 0 \\ g_{||r} & g_{\perp r} & 1 & 0 & 0 \\ g_{||\varphi} & 0 & 0 & g_{\varphi\varphi} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$g_{0||} = \{g_{0r} \dots g_{0\theta}\}$ – компонента, произхожда от времевия триплет, който задава генералната посока или стрелата на времето в алтернативата, (фиг.1). Времето в нашата Вселена е еднопосочно, но не е едномерно. Въпреки това може да се разглежда като такова в изчисленията, понеже стрелата на времето генерира постоянна посока на фона на останалите измерения [14].

Допълнителното времево измерение има отношение към цялостната еволюция на многообразието, следователно в конкретна алтернатива със собствена обща посока t , неговото въздействие може да бъде редуцирано до $t \pm \equiv 0$. Освен това радиалното изместване на метриката (компонента $g_{||r}$) в синхронното време е значително само в ергосферата. Следователно за диска и неговите адвективни пръстени, фоновата метрика на въртяща се свръхмасивна черна дупка може да бъде редуцирана до (3.2). Това обаче не е достатъчно за адвективния винт, който се развива в многообразието. Тогава се изисква пълната форма на насложената метрика (3.1), като се включва и метриката на първичният клон.



Фиг. 1. Схематично дърво на локален мултиверс

$$(4) \quad g_{t||r} \dot{t}_{||} + g_{t||r} \dot{r} + g_{t||\varphi} \dot{\varphi} = -\varepsilon$$

$$(5) \quad g_{t||\varphi} \dot{t}_{||} + g_{t\perp r} \dot{t}_{\perp} + g_{\varphi\varphi} \dot{\varphi} = l$$

Тогава l и ε са първите интеграли, свързани с двете циклични компоненти, които имаме: пространствената ъглова координата и времевата синхронизирана със стрелата. Допълнителното измерение затруднява намирането на пълен набор от първи интеграли. Тензорът на Килинг съществува, но има само два линейно независими компонента, свързани с цикличните координати вътре и извън хоризонта на черната дупка. Вътрешният тензор на Килинг (има размерност на енергия) прилича на първи интеграл, но не е свързан с циклична

координата. По точно T^\perp е периодична координата в многообразието, но периодът ѝ не е регулярен.

$$(6) \quad \left(g_{t\parallel r} \dot{t}_\parallel + g_{t\perp r} \dot{t}_\perp + g_{rr} \dot{r} \right) \dot{r} = \frac{V(r)}{2}$$

$$(7) \quad \Omega = - \frac{(\varepsilon - V(r))g_{t\varphi} + \left(g_{tt} + g_{tr} \dot{r} \right) l}{\varepsilon g_{\varphi\varphi}}$$

$V(r)$ и Ω са съответно ефективният потенциал и ъгловата скорост за частици, движещи се по орбита в екваториалната равнина.

Въпреки редуциите на фона, са необходими по задълбочени разглеждания на връзките с допълнителните измерения.

5. Заключение

За по-нататъшното изследване на проблема са ни необходими повече проучвания. Можем да отбележим обаче следното изключително полезно заключение: адвекцията създава каскади. Каскадността гарантира непрекъснатост на процесите, които изграждат и правите и обратни връзки на механизма. Това е от съществено значение за естеството, потенциала и стабилността на тези връзки, както и как се повлиява трайността на нововъзникналите в средата структури преди да преминат на друго ниво от каскадата.

Литература:

1. Giuseppe Frè P, Gravity, a Geometrical Course I. , 2013
2. Iankova, Krasimira, 2007" Evinces of interaction of flow in disk with magnetic field", Bulg. J. Phys. (2007) vol.34 no.s2 pp. 326–329.
3. Iankova, Kr. D., 2007, "Accretion disk with advection and magnetic field", BG-Ursi School and Workshop on Waves and Turbulence Phenomena in Space Plasmas, BSSPP Proceedings, Series No. 1, pp 143–146.
4. Iankova, Kr. D., 2009, "Stability and evolution of magnetic accretion disk", Publ. Astr. Soc. "Rudjer Bošković", No. 9, 327–333. http://aquila.skyarchive.org/6_SBAC/pdfs/31.pdf;
5. Yankova, Krasimira, 2012, Structure of accretion disk in the presence of magnetic field, Publications of the Astronomical Society "Rudjer Boskovic", vol. 11, pp. 375–383. <http://adsabs.harvard.edu/abs/2012PASRB..11..375Y>
6. Yankova, Kr. D.: 2013, Generation and development of the disk corona, Proceedings of the VIII Serbian Bulgarian Astronomical Conference (VIII SBAC), Publ. Astron. Soc. "Rudjer Bošković" vol. 12, 375–381. http://wfpdb.org/ftp/8_SBAC_D1/pdfs/34.pdf
7. Yankova, K., Filipov L., Boneva D., Gotchev D., 2014, Nonlinear physical processes of accretion flows - results and developments, BgAJ, Volume 21, p.74.
8. Yankova, Kr., 2014, Theoretical analysis on the development in relationships of the system disk – corona, Proceedings SES 2014, ISSN 1313-3888, 35–40, 2015.
9. Yankova, Kr.: 2015a, MHD of accretion-disk flows, BgAJ, Vol. 22, p. 83. <http://adsabs.harvard.edu/abs/2015BIAJ..22...83Y>
10. Yankova, Kr.: 2015b, Behaviour of the flow on the boundary in the system disk-corona, Proceedings of the IX Bulgarian-Serbian Astronomical Conference: Astroinformatics (IX BSACA), Publ. Astron. Soc. "Rudjer Bošković" No 15, 2015, 107–115.
11. Yankova, Kr., 2015c, Proceedings SES 2014, ISSN 1313-3888, 35–40.
12. Yankova, Kr.: 2015d, Proceedings Seventh Workshop 'Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere', Edited by K. Georgieva, B. Kirov and D. Danov. ISSN 2367-7570, pp. 25–28.
13. Yankova, Kr., 2017, Proceedings SES 2017, ISSN 1313-3888, 85–88.
14. Yankova, Kr., 2018, Proceedings SES 2018, ISSN 1313-3888, 85–89.
15. Yankova, Kr., 2019, Proceedings SES 2019, ISSN 1313-3888, 62–65.
16. Yankova, Kr., 2020, Proceedings SES 2020, ISSN 1313-3888, 81–83.

DEVELOPMENT OF TOOLS FOR COMPUTER MODELING AND SIMULATION OF SATELLITE ENERGY SUBSYSTEM FUNCTIONING

Atanas Atanasov¹, Lilia Atanasova²

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²Medical University – Sofia

e-mail: At_M_Atanasov@yahoo.com

Keywords: space mission analysis and design, multi-satellite systems, satellite energy systems, models, computer simulation

Abstract: Dialogue tools have been developed to create models of satellite energy subsystems. These tools are aimed at multi-satellite systems modelling and simulation. When compiling a model of an energy system, it is linked to the model of a system of satellites. At this stage, an energy system includes a system of solar panels and batteries. One model can be applied to all satellites in the system; it is possible to create a different model for each satellite.

The main attributes, with which models of the panels and batteries of an energy subsystem and their interfaces with other models, as part of the architecture of a system for simulation of multi-satellite systems, are presented. A descriptor of the model of energy systems is considered. Each current descriptor is stored in an array of descriptors. When compiling simulation models, different multi-satellite systems can be created, each with its own system of energy subsystems. After entering the panels and batteries model attribute values, a functional processor is created to simulate the operation of the energy systems of the satellites. A separate functional processor is created for the power systems of each multi-satellite. Each functional processor is implemented by a different pool of threads. The simulation of the electric power yield from the panels and the charging of the batteries is performed with a specific command of the functional processor.

Examples of computer simulation of the operation of satellite panels are shown.

РАЗРАБОТКА НА СРЕДСТВА ЗА КОМПЮТЪРНО МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛАЦИЯ НА ФУНКЦИОНИРАНЕТО НА СПЪТНИКОВИ ЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ

Атанас Атанасов¹, Лилия Атанасова²

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

²Медицински университет – София

e-mail: At_M_Atanasov@yahoo.com

Резюме: Разработени са диалогови средства за създаване на модели на спътникови енергийни подсистеми. Те са насочени към мултиспътникови системи. При съставянето на модел на енергийна система той е обвързан с модела на системата от спътници. На този етап една енергийна система включва система от панели и акумулатори. Един модел може да се отнесе към всички спътници от системата, но е възможно да бъде отнесен и само към един от тях.

Разгледан е дескриптор на енергийни системи. Тези дескриптори се записват в различни типове масиви. При съставяне на симулационни модели могат да се създадат различни многоспътникови системи всяка със своя система от енергийни подсистеми. След въвеждане на стойностите на панелите и акумулаторите се създава актуален функционален процесор за симулиране на работата на енергийните системи на спътниците. За енергийните системи на всяка многоспътникова система се създава отделен актуален функционален процесор. Всеки отделен функционален процесор се реализира чрез отделен пул от нишки.

Симулацията на добива на енергия от панелите и зареждането на акумулаторите се осъществява с подпрограма извиквана от функционалния процесор. Представени са основните атрибути с които се създават модели на панелите и акумулаторите на енергийна система, интерфейсите им с други модели като част от архитектурата на система за симулация на многоспътникови системи.

Показани са примери от компютърна симулация на функционирането на спътникови панели.

Introduction

With the development of space technology, the possibility of saturating outer space with multi-satellite systems is becoming a reality. Concepts based on different classes of satellites (mini, nano-, pico-, femto-, chip) are under development [1–4].

The satellite equipment is determined according to tasks to be solved. In all cases, it is necessary to have an energy system that must meet the needs of the used service systems and scientific-applied tools. The application of computer simulation programs is a powerful tool for optimizing the subsystems of individual satellites and multi-satellite systems. Particular attention is paid to the capacity and reliability of energy systems for the successful implementation of satellite missions.

Development of tools for a definition of satellite energy system models and calculation instruments are under development at Space Research and Technology Institute at the Bulgarian Academy of Sciences.

Previous work

The development of a software system for space mission simulations was initiated [5]. Initially, it included tools for defining models of the motion of the multi-satellite systems and an integrator of equations of motion [6]. In addition, tools have also been developed to describe the definition of situational tasks and to determine the time intervals in which various orbital events take place (based on specific parameters and constraints). The developed parallel processor for situational analysis includes computational models for different situational conditions [7]. Models and computing tools have also been developed to visualize 3D scenes involving the Earth and satellite systems [8]. Other tools, useful in developing multiphysics simulation applications, have also been developed [9, 10].

Statement of the problem

Different variants of energy systems are known depending on the energy source and the means for its accumulation [11–13]. Here we will consider the case of solar panels and rechargeable batteries. Solar panels transform solar energy into electricity in the illuminated part of the orbit. Some of this

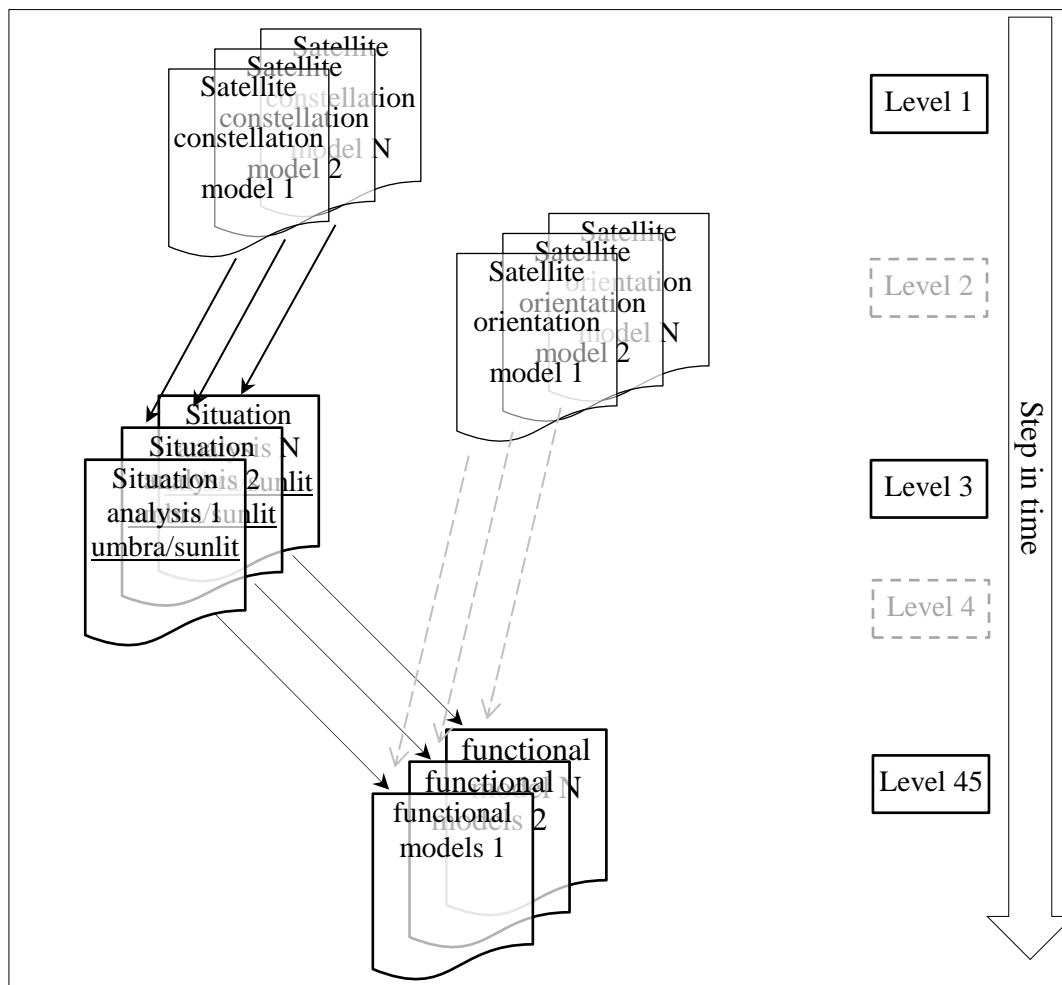


Fig. 1. Developed models, distributed by levels, with connections between them, are shown

energy is consumed by the satellite service subsystems. Another part of the energy is used by scientific instruments, depending on the type and way of their work and the scientific tasks related to specific orbital events, which are subject to situational analysis. The rest of the generated energy charges rechargeable batteries.

Simulating a satellite power subsystem is not a stand-alone task. It is performed together with tasks such as simulation of the orbital motion of the satellite and its orientation and situational analysis to determine the conditions for the operation of the energy subsystem. These conditions are related to the positioning of the satellite in the illuminated part of the orbit or in the umbra, as well as specific conditions for conducting measurements when instruments consume energy.

At this stage, the task is simplified, as we do not deal with the orientation of the satellites, respectively the solar panels. This task is generally easy to solve, depending on the specific design of the satellite and the structural configuration of its main elements. The focus is mainly on developing an interface between some models of the satellite orbital dynamics, the situational analysis and the energy system, within a multiphysics simulation system. Figure 1 illustrates the connections between these models.

Development of tools for modelling of satellite solar arrays and batteries

The model of an energy system based on solar panels and batteries is drawn up in a dialogue form, which includes controls for entering the values of various attributes. The solar array model includes some attributes as the number of the panels of solar array, area of the solar panels and efficiency. A possibility to choose a law of ageing as a result of the hostile space environment (charged particles, vacuum, electro-discharging) is insured.

The model of a battery comprises the next set of parameters: number of modules, maximal capacity, lower and upper voltage limits (depth of discharge), charging mode, the maximal number of cycles and ageing model. Ageing of the battery is a result of the hostile space environment. The developed dialogue tools provide an opportunity to choose when defining the parameters of both models – of the panels and the batteries, whether to apply them to one satellite or to the entire constellation.

The creation of an energy system model begins with choosing a satellite mission model. The names of the already created missions are taken from their descriptors. These descriptors are located in an array whose address is in named common area **c_IVPs** (/c_IVPs/num_IVPs,IVPs_descriptor_adr).

The descriptor of the selected mission must contain the number of the situational descriptor if models for situational tasks have been created in advance. The identification number of the situational task that checks if the satellite is on the illuminated part of the trajectory or in the umbra is established and stored.

After entering values of the various attributes of the energy system model, parameters of the computational tool with which simulation of the functioning of the energy system is performed are also entered. This is how it is created a pool of NumThreads threads with a subroutine for creating pools [14]. The instrument descriptor is written to an array of the descriptors (Fig. 2a).

Fig. 2a shows the creation of an actual calculation instrument. In the first place, a memory for different parameters of the pool is allocated by procedure MALLOC. The variables containing these parameters are saved in one array of the storage. The subroutine SolarArray_SimulatorUPC is an initial subroutine for the calculation instrument. It is a buffer subroutine used to transmit data to the threads of the computational tool.

Fig. 2b shows the descriptor of the energy system. It is used by the interpreter of the simulation model. With the help of some of the parameters of this descriptor, a call to the functional processor is made, which simulates the functioning of the energy system. Figure 2c shows the ES_Payload descriptor of the power system for starting the simulation from the simulation control subroutine. For this purpose, this descriptor is added to other descriptors of level "level__45". This is done with the "ad_object" subroutine. The energy system descriptor contains the name and the serial number of, the descriptor of the multi-satellite system (among the recorded objects for "level__45") as well as data addresses. Thus, a connection is made between the different models within a multiphysics simulation model (Fig. 1).

Fig. 2d show the second type descriptor payload_descriptor, which serves for transferring information toward actual simulator threads using named common area /c_payloads/. This common area is contained in the buffer subroutine SolarArray_SimulatorUPC.

Each simulation model may include one or more multi-satellite systems. A model of the energy subsystem is created for each satellite in one system. The energy systems of a multi-satellite system may be the same or a specific one may be defined for each individual satellite.

```

External          SolarArray_SimulatorUPC
POINTER(PoolParam_adr,ES_pool_par);  POINTER(ES_handler_adr,ES_handler);
...
memory= MALLOC(4*4*NumThreads+4+4)
ES_GlbCount_adr= memory;  !
ES_handler_adr = memory + 4;
PoolParam_adr = memory + 8; !

CALL CreatePoolThreads(SolarArray_SimulatorUPC,NumThreads,ES_pool_par,ES_handler);

a).

AS_pool_par%AI%num_threads = NumThreads      ! num_threads
AS_pool_par%AI% ha_race     = ES_handler_adr  ! handler for cinchronization
AS_pool_par%AI%counter_adr  = ES_GlbCount_adr ! global counter of the pool
AS_pool_par%AI%thread_par_adr= PoolParam_adr  ! parametrs of the pool
AS_pool_par%AI%granulation  = Granularity;    ! granularity

CALL add_object(num_Als,AIs_descriptor_adr,AIs_descriptor_adr,AS_pool_par)

(b).

type level_45 ! Description of satellite subsystems & payload
integer kind_payload
character name*28
integer IVP_index ! connection to IVP - this is base object
integer AS_index ! (A)ctual(S)olver of (E)nergy(s)ystem
integer adr_panels
integer adr_battery
end type level_45
type(level_45) ES_Payload
...
ES_Payload%kind_Payload= 2 ! 1 - for (E)nergy(S)ystem
ES_Payload%name = IVP_par(kod_IVP)%name ! take the name of IVP
ES_Payload%IVP_index = kod_IVP ! number of IVP - for coordinates of satellites
ES_Payload% AS_index = num_Als ! parametrite na solvera - za upravljenieto mu
ES_Payload%adr_panels = adr_panels; ES_Payload%adr_battery = adr_battery
CALL add_object(num_payloads,Payload_descriptor_adr = ES_payload_adr, &
Payload_descriptor_adr_new= ES_payload_adr, &
Level__45= ES_Payload)

(c).

common /c_payloads/num_payload,payload_descriptor_addr

payload_descriptor% kind_payload = 2 ! 2 for (E)nergy(S)ystem
payload_descriptor% t_adr = IVP_par(kod_IVP)%IVP% t_adr !
payload_descriptor% dt_adr = IVP_par(kod_IVP)%IVP% dt_adr !
payload_descriptor% num_sat = IVP_par(kod_IVP)%IVP%num_objects !
payload_descriptor% xvn_adr = IVP_par(kod_IVP)%IVP%xvn_adr !
payload_descriptor% xvk_adr = IVP_par(kod_IVP)%IVP%xvk_adr !
payload_descriptor% num_sit_tsk = StPrb(iSitProb)%SitProb%num_sci_task
payload_descriptor% max_num_con= StPrb(iSitProb)%SitProb%max_num_sit !
payload_descriptor% sit_task_adr = StPrb(iSitProb)%SitProb%addr_sit_prob
payload_descriptor% panels_adr = adr_panels;
payload_descriptor%batteries_adr = adr_battery
Payload_descriptor_addr = %LOC(Payload_descriptor);

(d).

```

Fig. 2. a). A pool of threads creation; b),c). Assignment values to attributes of the descriptors and adding them to the corresponding layers; d). A descriptor that transmits information to the threads of a functional processor.

Development of processor for functional simulation of satellite subsystems

Parallel calculations are applied when many energy subsystems (corresponding to the number of satellites) are simulated. Earlier developed approach related to other parallel computational tools, used in the program system for space mission simulation, is applied in this case. The "Parallelism across the system" approach is applied. This means that calculations for a single energy subsystem are performed on a separate processor core (physical or logical).

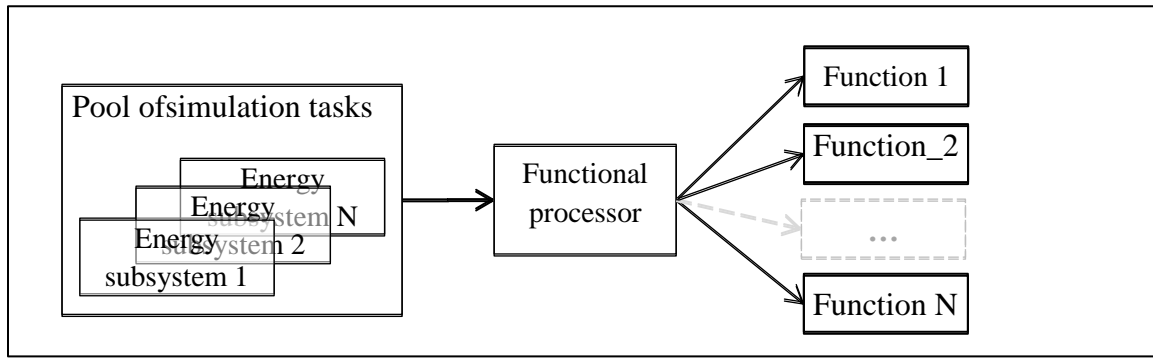


Fig. 3. Schema of the parallel functional processor

Fig. 3 illustrates the simulation of the functioning of different satellite subsystems and sensors. As mentioned above, the functional processor is a pool of threads. The threads are synchronized with each other in order not to process the same tasks (EP) (race condition). The threads are also synchronized with the parent thread, which starts their work and sets the end of the calculations for each step of the simulation time. All developed computational instruments use the same subroutine "Pool_threads_Control_1" for thread management [14].

The functional processor can call various functions (Fig. 4) that simulate the operation of different subsystems. Each of the tasks contains an identification code of the function that the processor calls for simulation.

Examples

The computer simulations are based on a model of satellite circular orbit with a radius 7×10^3 km. The Sun's position is close to the autumnal equinox and ascending node $\Omega = 60^\circ$. The numerical integration of the satellite motion is performed by a step of 10 sec. Passing through the penumbra is neglected due to the short time. Simulations for different inclinations of the orbital plane are shown in Fig. 5.

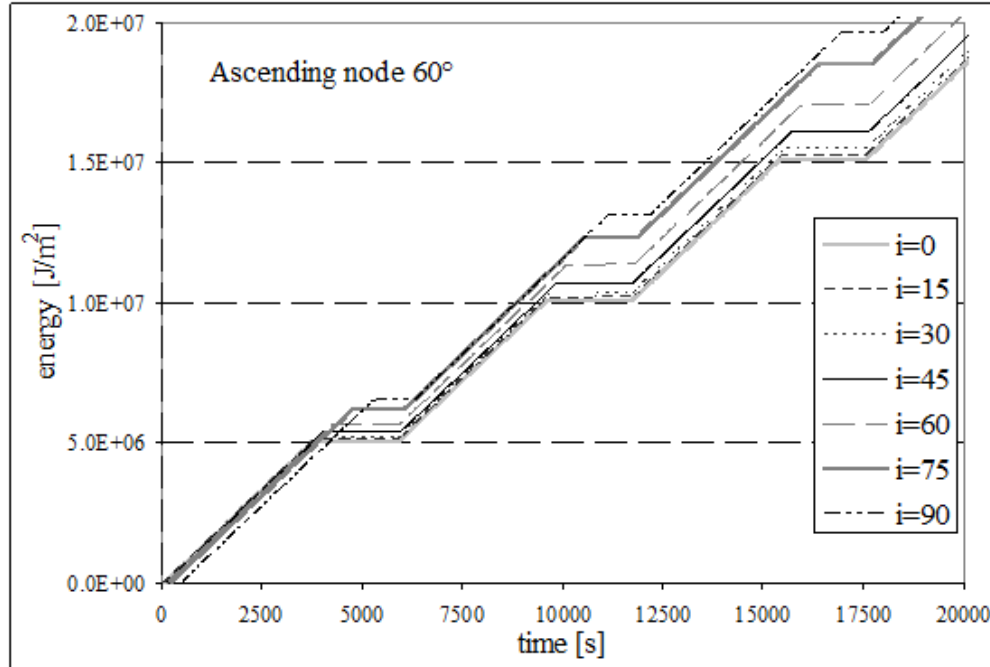


Fig. 5. The solar energy falling on a unit area of the illuminated part of the satellite's orbit, depending on the inclinations

The linear section of the graphics is for the case when the normal to the solar panels is directed towards the sun of the entire illuminated area of the orbit. When the solar panels are firmly attached to the satellite during its reorientation to track targets on the earth's surface, the direction of the normal changes. In this case, the energy produced will also change. The efficiency of the panels also depends on their temperature.

```

SUBROUTINE FuncProcessor_UPC(task_count,payload_descriptor_adr,num_tasks)
USE FuncMod,Only:satellite
    integer task_count
    type(satellite) payload_descriptor
    real*8 t,dt
    logical Func__1,Func__2

    POINTER(payload_descriptor_adr,payload_descriptor)
    POINTER(t_adr,t);POINTER(dt_adr,dt)

    t_adr = payload_descriptor% t_adr;
    dt_adr = payload_descriptor% dt_adr;
    num_sat = payload_descriptor%num_sat

    IF(payload_descriptor%kind_payload.EQ. 1) THEN ! Orientation & stabilization
        icode= func__1(t,dt,task_count,payload_descriptor_adr,num_sat)
    ELSEIF(payload_descriptor%kind_payload.EQ. 2) THEN ! (E)nergy(S)ystem
        icode= func__2(t,dt,task_count,payload_descriptor_adr,num_sat)
    ENDIF

END SUBROUTINE FuncProcessor_UPC

```

(a).

```

FUNCTION func__2(t,dt,task_count,adr_satellite_descriptor,num_sat)
USE FuncMod, ONLY: solar_panels,satellite_battery,satellite
USE RN,ONLY:sit_task
    logical func__2
    integer task_count,adr_payload_descriptor
    real*8 t,dt
    type(sit_task) situation ,sit(2) !(0:max_num_con,num_sit_tasks)
    type( solar_panels) panel,panels(num_sat),panels2(2)
    type(satellite_battery) battery,batteries(num_sat),satellite_battery2(2)

    num_sit_tasks = satellite_descriptor%num_sit_tsk; adr_panels = satellite_descriptor%panels_adr
    max_num_con = satellite_descriptor%max_num_con; adr_batteries= satellite_descriptor%batteries_adr
    i_sit_adr = satellite_descriptor%sit_task_adr

    length_sit = LOC(sit(2)) - LOC(sit(1))
    length_panels = LOC(panels2(2)) - LOC(panels2(1))
    length_battery= LOC(satellite_battery2(2)) - LOC(satellite_battery2(1))

    num_sit_task= panels(task_count)%id_sit_cond
    sit_adr = i_sit_adr + (1+max_num_con)*length_sit*(num_sit_task-1) + length_sit

    IF( situation %sit_cond%flag) THEN
        area_panel = panels(task_count)%size*panels(task_count)%modules
        efficiency = panels(task_count)%efficiency;
        Gen_Energy= efficiency*area_panel*solar_constant
        Gen_current= Gen_Energy/batteries(task_count)%granici(1,batteries(task_count)%komutator1)
        Sol_energy = Sol_energy + solar_constant*dt
        batteries(task_count)%level(batteries(task_count)%komutator1)= &
            batteries(task_count)%level(batteries(task_count)%komutator1) + Gen_Energy*dt
        IF(batteries(task_count)%level(batteries(task_count)%komutator1).GT. &
            batteries(task_count)%capacity(batteries(task_count)%komutator1)*3600.*1000) THEN
            batteries(task_count)%komutator1= batteries(task_count)%komutator1 + 1
            IF(batteries(task_count)%komutator1.GT.batteries(task_count)%modules) THEN
                batteries(task_count)%komutator1= 1
            ENDIF
        ENDIF
    ELSE ! In Earth's shadow

    ENDIF
    func__2=.true.

END FUNCTION func__2 ! Sim_SolarPanels

```

(b).

Fig. 4. a). part of the subroutine, which calls specific functions for simulation of different subsystems functioning;
b). part of the subroutine, which simulates energy system functioning

Conclusion and future work

The concept and development of tools for modelling satellite energy systems and ~~tools for~~ computer simulation of systems from multi-satellite systems are presented.

Further development of the models of stabilization and orientation of the satellites and the solar panels, and the inclusion of appropriate calculations correcting the quantity of solar energy falling on the panels is forthcoming. The task of self-shading of the solar panels from the structural elements of the satellite will also be included. An interesting problem is related to the optimization of the self-shading task.

Reference:

1. Selva, D., A. Golkar, O. Korobova, I. L. I. Cruz, P. Collopy, & O. L. de Weck, Distributed earth satellite systems: What is needed to move forward?. *Journal of Aerospace Information Systems*, 14(8), 2017, pp. 412–438.
2. Barnhart, D. J., T. Vladimirova, & M. N., Sweeting, Very-small-satellite design for distributed space missions. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 44(6), 2007, pp. 1294–1306.
3. Barnhart, D. J., Vladimirova, T., Baker, A. M., & Sweeting, M. N. (2009). A low-cost femtosatellite to enable distributed space missions. *Acta Astronautica*, 64(11-12), 1123–1143.
4. Brown, O., P. Eremenko, & P. Collopy, Value-centric design methodologies for fractionated spacecraft: Progress summary from Phase I of the DARPA System F6 Program. In *AIAA Space 2009 Conference & Exposition*, 2009, p. 6540.
Available on: <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1263&context=smallsat>
5. Atanassov, A. M., Program System for Space Missions Simulation – First Stages of Projecting and Realization. *Proceedings of SES 2012*, 2013, pp. 209–214.
6. Atanassov, A. M., Parallel, adaptive, multi-object trajectory integrator for space simulation applications, *Advances in Space Research*, v. 54, 8, 2014, pp. 1581–1589.
7. Atanassov, A. M., Parallel satellite orbital situational problems solver for space missions design and control, *Advances in Space Research*, v. 58, 9, 2016, pp. 1819–1826.
8. Atanassov, A., Atanasova, L., Development of New Functionalities for a Space Missions Simulation Program System, *Proceedings SES 2019*, 2019, pp. 70–74.
9. Atanassov, A., Method of Thread Management in a Multi-Pool of Threads Environments, *Proceedings of SES*, 2014, 2015, pp. 241–246.
10. Atanassov, A. M., Development Classes of Objects' Descriptors for Space Missions Simulation. *Proceedings SES 2015*, 2016, pp. 51–55.
11. Patel, M. R. *Spacecraft power systems*. CRC press, 2004.
12. Hyder, A. K., Sabripour, S., Flood, D. J., Halpert, G., Wiley, R. L., & Hyder, A. K. *Spacecraft power technologies* (Vol. 1, p. 498). London: Imperial College Press, 2000.
13. Chen, Q., Liu, Z., Zhang, X., & Zhu, L., *Spacecraft Power System Technologies*. Springer Singapore, 2020.
14. Atanasov, A., Razrabotka na metodi, algoritmi i programni sredstva za analiz i proektirane na kosmicheski misii, PhD thesis, 2019 (bul).
15. Atanassov, A. ., Atanassova, L. ., Development of Tools for Models' Design of Systems of Multi-Satellite Systems. *Proceedings SES 2020*, 2020, pp. 110–115.
16. Wertz, J. R., *Orbit & Constellation Design & Management: Spacecraft Orbit and Attitude Systems*. Microcosm Press. 2001

КРИЗАТА В КОСМОЛОГИЯТА И ПРЕОДОЛЯВАНЕТО ѝ

Велко Велков

e-mail: velvel@mail.bg

Ключови думи: криза в космологията, фундамент на физиката, обща физическа теория

Резюме: Докладът е посветен на кризата в космологията като отражение на общото състояние на застой в развитието на физическата наука в познавателно отношение. Разкрива и описва причините за кризата. На базата на проведени от автора изследвания и разработки са предложени подход и насоки за преодоляването ѝ, а с това отправни позиции за изясняването на физическите явления и процеси в единство и изграждането на обща физическа теория.

THE CRISIS IN THE COSMOLOGY AND ITS OVERCOMING

Velko Velkov

e-mail: velvel@mail.bg

Key words: crisis in cosmology, fundament of physics, general physical theory

Abstract: The report is dedicated to the crisis in the cosmology as a reflection of the general state of stagnation in the development of physical science in cognitive terms. Reveals and describes the causes of the crisis. On the basis of research and development, conducted by the author, an approach and guidelines are proposed for overcoming it, as well as starting points for clarifying physical phenomena and processes in unity and building a general physical theory.

Относно кризата в космологията и застоя във физиката

Широко коментирана в научната общност и в информационно пространство с физическа насоченост тема е кризата в космологията. Тя тежи със страшна сила на плещите на физическата наука общо, на космологията в частност, и то отдавна. За илюстрация на безпомощността на науката да се справи с кризата могат да се ползват изявите на един от водещите космолози Лий Смолин [1, 2]. Първата е книгата му от 2006 г. в превод на руски „Неприятности с физикой“, а втората е неговото интервю от 2015 г., пред известния журналист по научни въпроси Джон Хорган, публикувано в престижното издание Scientific American в раздела Cross-Check. И чрез двете ученият полага усилия и прави опит да спомогне за решаването на кризата в космологията и физиката като цяло, но насоките и идеите, които определя в тях, не доведоха до преодоляването ѝ, както пролича от изминалите от тогава години. Счита се, че основният проблем, обуславящ кризата в космологията, е противоречието между схващанията за разбягването на галактиките и разширяването на Вселената от една страна и гравитацията, като притегляне на телата, от друга страна. Схващанията са формирани в рамките на приетите за водещи във физиката модели и теории, а именно Big Bang модела с неговата съвременна еманация Инфлационна Вселена и Теорията на относителността (ТО), специална, с предел на скоростите на взаимодействия до скоростта на светлината, и обща с континуума пространство-време. Физиката по това противоречие, определяно като криза, се върти в омагьосан кръг, без да се очертава дори надежда за решаването ѝ. Вярно е, че в исторически план са полагани усилия за справянето, като например въвеждането и отказването на Λ -член още от Айнщайн, отрицателни налягания и раздуване на самото пространство в по-ново време, според Брайън Грийн, непрекъснати поправки във формулата на Хъбъл, въвеждането на хипотетичната „тъмна“ енергия като балансиращ фактор и други, все

безуспешно, защото упорито се базират върху вече остарели и оказва се, физически неиздържани, модели и теории, които ще бъдат анализирани в доклада.

Наивно и много погрешно е да се мисли, че решаването на указаното противоречие ще прекрати кризата. Първо, поради факта, че кризата в космологията не се ограничава и изчерпва само с него, и второ, защото се породиха сериозни доводи, че на физическо ниво противоречие не съществува, а се дължи и поражда от неправилното научно изясняване на природата и механизма на явленията, на които се приписва. До първото, а именно идеята за разбягването на галактиките и разширяването на Вселената, се стига на базата на обективно наблюдаваното изместване на спектъра на електромагнитните вълни, в частност светлината, от различни източници, галактики, квазари, слънца, към нискочестотната област. Хъбъл е наблюдавал, изследвал и обяснил това явление преди близо век по аналогия с добре известния ефект на Доплер и в съгласие с предложения малко по-рано от белгийския абат Льомертър модел на зараждане на Вселената Голям Взрив (Big Bang). Съгласно модела всичко е започнало от състояние на сингулярност, с парадоксални за физиката стойности на измислено огнено кълбо или първоатом, възплатил цялата материя на света, което поради неимоверна плътност и след колосален взрив се пръснало и разпиляло в пространството, и е довело до днешното наблюдавано състояние. Тук нека отбележим един от множеството парадокси на модела, който затруднява всячески физиката, че материята априори се приема за даденост, с неизяснен произход. Следва продължаващо до настоящето непрекъснато разширяване на Вселената и разбягване на галактиките една от друга. И така под влияние на този модел се развива физиката на Космоса в насока, която днес определяме като криза. Нещо повече, моделът се „надгражда“ и „усъвършенства“, за да се стигне до продължението Инфлационна Вселена, т.е., непрекъснато ускоряващо се разширение. И понеже на много учени и специалисти, поддържащи ревностно и по понятни причини модела, им е трудно да се откажат от него и признаят несъстоятелността му, при явното противоречие с един от постулатите на ТО за предел на скорости на взаимодействия, се стига до причудливи идеи. Най-смел в това отношение е известният физик космолог Брайън Грийн, автор и на няколко научно-популярни книги, който се опитва да убеди света, че ограничението на скоростта на светлината, съгласно ТО, не е валидно за скоростта на раздуване на пространството, което при своето ускоряващо се разширение увличало материалните тела в себе си и се стига до скорости на разбягване на галактиките, по-големи от скоростта на светлината [3, с. 68]. Наистина непонятно, учудващо, неясно и удивително. Как самото пространство, без никакви физически атрибути, се раздува може би не е ясно и на самия автор, но физиката е понасяла и по-големи фантазии и това ще продължи, докато не бъде поставена на здрава физическа основа. Вече близо век, поколения учени са приели и са се примирили с модела, въпреки че никой не може да обоснове физическа причина за разбягването на галактиките, т.е. кой физически фактор обективно предпоставя и принуждава галактиките да се разбягват, Вселената да се разширява, при това ускорено и вечно. И чудно и неразбираемо, как така физиката за толкова време не потърси и не намери истинска реална физическа причина за наблюдаваното изместване на спектъра на светлината към нискочестотната област.

Вярно е, че има опити да се оспори, и то с научни аргументи, достоверността и реалността на модела Инфлационна Вселена. Това направиха през 2017 г., група физици сред които също известния физик космолог Пол Стайнхарт, чрез публикацията „Pop goes the Universe“ [4]. Веднага групата беше порицана за дързостта да оспори модела и то с некоректен тон в отворено писмо от 33-ма други физици, сред които и живият тогава Стивън Хокинг. Без сериозни научни доводи, а с тезата, че не може да се оспорва нещо, което няма алтернатива според тях, защото в информационното пространство имало десетки хиляди публикации и цитирания на модела. Всъщност авторите на писмото и яростни защитници на модела не бяха и не са прави, относно критиките към него, защото именно този модел е в основата и една от причините за кризата. За съжаление групата на Стайнхарт, освен основателните критики към модела, не предложи алтернатива или поне насочваща идея за решаването ѝ, с което да разколебае устоите на загнездили се във физиката като тумор модел.

Следва да бъде обсъдено и второто явление, влизащо според кризата в противоречие с първото - гравитацията, в смисъл стремежа на телата едно към друго, несъвместимо с разбягването и раздалечаването. Нейната природа и механизъм, за беда на физиката, теоретична и експериментална, вече над 400 г., са загадка и не са изяснени убедително, еднозначно и достоверно. Фактът, че за гравитацията в науката физика, освен основната, считана за решаваща, Обща теория на относителността (ОТО), са налице още 20-тина нейни модификации и разновидности, някои от които с претенции за завършена паралелна теория, коя от коя, наред с водещата, по причудливи и невероятни. Това явление, не само заради противоречието с Инфлационната Вселена, а и заради връзката му или по-скоро отсъствие на физическа връзка с други наблюдавани явления и процеси, обуславя още по-дълбока и

обхватна за физиката криза, отколкото космологичната. Предлаганите теории не съдържат убедително доказана физическа предпоставка като причина за гравитацията като привличане на телата, в т.ч. основната ОТО, чиито други две наименования са именно, Теория на гравитацията и Теория на еквивалентността. Повече от ясно и очевидно е, че изкуствено въведения в ОТО геометричен континуум пространство-време за изясняване на гравитацията, при отсъствието на физическо съдържание и на двете съставни, пространството и времето, е невъзможно да се изкривява, за да предпоставя стремежа на телата едно към друго. Чрез континуума пространство - време като геометричен модел и десетте канонични уравнения на Айнщайн, успешно се описва движението на телата в пространството. Но те не могат да са физическа причина и фактор, обуславящи движението им, вкл.. стремежа им едно към друго или гравитацията. Явно, друг е обективния факторът, който обуславя такава тенденция [5].

Ако след направените констатации по кризата в космологията разширим зора си, няма да е трудно да стигнем до разбирането, че тя е пълно отражение на общата криза във физиката. Но докато за космологията сме разкрили противоречие, което определяме като криза, какво да кажем за многото други явления и процеси и в космологията, и в други клонове на физиката, които все още не са изяснени достоверно, еднозначно, цялостно и най-вече в единство. Ако започнем пак с космологията, това са въпросите за сингулярността във физическата реалност, реално събитие ли е Големият Взрив, възможни ли са гравитационните вълни и гравитона, „тъмните“ енергия и материя, „черните“ дупки, реликтовото лъчение и други. Да слезем от високомащабното ниво в недрата на физическата реалност, областта на Квантовата механика (КМ), елементарните частици, градивните елементи на материята, на барионното вещество, там нещата са още по-неясни, а именно как се пораждат елементарните частици, как придобиват масата си и свойствата си, дуализма вълна-частица, има ли по-ниски нива на структуриране на материята от познатите елементарни частици, т.е., кварки и редица други. И поради многото неизяснени въпроси от класическите теории, ОТО и КМ, се измислят и въвеждат в обръщение необясними феномени и пораждат нови идеи, някои с претенции за модели и теории, като Струнна теория, М-теория, суперструни, торсионни полета, Хигс полета и Х-бозони, брани, WIMP-ове и аксиони, или частици на „тъмната“ материя и много други.

След толкова години и неуспешни опити за преодоляване на кризата в космологията и неизяснените физически явления, изглежда основателно и логично да се счита, че сме в застой и не във вярната посока и правилния път на развитие на физиката. Като изход изглежда логично също така да се потърсят алтернативни пътища и положат усилия за изясняването на причините за това и от тази позиция, при изяснени причини, да се подходи към извеждането на физиката от застоя и преодоляването на кризите.

Причините за кризите и застоя на физическата наука

Нека изтъкнем причините за кризите с кратък анализ. Една от тях, вече отбелязана, е неправилното тълкуване и изясняване на редица физически явления и процеси, в съчетание с необосновани научно модели и теории. Друга е стриктното и упорито придържане и поддържане на тези модели и теории, създадени преди 100-ина години. Да, те изиграха своята положителна роля в развитието на физиката от средата на втората половина на 20 век, предимно в технико-технологично отношение, но вече са изчерпани като теоретична база за развитието на физиката в познавателно отношение. Следва причина, изразяваща се в изследването на физическите явления и процеси изолирано, без органична връзка помежду им. Причина е също така използването на погрешни и неползотворни аналогии при изследването. Например, квантоването във физиката е издигнато едва ли не в ранг на природен закон и се прилага за съвсем непознати явления, като се издирват елементарни частици на „тъмната“ материя, без да се знае нищо за самата „тъмна“ материя, дали тя въобще е квантуема. Или по аналогия с електромагнитните вълни, се търсят гравитационни вълни и им се приписва същата скорост, без да се знае нищо все още за самата гравитация като природно явление и дали въобще съществува такъв вид взаимодействие. Сериозно основание за такова допускане е фактът, че гравитацията не може да бъде обединена с останалите три вида взаимодействия в общ стандартен физически модел. Или още по-непонятната компилация квантова гравитация, на която се възлагат надежди за единна и крайна физическа теория. Като се добавят към всичко това и причини от субективен характер, като случая Стайнхарт, е ясно, че са налице доста фактори за кризи и застой.

За да стигнем и изтъкнем най-важната и решаваща причина за състоянието на физиката, а именно отсъствието на философското и физическо начала в подхода и насоките на изследване в областта на физиката. Те се изразяват, съответно в отсъствието на идея за нещо изначално, първично, основополагащо за физическия свят и в отсъствието на обективно установен физически фундамент на физическата реалност или физическа основа, като база, от

която да произтича материята и в „*чиято среда да се развива цялото действие на света*“, както образно се изразяваше великият немски физик Макс Борн [6]. Идея за реален физически фундамент отсъства както в представите, разбиранията и схващанията ни за околния свят, така и в създаваните в резултат на това физически модели и теории. Трудно разбираемо и непостижимо е да се пристъпва към изследване и анализ на дадено физическо явление или процес, без да се знае и са изяснени неговия първоизточник, първопричина и генезис, и как се съотнася и спряга то с другите очевидни физически явления и процеси. В това се изразява кратко отсъствието на философско начало в подхода, което да води до синтез на знания относно условията и причините за реализацията на явлението или процеса. В противовес на другия подход, който за съжаление се прилага поголовно, да се приема изследваното явление за реализирано по неустановени причини и механизми, да се пристъпва към неговия анализ и изясняване, което неминуемо води до безисходица и в крайна сметка до наблюдаваното състояние на застой и кризи. В този смисъл няма да е пресилената констатацията, че всички изследвания, модели и теории в отсъствието на разкрит, ясно очертан и доказан, поне теоретично, физически фундамент, са обречени да са несъстоятелни и неверни.

И така, след като бяха показани основните причини за кризите и общото състояние на физиката, и търсенето на пътища за преодоляването им, е логично и целесъобразно да се следва път разчистен от причините. Като начало е задължително да бъде разкрит и установен липсващия в знанията ни, но обезателно и обективно съществуващ фундамент на физическата реалност, с убеждението, че всичко физическо би трябвало да произтича от също така физическа същност, а не от измислени и нереални, имагинерни феномени, които вече обсъдихме. Разкриването на фундамента задължително трябва да се базира на обективно и научно обосновани, установени, определни, проверени и доказани физически величини и закони, с които фундамента би трябвало да има органична връзка. Разграничаване и отхвърляне на влиянието на остарели модели и теории, с постулати без физическо начало, предпоставки и причини. Отказ от аналогии при търсенето на фундамента и неговите физически характеристики и свойства, в отсъствието на каквато и да е информация за него.

Новите изследвания и резултати

От посочените позиции бяха проведени целенасочени теоретични изследвания и разработки по разкриването на фундамента, които осигуриха нови и важни за физиката резултати. Най-същественият от тях е именно установяването на реална физическа същност в основата на физическата реалност, като среда с присъщи и специфични физически параметри. Бяха определни и изчислени стойностите на следните параметри на новотритата среда: плътност, модул на еластичност, термодинамична величина, вътрешно налягане, температура, скорост на разпространение на светлината, както актуалните, така и в процеса на еволюцията на средата. Отчитайки първостепенната и определяща роля, място, влияние и значение на средата за физическата реалност, беше прието нейно работно наименование Същност. Беше обосновано и показано, че всички параметри на Същността са с променливи при еволюцията ѝ във времето стойности, като по този начин беше доказано, че приетите за фундаментални физически величини не са константи [7]. Също така беше установено и показано, че тя изпълва хомогенно, изоморфно и изотропно цялото всемирно пространство, от вътрешноатомно, междуетомно и междумолекулно, до междувъздушно и междугалактично, формирайки реален физически континуум, от който произтича и се формира всичко материално, от елементарните частици до галактиките. Генезисът и формирането на елементарните частици на материята, барионното вещество, от и в средата на Същността, също е изяснен, като процес на уплътняване на маси от Същността в локални обеми с размерите на елементарните частици и с плътност значително по-висока (10^7 пъти) от плътността на Същността. Тя, Същността, от която произтичат частиците, е именно „тъмната“ материя, предсказвана теоретично и издирвана експериментално от няколко научни екипа. Подробно изследванията по установяването на Същността, определянето на параметрите ѝ, и изчисляването на техните стойности, както и отъждествяването ѝ с „тъмната“ материя са представени съответно в [8, 9].

Преодоляването на кризата

Обективното отчитане на наличието на Същността във физическата реалност позволява да бъдат изяснени по нов начин, очаквано и вероятно близо до действителността, все още неизяснени достатъчно убедително и безспорно към момента от физиката явления и процеси. Да започнем отново с противоречието в космологията.

Чрез континуума на Същността във всемирното пространство логично и разбираемо могат да бъдат изяснени причината и механизма на гравитацията като стремеж на телата едно

към друго. Те са резултат от налягането на Същността върху материалните тела в нейната среда и асиметрията в налягането около тях, поради по-високата им плътност от тази на Същността, от която те произтичат и в чиято среда се формират. Упражнявайки налягане върху телата Същността ги изтласква едно към друго със сила и разпределението ѝ в пространството в пълно съответствие с известния закон на Нютон за силата на „притегляне“ на телата. Друга реална, строго научно обоснована, физическа причина или предостатък, пространството да се изкривява и раздува или телата да се притеглят и привличат, не е установена.

С промяната на параметрите плътност и модул на еластичност на Същността в процеса на еволюцията ѝ също така семпло, логично и разбираемо може да бъде изяснено изместването на спектъра на електромагнитните лъчения. Електромагнитните вълни от различно отдалечените от Земята източници са се генерирали и разпространявали през милиардите години от генезиса им в средата на Същността. И това се е реализирало при различни и променящи се в процеса на еволюцията ѝ стойности на нейните параметри плътност и модул на еластичност. Това би следвало да предполага и да е причината за по-голямата дължина на вълната от по-отдалечените източници, съответно изместване към нискочестотната област, при наблюдението днес. Достатъчно ясно и разбираемо, без раздуване на пространството, разбягване на галактиките и разширяване на Вселената. Проведените изчисления на базата на параметрите на Същността за няколко реално измерени спектъра от различно отдалечени източници, квазари и звезди, потвърждават във висока степен извода за причината за изместването на спектъра.

Така на базата на параметрите на установения фундамент на физиката, Същността, се стига до разплитането на противоречието или кризата в космологията. Всъщност беше показано, че противоречия във физическия свят и съответно кризи обективно не съществуват, а се дължат на неправилното изяснени физически явления, точно поради отсъствието на установен фундамент, който да ги предполага и определя. С установяването на фундамента, неговите параметри и стойности, картината на света придобива ясно изражение. Могат да бъдат изяснени също така и останалите наблюдавани физически явления и процеси без въвеждането на измислени и необосновани научно, без физическа основа, феномени. Това дава основание да се счита, че кризата и застой във физиката са преодолени и преодоляни. Както и, че са създадени предпоставки за придвижване и задълбочаване на знанията в областта на физиката и изграждане на единна или обща физическа теория, каквато беше несбъднатата мечта на Айнщайн, Стивън Хокинг и други учени.

Литература:

1. Ли Смолин, „Неприятности с физикой“, превод от английски, сайт rulit.me, 2007.
2. <https://blogs.scientificamerican.com/cross-check/troublemaker-lee-smolin-says-physics-8211-and-its-laws-8211-must-evolve/>
3. Брайън Грийн, Скрытая реальность, изд. „Изток-запад“, София, 2011.
4. Anna Ijjas, Paul Steinhardt and Abraham Loeb, „Pop goes the Universe“, 32 Scientific American, January 2017.
5. Velko Velkov, Hypothesis of a cosmological model of the Universe without gravitation, Aerospace Research in Bulgaria, v. 26, 2014.
6. Макс Борн, Эйнштейновская теория относительности, изд. „Мир“, Москва, 1964.
7. Velko Velkov, On a fundamental constants of the Universe, Aerospace Research in Bulgaria, v. 27, 2015.
8. Велко Велков. „Същността, нова хипотеза за съдържанието, структурата и еволюцията на Всемира“. Полиграфически комбинат „Д. Благоев“, София, 2015.
9. Велко Велков, „Осветляване на „тъмната материя“. Proceedings SES 2017, SRTI-BAS, Sofia. 101.

Session 2

***Aerospace Technologies
and
Biotechnologies***

Chairman: Corr. Member Petar Getsov
Secretary: Assoc. Prof. Zoya Hubenova

ЕЛЕКТРИЧЕСКО ЗАХРАНВАНЕ ЗА АВТОМАТИЧНИ КОСМИЧЕСКИ АПАРАТИ НА МОДУЛЕН ПРИНЦИП С ПОВИШЕНА НАДЕЖНОСТ

Веселин Ташев, Ангел Манев, Димитър Вълев

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

Ключови думи: Електронно захранване, DC / DC преобразователи.

Резюме: Електрозахранването е изградено на модулен принцип. В случая са използвани четири независими модула. Всеки един от тези модули може да бъде избран с подходящо изходно напрежение и консумация на ток, в зависимост от желанието на потребителя. Този уред е проектиран и построен от 3 стандартни блока за ниско напрежение и един за високо напрежение от 2000 V. Изходните напрежения са добре филтрирани и защитени от късо съединение. Вграждането на интелигентни функции в електронните устройства им дава по-голяма автономия и надеждност. Всеки модул е дублиран и свързан към схема "проводниково ИЛИ" към друг модул аналогичен на него. Това позволява в случай на повреда на един от модулите автоматично да се включва другия. Акумулаторна батерия поддържа всички напрежения за определен период от време, когато основното захранване отпадне. Когато основното захранване се възстанови, аварийното захранване се изключва и батерията преминава в режим на зареждане. Захранването се състои от фабрично готови модули от водещи технологични компании. Тези характеристики на захранването му дават възможност да работи с висока надеждност на борда на космически станции и безпилотни летателни апарати.

ELECTRIC POWER SUPPLY FOR AUTOMATIC SPACECRAFT ON A MODULAR PRINCIPLE WITH INCREASED RELIABILITY

Veselin Tashev, Angel Manev, Dimitar Valev

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

Keywords: Power supplies, DC / DC converter

Abstract: The power supply is built on a modular basis, in the case of four independent modules. Each of these modules may be selected with a suitable voltage and current consumption, depending on the wishes of the user. This unit is designed and built from 3 standard low voltages and one high voltages of 2000 V. The output voltages are well filtered and protected from short circuit. Installation of smart functions in electronic devices gives them greater autonomy and reliability. Each module is duplicated and connected to the scheme "wire OR" to other analogous thereto. This allows in case of damage to one of the modules automatically to include the other. Rechargeable battery supports all the voltages for a specified period of time when the main power fails. When main power is restored, the emergency is turned off and the battery goes into charging mode. Power supply is assembled from the factory ready-made modules from leading technology companies. These characteristics of power supply enabling him to work with high reliability on board space stations and unmanned aerial

1. Въведение

Електрозахранването е предназначено за автономно работещи електронни устройства. То е изградено на модулен принцип, в случая от четири независими модула. Всеки един от тези модули може да бъде проектиран и разработен с подходящо напрежение и консумация на ток, в зависимост от желанието на потребителя. В настоящия уред са проектирани и вградени 3 стандартни модула за ниски напрежения и един за високо от 2000 V. Изходните напрежения са

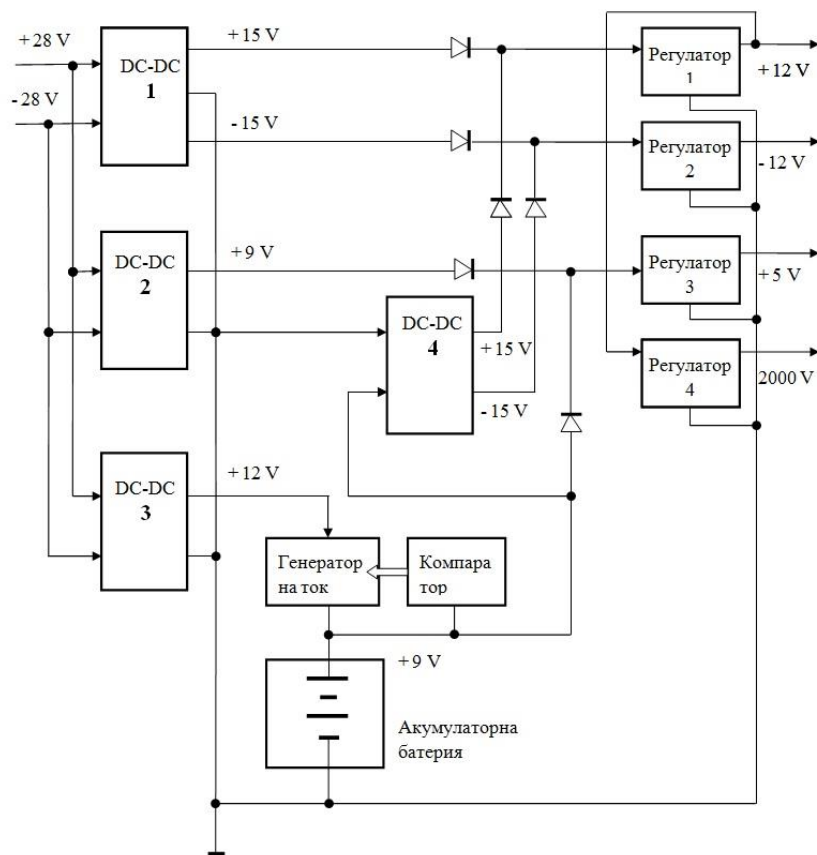
добре филтрирани и защитени от късо съединение. Вграждането на интелигентни функции в електронните устройства им осигурява по-голяма автономност и надеждност. За целта всеки модул е дублиран с втори такъв и е свързан по схемата "проводниково ИЛИ" с другия модул аналогичен на него. Това позволява в захранването да се вгради саморегулираща функция в смисъл, че когато се повреди един от модулите автоматично да се включва втория. В случая е използвана нова технология, при която захранващия блок сам открива повредата, когато възникне такава и след това я поправя. Друга особеност на захранващия блок е наличието на акумулираща батерия. Тя поддържа всички напрежения за определен период от време, когато централното захранване се повреди. След като основното захранване се възстанови, аварийното се изключва и акумулаторната батерия преминава в режим на зареждане. С други думи дублирането на модулите позволява от една страна работа с резервно захранване при отпадане на основното, а от друга автоматична подмяна на захранващите модули, ако някой от тях се повреди. Тези особености на захранващия блок му дават възможност да работи с голяма сигурност на борда на космически станции, безпилотни спътници и летателни апарати, както и военни съоръжения при тежки условия на експлоатация.

Освен висока надеждност, захранващия блок, притежава също висок к.п.д. и подходящо охлаждане без вентилатор (при космически приложения). За да може да работи при тежки условия на високи и ниски температури, високи ускорения, вибрации, да е с ниско тегло и други, той е асемблиран от готови фабрично изработени модули на водещи високо технологични компании. Използвани са нови и модерни преобразователи на напрежение от типа DC/DC, а за високоволтовото захранване - модул от производство на фирмата Hamamatsu, както и нови прецизни регулатори на напрежения с добра филтрация и ниско ниво на шум.

2. Блок схема на захранващия блок

Първичният източник на захранване е бордовата батерия със стандартно напрежение от 28 волта. Вторичното напрежение, подавано към електронната апаратура, трябва да бъде галванически развързано от това на батерията и добре филтрирано, за да се намалят шумовете. Захранващият блок е построен на модулен принцип, като всеки модул представлява фабрично произведено устройство с необходимата гъвкавост, високи параметри и надеждност.

Блок-схемата на захранващия блок е показана на Фиг. 1.



Фиг. 1. Блок схема на захранването

Модулите в захранващия блок на Фиг. 1 са означени както следва:

Модул „DC/DC преобразователи” – 4 броя от № 1 - № 4.

Модул „Регулатор на високо напрежение” от 2000 V – 1 брой, № 4.

Модул „Регулатори на ниско напрежение” от +5V и $\pm 12V$ – 3 броя от № 1 - № 3.

Модул „Генератор на ток” – 1 брой

Модул „Компаратор” – 1 брой

Модул „Акумулаторна батерия” – 1 брой

Модулите „DC/DC преобразователи” преобразуват първичното бордово захранване или аварийно от батерията, в подходящо вторично. То се стабилизира и филтрира от регулаторите на ниско и високо напрежение. Изходните напрежения идващи от бордовата батерия и тези от аварийната батерия са свързани по схема „проводниково ИЛИ” посредством развързващи диоди. По този начин аварийното захранване се включва няколко милисекунди след отпадане на щатното захранване и се изключва веднага след неговото възстановяване. Изглаждащите кондензатори не са показани на блоковата схема. Генераторът на ток осигурява възможно най-благоприятните условия за зареждане на акумулаторната батерия. Компараторът следи за заряда на батерията и я изключва веднага след достигане на номиналното напрежение. Това осигурява както максимален капацитет на батерията така и максималния и живот.

3. Списък и функции на Модулите „DC/DC преобразователи”

Отделните модули DC/DC преобразователи са производство на фирмата AIMTEC и са избрани както следва:

1. DC/DC 1 – AM6TW2415DZ. Този модул преобразува захранващото напрежение от бордовата батерия 28V в две изходящи напрежения, съответно от +15V и -15V. Той е с мощност 6 W и ток на консумация 0.2 A.

2. DC/DC 2 – AMSR1-7809-NZ. Този модул преобразува захранващото напрежение от бордовата батерия 28V в изходящо напрежение +9V. Той е с мощност 9 W и ток на консумация 0.5A.

3. DC/DC 3 – AMSRL-7812-NZ. Този модул преобразува захранващото напрежение от бордовата батерия 28V в изходящо напрежение +12V. Той е с мощност 6 W и ток на консумация 0.5A.

4. DC/DC 4 – AM6Q-0515-DZ. Този модул преобразува захранващото напрежение от акумулаторната батерия 9V в изходящи напрежения от +12V и -12V. Той е с мощност 6 W и ток на консумация 0.2 A.

Общи параметри на DC/DC преобразователите:

Висока ефективност достигаща до 85%.

Амплитуда на входното напрежение 4:1.

Работен температурен диапазон от -40°C до +85°C.

Охлаждане до 6 W – свободно въздушно.

Изоляция между входа и изхода от 1500 до 3500 VDC

Изоляционно съпротивление > от 1000 M Ω

Има защита от продължително късо съединение на изхода, а възстановяването след отпадане на късото съединение става автоматично.

Вътрешна честота на превключване е 260 kHz.

Честотата на превключване от 260 kHz се потиска ефективно от мрежови П-филтър с високи технически характеристики.

Максимална амплитуда на входа от -0.7 до +40 V.

Пиково входно напрежение до 100 ms.

Вълнови шум до 20 MHz – 60 mV от пик до пик.

Тегло – 26 g

Габарити 32x21x10 mm

4. Модул „Регулатор на високо напрежение”

Устройството C9619-51 е произведено от фирмата Hamamatsu (фиг1, регулатор 4). То представлява модулен високоволтов блок предназначен за захранване на електронни фотоумножители с положително напрежение. Схемата на конструкция гарантира висока стабилност и ниска потреблявана мощност. Модулът високоволтово захранване осигурява стандартните защитни функции, които са високо надеждни.

Параметри на захранващия високоволтов модул:

Захранващо напрежение от $+12 \pm 0.5V$.

Ток на консумация от 15 до 95 mA.

Изходно напрежение променящо се от +200 V до +2000 V.

Изходящ ток – 2.0 mA.

Температурен коефициент $\pm 0.01 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Размери 46x24x12 mm, тегло 31 g

В захранващия блок са включени защиты при обръщане поляритета на входното захранване, при продължително претоварване на изхода и късо съединение на изхода.

5. Списък и функции на Модули „Регулатори на ниско напрежение”

За филтриране и стабилизация на напрежението +12V и +5V, съответно в Регулатор 1 и Регулатор 3 се използва чипът LM117A, а за филтриране и стабилизация на напрежението -12V, съответно в Регулатор 2 се използва чипът LM137A.

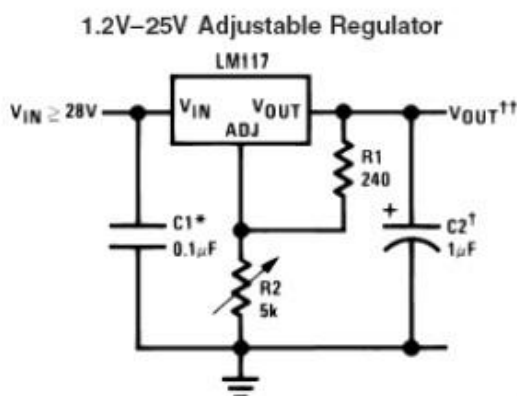
5.1. Регулатор на положително напрежение LM117

Серията LM117 са регулируеми стабилизатори за положително напрежение с 3 извода. Те са в състояние да осигурят на изхода си ток от порядъка на 1.5 A при диапазон на напрежението от 1.2 до 37 V. Тези регулатори са изключително лесни за използване и се изисква само 2 външни резистора за да се определи изходното напрежение. Освен това LM117 са монтирани в стандартни транзисторни опаковки (корпуси), които лесно се прикрепват към печатната платка. Тези регулатори предлагат и пълна защита срещу претоварване, която е характерна за интегралните схеми. Освен това в чипа е предвидено лимитирано ограничаване на тока, термична защита, както и безопасна зона на защита.

5.2. Приложение на регулатора на напрежение LM117 в захранващия блок

В захранващия блок е използвана схемата за типично приложение на регулатор на напрежение LM117 препоръчана от производителя и е показана на (Фиг. 2).

Typical Applications



Фиг. 2. Регулатор на положително напрежение

5.3 Изчисляване на изходното напрежение на регулатора

Изчисляването на изходното напрежение се извършва по формула (1)

$$(1) \quad V_{out} = 1.25 \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) + I_{adj} \times (R2),$$

Където R1, R2 и I_{adj} са показани на фиг. 1

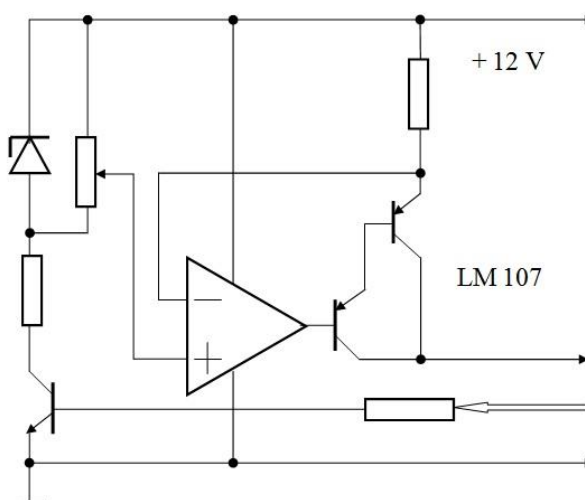
5.4. Регулатор на отрицателно напрежение LM 137

Серията LM137 са регулируеми стабилизатори за отрицателно напрежение с 3 извода. Техните характеристики са много близки до тези на регулаторите LM 117 и често се използват

съвместно, когато са необходими стабилизирани напрежения с различен поляритет. Регулаторите LM 137 се допълват идеално с регулаторите на положително напрежение LM 117.

6. Модул „Генератор на ток”

Модулът „Генератор на ток” е показан на Фиг. 3.



Фиг. 3. Генератор на ток

Предназначението на този модул е да осигури стабилизиран ток от 0.5 A за зареждане на акумулаторната батерия. В зависимост от капацитета на батерията зарядния ток може да се увеличи или намали с помощта на потенциометъра на Фиг. 3. Генератора на ток може да се включва и изключва от управляващия вход. Това се прави с цел от една страна акумулаторната батерия винаги да е максимално заредена, а от друга зареждането да се прекрати след достигане на номиналната стойност на нейното напрежение.

7. Модул „Компаратор” и модул „Акумулаторна батерия”

Акумулаторната батерия се състои от 6 елемента с номинално напрежение 1.5 V и капацитет 3000 mAh. Компараторът следи за нивото на батерията и включва генератора на ток, когато напрежението на батерията спадне под определена стойност. За целта в компаратора е въведен хистерезис, така че нивото на включване се различава от номиналната стойност на напрежението на заредената батерия. По този начин се избягва непрекъснатото превключване за заряд на батерията, което съществено удължава нейния живот.

8. Заключение

Така проектираната схема за захранване на електронна апаратура монтирана на космически станции отговаря на високите изисквания за ниско тегло, малки габарити, ниска разсейвана мощност и висока надеждност. Това се постига, чрез използване на малък брой готови модули изпълняващи определени функции. Модулите са фабрично производство с гарантирано от фирмата производител високо качество, надеждност и стабилни характеристики в широк температурен диапазон. Надеждността на целия захранващ блок се гарантира от малкото на брой външни връзки между модулите, като самите те са с висока надеждност.

В резултат на това проектиране с помощта на готови модули се получава компактен и миниатюрен захранващ блок състоящ се от:

1. Модул Регулатор на високо напрежение с габаритни размери 62x45x15 mm и тегло 100 g – 1 брой, който е показан на Фиг. 4.
2. Модул DC/DC преобразователи с габаритни размери 32.25x21.35x10.5 mm и тегло 26 g – 4 броя, които са показани на Фиг. 5.
3. Модул регулатори на ниско напрежение в стандартен пластмасов транзисторен корпус с габаритни размери 10.16x14.48x4.45 mm - 3 броя, които са показани на Фиг. 6.

Модулите генератор на ток и компаратор се състоят от по един чип със стандартен корпус и няколко дискретни елемента.

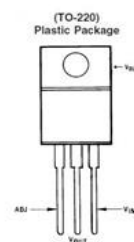
Всички модули са пригодни за монтаж на печатна платка. По желание на потребителя могат да се добавят и други захранващи напрежения, като за целта се подменят или добавят съответните DC/DC преобразователи и регулатори на напрежение.



Фиг. 4. Регулатор на високо напрежение



Фиг. 5. DC/DC преобразователи



Фиг. 6. Регулатори на ниско напрежение

Литература:

1. Aimtec "Application of DC-DC converters."
2. HAMAMATSU "Photon counting, using Photomultiplier Tubes".

ВЛИЯНИЕ НА ПЪРВИЯ ПОЛЕТ НА ЧОВЕК В КОСМОСА ВЪРХУ ВОЕННИТЕ АСПЕКТИ НА ИЗПОЛЗВАНЕТО НА КОСМИЧЕСКОТО ПРОСТРАНСТВО

Павел Пенев

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

Ключови думи: Космос, маневриране, космически апарат, скачване, излизане в Космоса, аерокосмически системи, спътник-инспектор

Резюме: Формулирани са задачите, свързани с военната дейност в Космоса през 60-те години на XX-ти век и необходимостта от ново поколение космически кораби и спътници. Класификацията на военно-космическите системи е доразвита с нов клас системи - аерокосмическите системи и са разкрити техни съвременни представители. Представено е текущото състояние на спътниците-инспектори, изпълняващи военни и граждански задачи, както и съвременните военнокосмически структури на САЩ и Русия.

INFLUENCE OF THE FIRST MAN'S FLIGHT IN SPACE ON THE MILITARY ASPECTS OF THE USE OF SPACE

Pavel Penev

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

Keywords: Space, maneuvering, spacecraft, docking, spacewalk, aerospace systems, satellite-inspectors

Abstract: The tasks related to the military activity in space in the 60s of the XX century and the need for a new generation of spacecraft and satellites are formulated. The classification of military-space systems has been further developed with a new class of systems - aerospace systems and their modern representatives have been revealed. The current state of the satellite-inspectors performing military and civilian tasks, as well as the military-space structures of the USA and Russia are presented at the current stage.

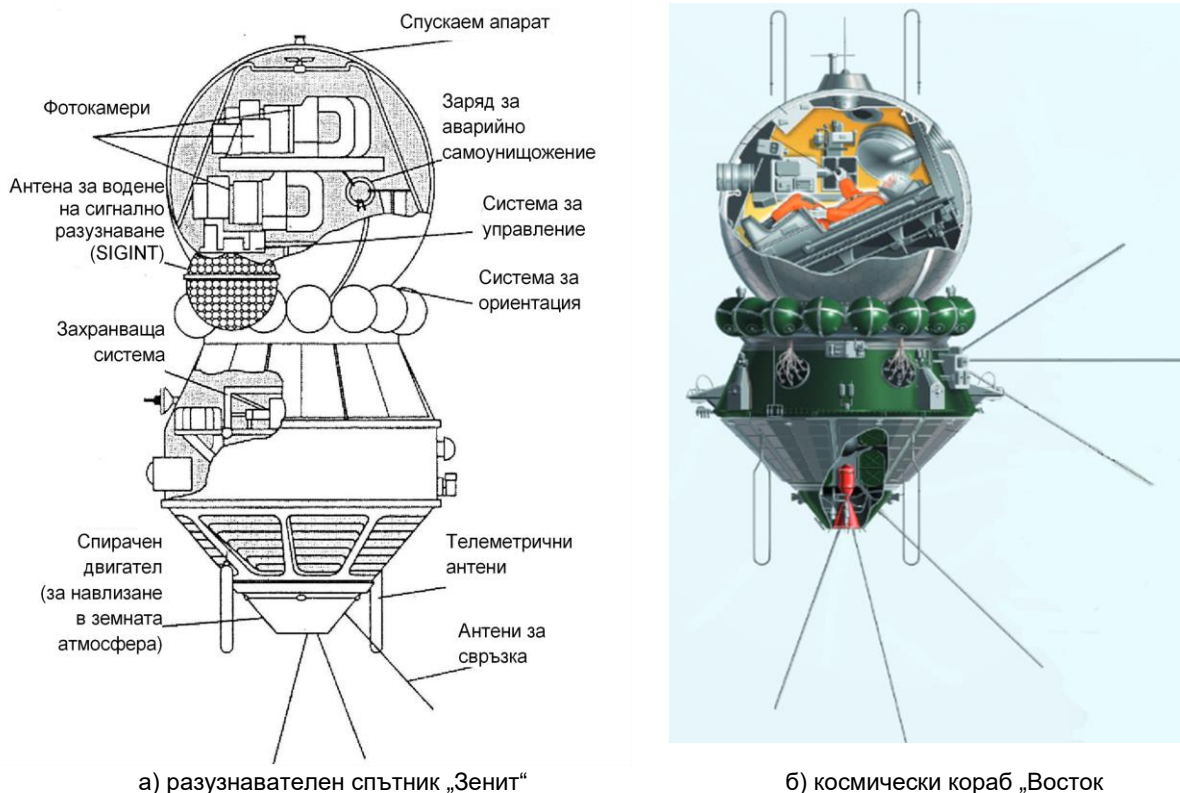
Възгледите за военното използване на космическото пространство се формират в СССР и САЩ почти едновременно – в края на 50-те години на XX век, в условията на Студена война между двете суперсили. Политиците и военните специалисти бързо разбират, че който владее космическото пространство, може да постигне стратегическо превъзходство над противостоящата страна, а десетилетия по-късно, с развитието на високите технологии – и информационно превъзходство в зоната на операциите.

Световната общественост определя първия полет на човек в Космоса на 12 април 1961 г. като ключово събитие в историята на човечеството.

В навечерието на полета на първия летец-космонавт в света Юрий Гагарин в САЩ и СССР са в действие спътникови военноразузнавателни програми. По проекта „CORONA“ от борда на американския фоторазузнавателен сателит „Discoverer-14“ на 18 август 1960 г. са фотографирани над 4,2 милиона квадратни километра от територията на СССР. При това заснетата площ надхвърля тази, фотографирана при всички полети на американския разузнавателен самолет U-2 над съветска територия в периода 4 юли 1956 г. – 1 май 1960 г.

През същата година аналогична дейност се извършва и в СССР, където при подготовката на орбиталния полет на Юрий Гагарин неговият космически кораб (КК) в безпилотен режим няколкократно изпълнява фоторазузнавателни задачи над САЩ, но без доставка на направените снимки на Земята. По-конкретно, аналог на сателитите от американския проект „CORONA“ са

съветските разузнавателни изкуствени спътници на Земята (ИСЗ) от серията „ЗЕНИТ“. При това подходът при създаването им е различен от този, приложен за американските сателити. През 1959 г. на основата на разузнавателния спътник „ЗЕНИТ“ (Фиг. 1, а) е проектиран и създаден КК „Восток“ (Фиг. 1, б), с който извършва орбиталния си полет Юрий Гагарин.



Фиг. 1. Общ вид на разузнавателния спътник „Зенит“ и на космическия кораб „Восток“

Анализът на Фиг. 1 показва, че най-съществени са вътрешните различия между пилотируемия КК „Восток“ и разузнавателния ИСЗ „ЗЕНИТ“ [4]. Вместо система за жизнеосигуряване, катапултна седалка и средства за ръчно управление, необходими за изпълнение на пилотируем полет, на разузнавателния спътник „ЗЕНИТ“ е монтирана апаратура за фоторазузнаване и електронно разузнаване на комуникации и радиолокационни станции, специална телеметрична система за предаване на разузнавателна информация, система за управление на бордовия комплекс и други специфични прибори. При това камерите за фоторазузнаване разполагат с обективи с фокусно разстояние около 1000 mm, осигуряващи откриване на обекти на Земята с размерите на автомобил.

Първите двама космонавти в света – Юрий Гагарин и Герман Титов, летели в Космоса през 1961 г., наред с поставените пред тях научни задачи, оценяват и възможностите за визуално наблюдение от Космоса на различни земни и морски обекти. В процеса на полета Герман Титов използва камера с цветна лента и оптична система „Визир“ с три-петкратно увеличение. Достига се до извода, че КК от серията „Восток“ могат да се използват не само за разузнаване, но и като космически летателни апарати (КЛА)-инспектори.

Първият групов пилотируем космически полет на КК „Восток-3“ и „Восток-4“ през 1962 г. с космонавти Андриян Николаев и Павел Попович е обект на цялостна военнотехническа оценка. Предвид обстоятелството, че тези КК летят в компланарна орбита (двете плоскости съвпадат) космонавтът Павел Попович наблюдава известно време визуално КК „Восток-3“, пилотиран от Андриян Николаев от дистанция 5 km. Двамата космонавта поддържат радиовръзка и извършват редица специфични дейности, включително фотографиране на различни обекти. При този групов полет с продължителност над 70 часа за пръв път се излъчват телевизионни предавания от Космоса. Месец по-късно, след съответен анализ на получената информация, научно-техническата комисия на Генералния щаб (ГЩ) на съветските въоръжени сили (ВС) достига до изводите [4], че „човек е способен да изпълнява в Космоса всички военни задачи, аналогични на тези в авиацията (разузнаване, прехват, нанасяне на удари)“, както и че „КК „Восток“ могат да се

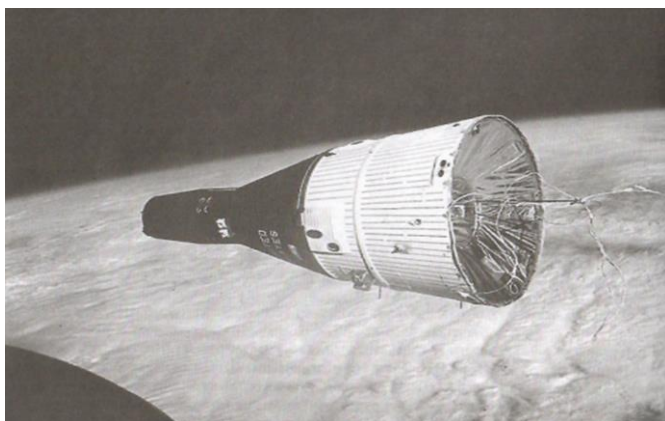
приспособят за разузнаване, а за прехват и удари е необходимо срочно да се създадат нови, посъвършени космически кораби”.

Първият групов полет на КК „Восток-3” и „Восток-4” има съществено значение за перспективните военни задачи в Космоса. За успешното им реализиране възниква необходимостта от ново поколение КК, реализиращи три космически задачи: маневриране на пилотируеми или безпилотни КЛА, скачване на КЛА в околоземна орбита и излизане на космонавта (астронавта) от КК в космическото пространство.

За решаване на първата от посочените по-горе космически задачи през 1963 г. започват космически изпитания на маневриращи ИСЗ от серията „Полет”. На 01.11.1963 г. в околоземна орбита е изведен първия в света маневриращ ИСЗ „Полет-1”, а на 12.04.1964 г. стартира ИСЗ „Полет-2”. В хода на изпитанията се осъществява многократно сближаване на тези маневриращи спътници с други КЛА, включително чрез промяна на височината на орбитата и на ъгъла на наклона ѝ към плоскостта на Екватора. Отработва се прототип на автоматичен спътник-прехващач с радиолокационна глава за самонасочване, получил по-късно названието „изтребител на спътници”.

За решаване на третата от посочените по-горе космически задачи съветският космонавт Алексей Леонов на 18.03.1965 г. за пръв път в света излиза от многоместния КК „Восход-2” в открития Космос.

След 1965 г., с реализирането от САЩ на програмата „Gemini” (Фиг. 2), включваща поредица от едноименни маневриращи КК от ново поколение с по двама астронавти на борда, се постига водещата им роля в пилотируемата космонавтика. Тези КК, разполагащи с бордови компютър, на високо ниво реализират посочените по-горе три космически задачи, пряко свързани с воденето на военна дейност в Космоса.



Фиг. 2. Първият в света маневриращ космически кораб „Gemini”

Същевременно темпът на космическото съперничество между САЩ и СССР нараства. През 1967 г. е извършено автоматично скачване на два безпилотни ИСЗ „Космос-186” и „Космос-188”, което е възлова стъпка за създаването на орбитални станции (ОС) и за изпълнение на пилотируем полет към Луната.

През месец април 1968 г. безпилотни КК от серията „Союз”, обявени пред международната общественост като ИСЗ „Космос-212” и „Космос-213”, осъществяват автоматично скачване в околоземна орбита.

Развиват се и технологиите за противокосмическа отбрана. На 01.11.1968 г. от космодрума Байконур стартира спътник-прехващач с осколъчна бойна част, който поразява намиращ се в орбита друг КЛА. По такъв начин е извършен първият в световната практика успешен прехват на космически обект с поразяване на един спътник от друг.

Анализът на броя и на решаваните задачи от КЛА, изведени и функциониращи в орбита в началото на космическата ера показва, че не по-малко от 70 % от тях са с военно предназначение. По такъв начин, от началото на 60-те години на XX век постепенно се изграждат и утвърждават през следващите десетилетия военнокосмическите системи (ВКС) на САЩ и СССР – Фиг. 3, представляващи съвкупност от функционално взаимосвързани и съгласувано действащи средства с космическо, въздушно и наземно базиране, предназначени за решаване на различни целеви задачи от военен характер в и от Космоса. Както се вижда от фиг. 3, в зависимост от предназначението си и вида на военните действия ВКС се подразделят на системи за осигуряване на военните действия, ударни (за космическо настъпление), за противокосмическа отбрана (ПКО) и аерокосмически системи (АКС).



Фиг. 3. Видове военнокосмически системи

Постепенно се дефинират и утвърждават свойствата на ВКС като глобалност на използването на космическите системи; висока достоверност и точност на получаваната информация; способност за функциониране в реален мащаб на времето (РМВ) или близък до реалния; огромни обсеги и скорост на поразяване на целите; многоцелевост и многофункционалност, т.е. решаване на широк клас задачи от военен и невоенен характер.

След първия космически полет на Юрий Гагарин в Космоса започва ускорено развитие на основния и най-разпространен вид ВКС - космическите системи за осигуряване на военните действия (разузнавателни, навигационни, комуникационни, метеорологически, геодезически и спомагателни) [3], всяка от които създава своя орбитална групировка (ОГ).

В средата на 70-те години на XX век в Космоса функционират пилотируеми разузнавателни ОС „Алмаз“, решаващи трите горепосочени задачи и разполагащи с оптически визир със 70-80кратно увеличение на наблюдаваните обекти, както и съответна фотоапаратура.

Усъвършенствани варианти на разузнавателните спътници „Зенит“ и на американските сателити от серията „CORONA“, включително за детайлно и комплексно фотографиране, успешно функционират до 80-те години на XX век от САЩ и до второто десетилетие на XXI век от СССР. Тези КЛА са важен и перспективен инструмент в ръцете на държавните и военни лидери при вземането на важни решения. По такъв начин космическото разузнаване се превръща в съставна част на стратегическото разузнаване. Програмата за космическо разузнаване в САЩ се осъществява от Националното разузнавателно управление (NRO), а в СССР (по-късно в Русия) – от Главното разузнавателно управление (ГРУ) на ГЩ на ВС - едни от най-секретните разузнавателни структури в света.

Ниската оперативност в доставянето на информация от спътниковите системи за фоторазузнаване, както и другите им недостатъци, налагат създаването през 80-те години на XX век на спътници за оптикоелектронно и радиолокационно разузнаване, а по-късно – и на спътникови комерсиални системи за оптикоелектронно и радиолокационно наблюдение с двойно предназначение.

Постепенно се създават и конфигурират [3] съвременните спътникови разузнавателни системи (СРЗС) - за наблюдение, за електрононо разузнаване и за ранно откриване старта на ракети, включващи КЛА, спрегнати със съответна наземна, космическа (например, навигационна апаратура) и друга инфраструктура. През 80-те години на XX век, по оценки на водещи космически специалисти, СРЗС осигуряват разкриване на около 80-90% от военните обекти на противостоящата страна, с определяне на координатите им, както и осъществяване на оперативен контрол над развитието на кризисни ситуации в различни региони от света.

Понастоящем най-високите постижения в технологиите на СРЗС за наблюдение е възможността за предаване в РМВ на изображения от Космоса за движещи се цели в наземен център, като при необходимост тези изображения могат да бъдат цветни. –

Както бе показано на Фиг. 3, четвърта разновидност на ВКС са АКС – съвкупност от функционално взаимосвързани и съгласувано действащи самолет-носител или ракета-носител (РН), КЛА или ракети от класа „Въздух-Космос“, космическа и летищна инфраструктура, предназначени за решаване на различни целеви задачи в Космоса. Тези системи се създават на стика на авиацията и космонавтиката чрез спрягане на предимствата и недостатъците на самолетите и ракетите. Техни най-известни представители са въздушно-космическите кораби (ВКК) за многократно използване, т. е. космическите совалки, от американската програма „Space Shuttle“ (1982-2011 г.) и съветската „Енергия-Буран“ (1988).

Около 2 десетилетия преди началото на полетите на ВКК за многократно използване „Space Shuttle“ първият космонавт в света Юрий Гагарин и негови колеги от първата група започват обучение във ВВИА „Н. Е. Жуковски“ в Москва за получаване на специализирано

инженерно образование. Взето е решение в дипломните си работи те да разработят орбитален самолет, който да стартира в Космоса чрез РН, а се завръща на Земята, планирайки в атмосферата и извършвайки кацане на летище [5]. За целта е създаден моделиращ стенд-тренажор на ракетоплана със собствена електронно-изчислителна машина, на който Юрий Гагарин извършва 200 „кацания“ с отчитане на вятъра и кривината на планетата. Тази комплексна разработка е успешно защитена от космонавтите във ВВИА „Н. Е. Жуковски“ през 1968 г.



Фиг. 4. Летци-космонавти в аеродинамична лаборатория на ВВИА „Н.Е.Жуковски“ - Москва

Три години по-късно, в списание „Советское фото“ (1971 г./кн. 4) е публикувана снимка - Фиг. 4, на която космонавтите Гагарин, Титов, Николаев, Попович и Биковски оглеждат в аеродинамична лаборатория на ВВИА „Н. Е. Жуковски“ модел на ВКК, напомнящ космическата совалка „Space Shuttle“. Интересното е, че през този период в САЩ в закрит режим се обсъжда концепцията за създаване на ВКК за многократно използване „Space Shuttle“. Загадъчната снимка е не само символична. Тя показва, че още през втората половина на 60-те години на XX век Юрий Гагарин и колегите му работят и по перспективни АКС - орбитални самолети за многократно използване, които по предназначение са свързани преди всичко с военните аспекти на използването на Космоса.

Както е известно, в края на реализирането на програмата „Space Shuttle“ в САЩ започват изпитанията на нов вид АКС - експерименталния ВКК за многократно използване Х-37В ОTV, известен още и като безпилотна „минисовалка“ - Фиг. 5. По своята същност този КЛА е орбитален самолет, който се извежда в орбита с помощта на РН, а снижението и кацането извършва в автоматичен режим като самолет, т.е. като космическа совалка. Мисията му в Космоса е секретна. Предполага се, че този ВКК за многократно използване изпълнява и задачите на „космически инспектор“, като разполага с възможности за интензивно маневриране и промяна на орбитата от 200 до 750 km.

За периода 2010 – 2021 г. са изпълнени шест орбитални мисия на ВКК за многократно използване Х-37В ОTV с нарастваща продължителност. Петата мисия е с продължителност 780 денонощия, а шестата мисия стартира на 17.05.2020 г. и продължава до наши дни.

В резултат на развитието на високите технологии, водещи държави през XXI век като САЩ, Русия и Китай през последните години реализират нови военнокосмически програми, като използват в състава на своите ОГ КЛА с инспекционни възможности, които не могат да бъдат причислени към различните видове ВКС или към отделните групи СРЗС. Тези КЛА са известни с названието „спътници-инспектори“ (фиг. 6), като имат способността да маневрират в Космоса с цел сближаване с други ИСЗ и тяхното изучаване.

В съвременни условия се счита, че спътниците-инспектори решават задачи по т.нар. „ситуационна осведоменост“.



а) X-37B OTV, подготвен за монтиране към ракетата-носител



б) X-37B OTV на пистата на летището след кацане

Фиг. 5. Орбитален самолет за многократно използване X-37B OTV, подготвен за монтиране към ракетата-носител, и на пистата на летището след кацане

Спътниците-инспектори обикновено са малки КЛА - Фиг. 6, т.е. с малки габарити, а маневрирането извършват с помощта на йонни двигателни установки, характеризиращи се с голям срок на функциониране и икономичност. Преминавайки на достатъчно разстояние от друг сателит, спътникът-инспектор може да го огледа, да предаде изображението му на Земята, където да се извърши необходимия анализ. При необходимост спътникът-инспектор може да прехване даден сателит, да „извлече“ необходимата разузнавателна информация, да въздейства на сензорите му (заслепяване с лазерно средство, радиоелектронно въздействие) или на сателита като цяло.



Фиг. 6. Маневриране и сближаване на спътник-инспектор с друг космически летателен апарат

Особено активно водещите космически държави през XXI век (САЩ, Русия и Китай) използват спътници-инспектори, предназначени за следене на други сателити.

В САЩ за инспекционна дейност в Космоса от 2009 г. се използват секретните сателити „MITEX“, „PAN“ и „GSSAP“. По-конкретно, от 2014 г. в САЩ се реализира програма за спътници-инспектори „GSSAP“, т. е. програма за осведоменост за ситуацията на геостационарна орбита (ГСО), за контрол на космическото пространство в интерес на ВВС с възможности за орбитално маневриране.

От 2017 г. в орбита функционира и американския сателит ORS-5 с голям телескоп за наблюдение на КЛА на ГСО.

Счита се, че „минисовалката“ X-37B OTV се използва от американските ВВС и като спътник-инспектор, т. к. е в състояние да променя орбитата си, да носи разузнавателно оборудване и да пренася и пуска сателити.

От 2013 г. Русия реализира програма „Нивелир“ за спътници-инспектори, като първият от тях е КЛА „Космос-2491“, а през 2015 г. се появява и един спътника-инспектор „Космос-2504“.

По информация на астрономи-любители руският военен спътник „Луч“, летящ на ГСО, след съответно маневриране подслушва комуникациите на американски и френски сателити със Земята.

От спътника-инспектор „Космос-2519“ през 2017 г., по подобие на руска „Матрьошка“, се отделят два дъщерни спътника - отначало „Космос-2521“, а от него по-късно - „Космос-2523“. Според някои оценки, освен разузнавателни функции и контрол на техническото състояние на КЛА, в тези случаи е възможно да е провеждано и изпитание на орбитална противоспътникова система.

На 25.11.2019 г. от космодрума „Плесецк“ е изведен в орбита спътника-инспектор „Космос-2542“, като предназначението му е обявено от официални руски източници – „осъществяване на мониторинг на състоянието на отечествените спътници и заснемане на повърхността на Земята“. Този КЛА се оказва на същата орбита, на която лети разузнавателния USA-245 „KH-11“, което принуждава последният сателит да промени параметрите на орбитата си. По-късно, на 06.12.2019 г. от „Космос-2542“ се отделя дъщерния спътник „Космос-2543“.

Китайските спътници „Chuang Xin 3 (CX-3)“, „Shiyan 7 (SY-7)“ и „Shiyan 15 (SY-15)“, официално предназначени за борба с космическия „боклук“, са извършвали взаимно сближение, което напомня на действията на спътниците-инспектори. Сателитът „Shiyan 17“, обявен като експериментален спътник, се премества по ГСО и сближава до 100 km с други КЛА. Според някои анализатори този спътник е китайски аналог на американския сателит „PAN“ или на руския спътник „Луч“.

Спътниците-инспектори, които са перспективно военнотехническо средство, се очертават като елементи на съвременните ешелонирани системи за ПКО главно на САЩ, Русия и Китай.

По мнение на водещи космически експерти спътниците-инспектори, създадени и използвани за решаването на военни задачи, имат и цивилни приложения основно в две направления: борба с т. нар. „космически боклук“ и зареждане и обслужване на ИСЗ в орбита.

Необходимостта от военна дейност в Космоса обуславя създаването на специализирани военни структури от водещите космически държави. В САЩ и Русия космическите войски преминават след 1957/1958 г. през различни организационни трансформации до утвърждаването им като съвременни космически сили.

Понастоящем космическите войски на САЩ, предназначени за провеждане на операции в космическото пространство, са създадени по предложение на Президента Доналд Тръмп, който на 21.12.2019 г. обявява за създаването на Космически сили като шести вид ВС.

В Русия космическите войски като отделен род войски на централно подчинение съществуват от 2001 г., но дейността в това направление стартира още след полетите на КК от серията „Восток“. През 2015 г., в резултат на обединяване на ВВС и Войските за въздушно-космическа отбрана, се формират Въздушнокосмически сили с три рода войски – ВВС, Войски за противовъздушна и противоракетна отбрана и Космически войски.

Според водещи световни военнокосмически експерти без космически системи, средства и специализирани структури е крайно затруднително нормалното функциониране на ВС в мирно време, а при кризи и водене на военни действия е практически невъзможно. Това с особена сила се отнася и за малки страни като Република България, която е със значителен опит и постижения в космическите изследвания.

Литература:

1. Пенев, П. Б. Първият орбитален полет на човек и отражението му върху военната дейност в Космоса, ЮНС „40 години от първия полет на човек в Космоса“, ВВВУ „Г. Бенковски“ Долна Митрополия, 2001 г., Том 1 стр. 47–64.
2. Пенев, П. Б. и др. Космосът във военното дело, С., ВИ, 2003.
3. Пенев, П. Б. Космос и сигурност, С., ВИТАЛ, 2014.
4. Первушин, А. Битва за звезди. Космическое противостояние, М., АСТ, 2003.
5. Первушин, А. Гагарин. Рассекреченные документы и факты, М., Пальмира, 2017.
6. Славин, С. Н. История военной космонавтики, М., ВЕЧЕ, 2018.
7. AVIATION WEEK & SPACE TECHNOLOGY, 2018–2021.
8. <https://topwar.ru>
9. <https://vz.ru>
10. <https://aboutspacejournal.net>
11. <https://zvezdaweekly.ru>
12. <https://aviator.guru>

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА ПОЛЕТА НА БЕЗПИЛОТНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ КВАДРОКОПТЕРИ

Павлин Граматиков

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

Ключови думи: Летателни характеристики, безпилотен електрически квадрокоптер, електрически параметри, ArduPilot, INAV

Резюме: Основни полетни и електрически параметри на два квадрокоптера са проучени с различни електрически задвижващи системи, батерии и полезни товари. Изследвани и приложени са графични и таблични експериментални данни от реални полети.

RESEARCH OF FLIGHT CHARACTERISTICS OF UNMANNED ELECTRIC QUADROCOPTERS

Pavlin Gramatikov

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

Keywords: Flight characteristics, unmanned electric quadcopter, electrical parameters, ArduPilot, INAV

Abstract: Basic flight and electrical parameters of two quadcopters have been studied in different electric propulsion systems, batteries and payloads. Graphical and tabular experimental data from real flights are studied and applied.

Въведение

Телеметрията на един безпилотен летателен апарат дава в реално време на земята процесите на борда и цели безавариен и безопасен полет. Предлага се пилот-инженер непрекъснато да я следи, да насочва и предупреждава летеца в процеса на полета.

От гледна точка на оптимизиране на енергийните параметри на един мултикоптер може да се използват експериментални изследвания в лабораторна среда. Като методика се предлагат тестови полети в затворено помещение за измерване и запис на важните параметри на служебната част от апаратурата на мултикоптер, както на борда, така и на земята по няколко комуникационни канали.

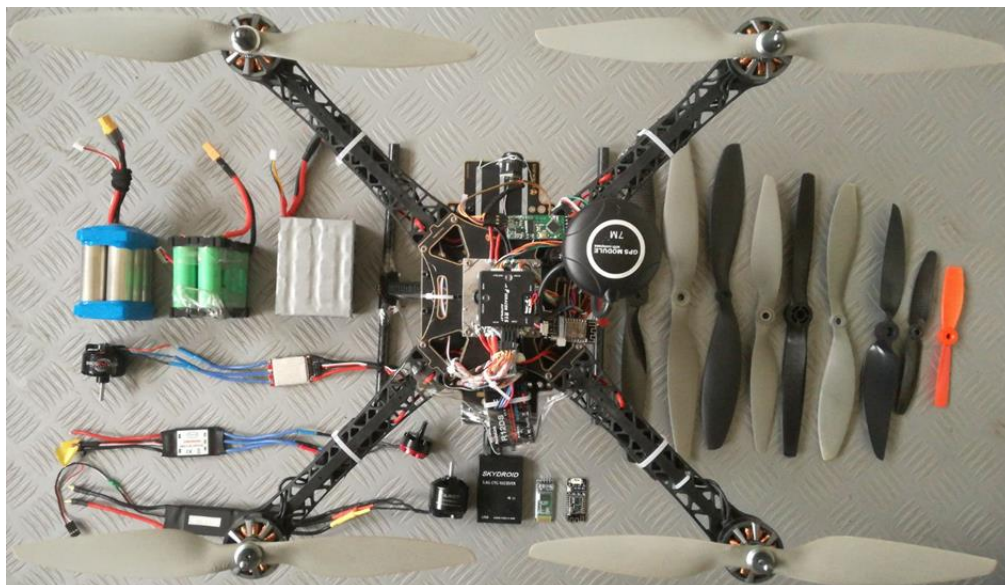
При оборудването на готова и завършена рама на електрически мултикоптер, се решават три основни задачи: оптимизиране на двигателната част (изследване на подходящи електрически двигатели, контролери на скоростта и пропелери към тях); избор и настройки на автопилот и софтуер към него, а за финал – изследване на различни акумулаторни батерии според задачите на полета. За целта при различни условия се разчитат, сравняват и анализират характеристики на полета от файлове на черната кутия на самолета и наземни записи.

Експериментална база

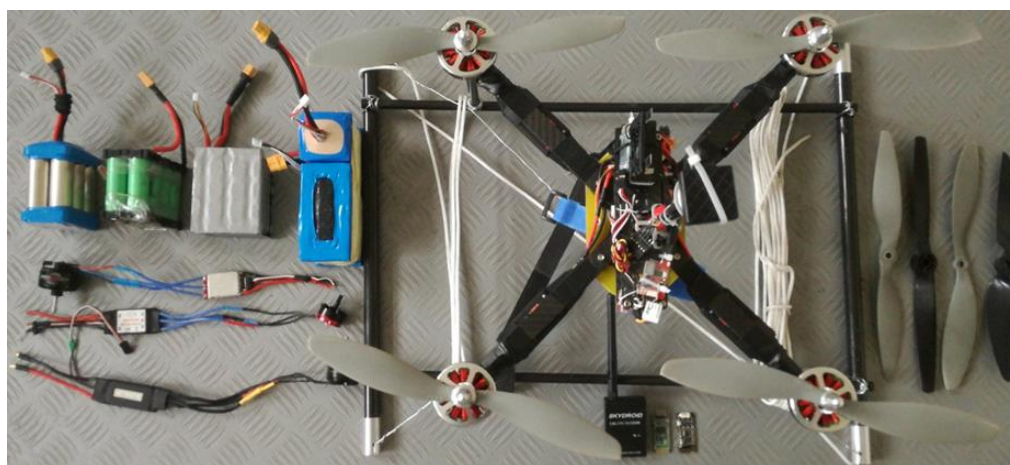
Извършени са над 20 полета с два електрически квадрокоптера (виж Фиг. 1 и Фиг. 2) с различно бордно оборудване в зала с размер 22x6 m и височина 4 m. Всеки от тях е изследван с три хардуера на бордни автопилоти на базата на следните процесори: STM32F405; STM32F765

и STM32F427. Изследвани са три варианта на софтуер: ArduPilot; INAV и Betaflight. В Таблица 1 са дадени част от параметрите на използваните бордни конфигурации.

Първата хардуерна част на бордния автопилот е дадена на Фиг. 3а. За полетен контролер се използва F405-STD който има 6 изхода за контролери на скоростта. Той работи съвместно с платка FCHUB-6S PDB, която има три функции: понижаващ преобразувател от 24 V към 5 V (BEC-5 V); радиопредавател 5,8 GHz (OSD FPV) и сензор за тока на батерията (Current1 184 A).



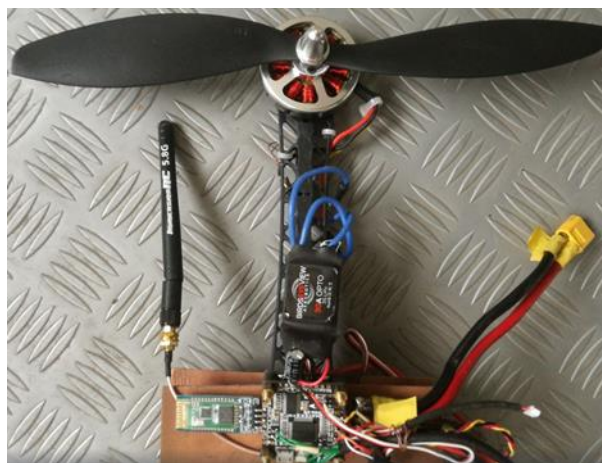
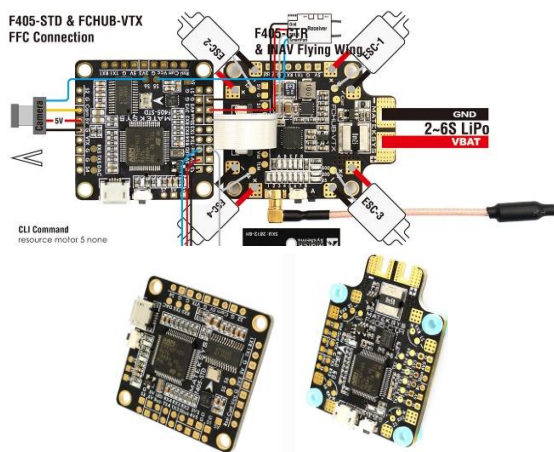
Фиг. 1. Електрически квадрокоптер №1 с разстояние между осите 340 mm и тегло 1122 g, без батерия



Фиг. 2. Електрически квадрокоптер №2 с разстояние между осите 275 mm и тегло без батерия 1250 g, включително шейна и въже за полет

Таблица 1. Три бордни конфигурации на безпилотни електрически квадрокоптери

MCU	IMU	Baro-meter	OSD	Blackbox	Soft	Sensor	BEC[V]	Tele-metry
STM32F405	ICM20602	BMP280	AT7456E	MicroSD 4 GB	ArduPilot Betaflight INAV	Battery1 Current _{out} 184 A	Външен 5 V Външен 10 V	Bluetooth WiFi 2,4 GHz 5,8 GHz
STM32F765	ICM20602	SPL06-001	FrSky	MicroSD 4 GB	INAV	Battery1 Current1 150 A	5 V 5/6/7/8 V 5/9 V	Bluetooth 2,4 GHz 5,8 GHz
STM32F427 168 MHz 256KB RAM 2 MB Flash	MPU-9250	MEAS MS5611	ST LIS3MDL magneto- meter	MicroSD 4 GB	ArduPilot	Battery1 Current _{out}	Външен 5 V	Bluetooth WiFi 2,4 GHz 5,8 GHz



Фиг. 3а,б,в. Първа бордна част <http://www.mateksys.com/?portfolio=f405-std#tab-id-1>

Част от втората хардуерна част на бордния автопилот е дадена на Фиг. 4. Използван е полетен контролер R9/RXSR Pilot, който има 12 изхода за контролери на скоростта и се захранва с напрежение от 11÷51 V. Той обединява в себе си 3 платки (виж Фиг.4а,б,в):

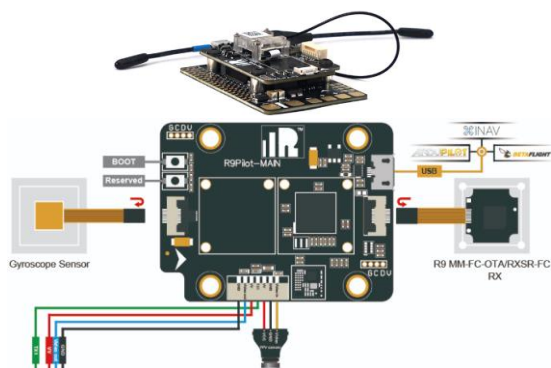
Първата платка има токов сензор с датчик на Хол и четири понижаващи преобразувателя (BEC₁-3,3V/0,5A, BEC₂-5V/1A, BEC₃-5÷8V/5A BEC₄-5÷9V/2A). Към нея по 54 извода може да се свърже периферия: GPS модул; магнитометър; 12 серво машинки; 2 аналогови входа и др.

Във втората платка (виж Фиг. 4б) се намират основният процесор и чипът за телеметрия OSD FrSky. Към нея може да се свържат: радиопредавател 5,8 GHz с протокол VTX; аналогова камера; конфигуриращ по микро USB конектор; жирокопен сензор и телеметричен модул, както и MicroSD карта за запис на бордната телеметрия (Black Box) с обем 4 GB.

Третата платка се свързва с лентов кабел (виж Фиг. 4б) и има два варианта:

- Модул за телеметрия на 4 до 16 канала работещ на честоти 915 MHz и 868 MHz (R9 MM-FC-OTA) на разстояние до 10 km. Има изходи на 16 канала по RSSI. Съвместими са три наземни модули за телеметрия: R9M Lite, R9M Lite Pro и R9M 2019 with ACCESS.
- Модул за управление и телеметрия (RXSR-FC RX) работещ на честота 2,4 GHz. Има изходи на 16 канала по F.Port и S.Port. Работи с наземни модули на две фирми: Taranis X9D/X9D Plus/X9E; Taranis Q X7; Taranis X-Lite и Horus X12S/X10.

Към R9/RXSR Pilot (виж фиг.4в) са свързани външни Bluetooth и WiFi модули, които комуникират с лаптоп или смартфон на земята с инсталиран софтуер на INAV - Configurator и INAV Mission Control. Така чрез възможностите на INAV дистанционно в процеса на полета в затворено помещение може: да се визуализират и записват параметри; да се управлява допълнително квадрокоптера от пилот-инженера (паралелно на ръчното управление на летеца); да се записват полетни характеристики и също така да се извършва предполетна подготовка.



Фиг. 4а,б,в Втора бордна част и квадрокоптер № 2 <https://www.frsky-rc.com/product/r9rxsr-pilot/>

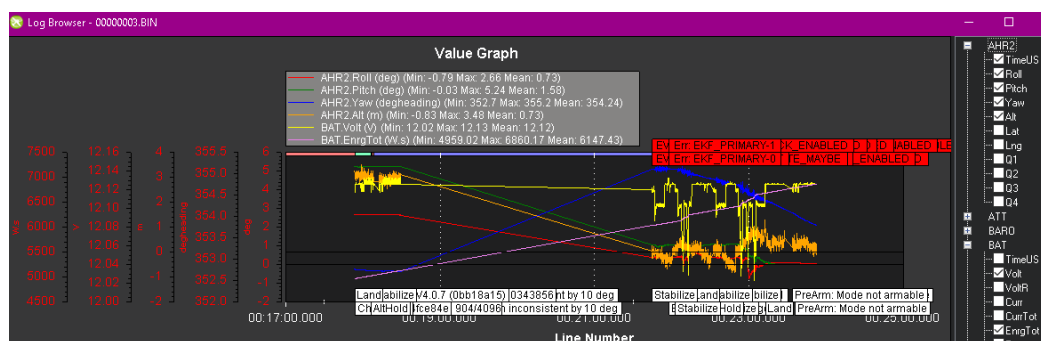
Третата хардуерна част на бордния автопилот е дадена на Фиг. 5а,б,в. Използван е полетен контролер Pixracer R15 (виж Фиг. 5а), който има 6 изхода за контролери на скоростта и се захранва от външен BEC-5 V. На Фиг. 1 се вижда монтиран и настроен комплектът от Фиг. 5б. С ArduPilot софтуер и протокол за комуникация Mavlink чрез външни модули за Wifi и Bluetooth са реализирани двупосочни връзки борд-земя. При няколко полета на борда на квадрокоптер №1 са записани в MicroSD карта над 100 летателни параметъра.

На Фиг. 5в е даден поглед отдолу, разписание на конекторите и слота за MicroSD карта.

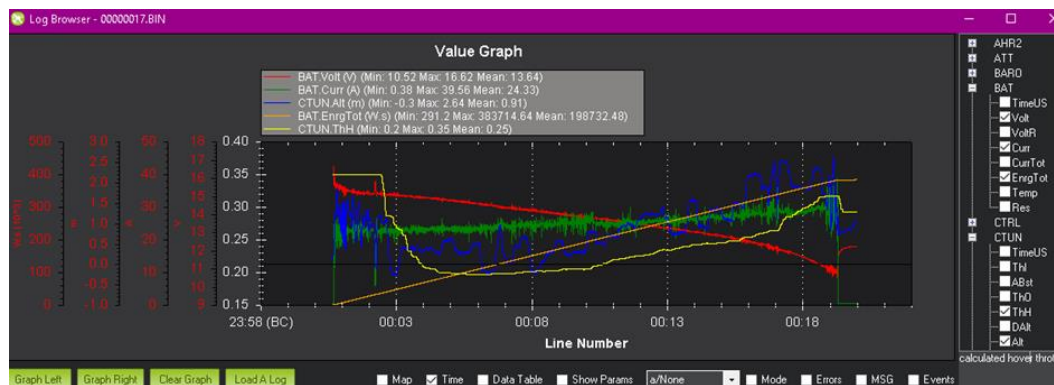


Изследване на характеристиките на полета

На Фиг. 6 е даден полет №3, записан на бордната SD карта и прочетен от Mission Planer впоследствие. Цветовете на шест полетни параметъра са: 1) с червено е крен - Roll [deg]; 2) със зелено е тангаж - Pitch [deg]; 3) със синьо е курс - Yaw [deg]; 4) с оранжево е височина - Alt [m]; 5) със жълто е напрежението на батерията - BAT.Volt [V] и 6) с лилаво е енергията на батерията – BAT.EnrgTot [W.s]. Забелязва се, че батерията в началото на полета е била 12,13 V, а в края е 12,02 V. Височината на полета е от 3,4 m в началото и -0,83 m в края на полета.

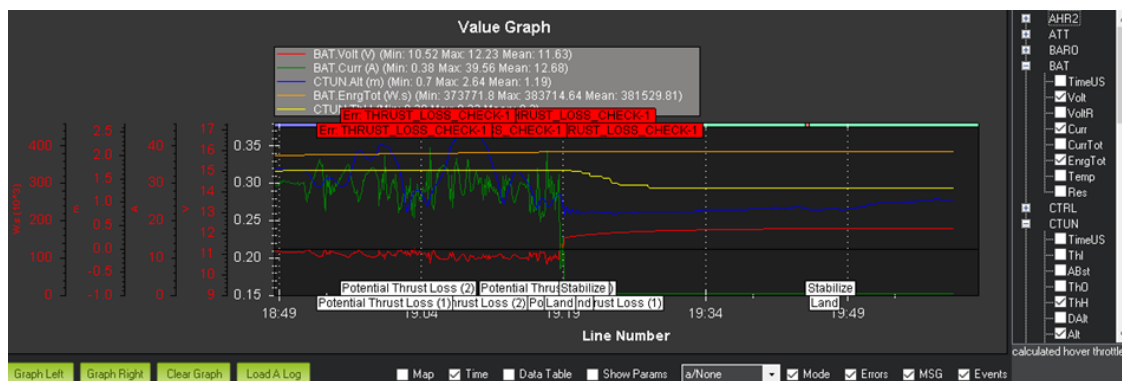


На Фиг. 7 е даден полет №17, от който са избрани четири параметъра: 1) с червено е напрежението на батерията BAT.Volt [V] (начално 16,62 V и минимално 10,52 V); 2) в зелено е токът на батерията BAT.Curr [A] (той е минимален при изключени двигатели 0,38 A, и максимален 39,56 A); 3) в синьо е височината на полета – CTUN.Alt [m] (начална при 0 m, минимална -0,25 m и максимална 2,65 m); 4) в оранжево е енергията на батерията – BAT.EnergTot [W.s] и 5) в жълто е относителното положение на ръчката за газ – CTUN.ThH. Тя има следните стойности: при излитане е максимална 0,35; от пета до осма минута е минимална 0,20, а при кацане е висока 0,32 за да компенсира ниското напрежение на батерията.



За целия полет при среден ток 24,33 А и за средно напрежение на батерията 13,64 V се пресмята средната консумирана мощност 331,86 W за 0,33 h. При батерия, изпълнена като 4S3P от 12 броя акумулатори се получава средна енергия $331,86 \cdot 0,33 / 12 = 9,126 \text{ Wh}$ за всеки от тях. Нека батерията се състои от 12 броя Samsung INR18650-25R, за който производителят дава енергия 8,61 Wh при работен ток $24,33 / 3 = 8,11 \text{ A}$. Тогава времето на полета ще се съкрати $8,61 / 9,126 = 0,94$ или с 6 %. А батерия от 12 броя акумулатори Samsung INR21700-40T в същия режим ще даде $14,16 \cdot 12 = 169,92 \text{ Wh}$ и време за полет $169,92 / 331,86 = 0,51 \text{ h}$, вместо $8,61 \cdot 12 / 331,86 = 0,31 \text{ h}$ при INR18650-25R. Методика за по-прецизно изчисляване на времето на полета ще бъде дадено в друга публикация на автора.

На Фиг. 8 е дадена лупа на Фиг. 7 от последната минута на полета. В 19,19 минута токът на батерията е нулев, а напрежението на батерията се вдига рязко от 10,8 V до 12,2 V, а енергията достига стойност 380 Wh и спира да расте, защото са изключени двигателите.



Фиг. 8. Кацане при полет №17 на квадрокоптер №1



Фиг. 9а,б,в,г Полет с INAV на квадрокоптер №1 и снимки от: 1,48; 9,33; 17,08 и 18,00 минута

	A(X)	B(Y)	C(Y)	D(Y)	E(Y)	F(Y)	G(Y)	H(Y)	I(Y)	J(Y)	K(Y)	L(Y)	M(Y)	N(Y)	O(Y)	P(Y)
Long Name	Trotle	JD-MR	JD-MR	JD-MR	APC	APC	APC	APC	APC	APC	JD-MR	JD-MR	JD-MR	JD-MR	JD-MR	JD-MR
мотор-перун	мотор-93rp	перун-40rp	3+40+21=15								перун-40rp			мотор-102rp	Таро2814	700kv
Parameters	24.5v	12x4.5	12x4.5	12x4.5	10x4.7	10x4.7	10x4.7	10x4.7	10x4.7	10x4.7	24.5v	12x4.5	12x4.5	14.3v	12x4.5	12x4.5
Units	%	gram	wat	gram/1wat	standart400	11gram	oneshoot	gram/1wat	standart	standart	gram/1wat	wat	gram/1wat	gram	wat	gram/1wat
Comments		21gram									21gram	oneshoot	oneshoot	21gram		
F(x)=																
1	10	28tr=m+++p	hp		25tr=m+++p									29tr=m+++p	102+40+21=163	
2	12	33tr=2(m+++p)	68w		34tr=2(m+++p)	71w								39tr=2(m+++p)	62w	
3	14	43tr=4(m+++p)	116w		48tr=4(m+++p)	134w								49tr=3(m+++p)	74w	
4	16	51tr=6(m+++p)	175w		58tr=6(m+++p)	224w										
5	18			34	0.20588	36	34.3	1.04966	22	33	0.66667	34	35	0.97143	19	1.11765
6	20		33	35	0.94286	65	37	1.75676	50	36	1.38889	62	37	1.67568	43	1.926316
7	22		80	39	2.05128	104	40	2.6	74	38	1.94737	89	39	2.28205	69	2.38571
8	24		98	41	2.39024	136	44	3.09091	110	42	2.61905	132	44	3	95	24
9	26		134	45	2.97778	178	49	3.63265	140	46	3.04348	172	48	3.58333	126	27
10	28		188	51	3.68627	210	53	3.96226	180	51	3.52941	220	54	4.07407	150	29.56
11	30		240	57	4.21053	267	61	4.37705	223	57	3.91228	270	60	4.5	184	33
12	32		288	63	4.57143	286	64	4.46875	272	64	4.25	320	68	4.70588	225	37.7
13	34		350	72	4.86111	329	71	4.6338	308	70	4.4	372	75	4.96	242	40.4
14	36		382	77	4.96104	375	79	4.74684	352	76	4.63158	428	83	5.15663	279	45
15	38		453	88	5.14773	422	87	4.85057	400	85	4.70588	483	92	5.25	316	49
16	40		520	98	5.30612	470	96	4.89583	440	91.5	4.80874	552	104	5.30769	345	53.5
17	42		582	110	5.29091	510	104	4.90385	480	99	4.84848	620	116	5.34483	382	58.5
18	44		660	123	5.36585	560	113	4.95575	523	108	4.84259	685	130	5.26923	402	61.8
19	46		695	130	5.34615	602	122	4.93443	580	118	4.91525	715	134	5.33582	431	66.7
20	48		772	145	5.32414	652	134	4.86567	649	134	4.84328	803	151	5.31788	470	72
21	50		878	166	5.28916	730	151	4.83444	680	140	4.85714	926	179	5.17318	495	76
22	52		943	184	5.125	807	170	4.74706	755	157	4.80892	996	194	5.13402		
23	54		1040	205	5.07317	860	181	4.75138	853	184	4.63587					
24	56					920	198	4.64646	890	190	4.68421					
25	58					1030	224	4.59821	980	214	4.57944					
26	60															

Фиг. 10. Сравнение на ефективността на два вида двигателя и два вида пропелери

На Фиг. 9а,б,в,г са дадени четири скрийншота от видеозапис с формат .avi с аналогов телевизионен стандарт PAL. Така изглежда OSD FPV телеметрия 5,8 GHz с INAV. Избрани параметри на полета на Фиг. 9а,б,в са: напрежение на батерията 15,64 V/13,73 V/11,47 V; ток на батерията 18,1 A/18,8 A/21,4 A; използван капацитет на батерията 55 mah/2450 mah/49930 mah; консумирана текуща мощност 282 W/258 W/246 W; газ 49 %/52 %/55 %; сила на входния сигнал

RSSI на бордния радиоприемник на 2,4 GHz в проценти 99/99/99; режим на полета ANGL и други. Комуникацията до 2 km разстояние на квадрокоптер №1 се реализира на борда с FCHUB-6S PDB, а на земята с SKYDROID OTG Reciever. На фиг. 9г е даден отчет за параметрите на полета след кацане. На фиг. 10 е дадена таблица от OriginLab за зависимостта на тягата от вида на пропелерите (12x4,5 и 10x4,7) и от вида двигателите (93 g и 102 g). Сравняват се жълтата (при 24,5 V е 483 g/525 g/W) и оранжевата (при 14,3 V е 495 g/651 g/W) ефективности и се доказва, че при кацане $651/525=1,24$ пъти по-добре се използва акумулаторът (паднал е от 24 V на 14 V). При сравнение на два режима на управление на контролера на скоростта (oneshoot в зелено и standart400 в лилаво) печалба от 1 до 2 процента дава oneshoot в ефективността при равни тяги.

Заклучение

Направен е анализ на летателни и електрически параметри по време и след реален полет в затворено помещение. Записани са на борда и на земната станция важни параметри на полета. Реализирано е двустранно предаване на телеметрични данни по три различни радиоканала. За запис на над 100 летателни параметри на борда е използвана MicroSD карта като черна кутия. В наземната част на телеметричната система на лаптоп и смартфон са визуализирани и записани изображения от пилотската камера и OSD параметри на полета. За целта се използват радиоканали с носеща честота 2,4 GHz и 5,8 GHz, както и Bluetooth и WiFi мрежи.

Благодарности

Изследванията са реализирани благодарение на съдействието на Първа Частна Експериментална Лаборатория за Аерокосмически Изследвания (ПЧЕЛАКИ) „Райт – Аероспейс” – ЕООД, <https://rait-aerospace.com/index.htm>. Оборудване по бордна и наземна част на квадрокоптер №1 и №2 са предоставени, монтирани и консултирани от инженер Райчо Тодоров, президент на ПЧЕЛАКИ. Ще се публикуват други данни от полети с квадрокоптер №1 и №2.

Литература:

1. Frank Karg, Sascha Gefler, Florian Flerlage. The iNAV Indoor Navigation System, International Symposium on Ubiquitous Computing Systems, UCS 2007: Ubiquitous Computing Systems pp 110–117
DOI: 10.1007/978-3-540-76772-5_9
2. Lienkov, S., A. Myasishev, L. Komarova, N. Lytvynenko, V. Shvab, O. Lytvynenko. Creation of a Rotor-Type UAV with Flight Controllers, Based On a ATmega2560 and STM32f405 Microprocessors. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – 2020. – August, Vol. 8, No. 8. – P. 4703–4710.
<https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/104882020>.
3. Lienkov, S., A. Myasishev, O. Banzak, Y. Husak, I. Starynski. Use of rescue mode for UAV on the basis of STM32 microcontrollers. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. – 2020. – Vol. 9, No. 3, May – June. – P. 3506–3513.
<https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/156932020>.
4. Nataliya Lytvynenko, Olexander Myasishev, Serhii Lienkov, Yuriy Husak, Ivan Starynskiy. Designing of the Aero Video Intelligence on the STM32H Microcontrollers Basis. Basis. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). – 2020. – Vol. 9, Iss. 8 (June). – P. 88–93.
<https://doi.org/10.35940/ijitee.H6176.069820>
5. Alexandr Myasishev, S. V. Lienkov, L. A. Komarova, Ye. S. Lienkov. Features of use of rescue mode in Betaflight firmware for UAV on the basis of STM32F405 controller. Article in Collection of scientific works of the Military Institute of Kyiv National Taras Shevchenko University · January 2020
<https://doi.org/10.17721/2519-481X/2020/67-02>
6. Alexandr Myasishev, PROGRAMMING ESC SIMONK-30A REGULATORS AND EMAX SIMON-12A THROUGH ARDUINO AND FLIGHT CONTROLLER, March 2019
DOI: 10.31891/2307-5732-2019-271-2-228-237
7. Sverdlov, S. Z. Rate of Climb of Electric Multicopter. Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie. 2016;17(6):425–432. (In Russ.) <https://doi.org/10.17587/mau.17.425-432>
8. Свєрдлов, С. З. Статический потолок электрического мультикоптера. Инженерный журнал: наука и инновации #10(82)/2018 DOI: 10.18698/2308-6033-2018-10-1808
9. Свєрдлов, С. З. Выбор оптимального аккумулятора для многороторного беспилотного вертолета (мультикоптера). Инженерный журнал: наука и инновации #5(65)/2017
DOI: 10.18698/2308-6033-2018-10-1808
10. Свєрдлов, С. З. Оптимальный вертикальный подъем электрического мультикоптера. Инженерный журнал: наука и инновации #11(59)/2016 DOI: 10.18698/2308-6033-2016-11-1551
11. Сотиров, Г., Е. Хубенов, З. Чифлиджанова. Формиране и изследване на интелигентна интегрирана мобилна система за мониторинг на критична инфраструктура, Sixteenth International Scientific Conference SPACE, ECOLOGY, SAFETY 4–6 November 2020, Sofia, Bulgaria, pp. 144–149
12. Хаджиев, Й., Христиан Панайотов, Димо Зафиров. Изследвания за реализация на автономен полет на безпилотен летателен апарат. BulTrans-2014. Sozopol. 17-19 September 2014

ТЕЛЕМЕТРИЧНА СИСТЕМА ЗА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА ПОЛЕТА НА БЕЗПИЛОТЕН ЕЛЕКТРИЧЕСКИ КВАДРОКОПТЕР

Павлин Граматиков

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

Ключови думи: *Телеметрия, летателни характеристики, безпилотен електрически квадрокоптер, електрически параметри, ArduPilot, Mission Planner, Linux, Mavlink*

Резюме: *Изследвана е телеметрична система за параметрите на полета на електрически квадрокоптер в различни комуникационни технологии. Разглеждат се блок -схеми на бордната част на системата. Приложени са графични данни от експериментални полети.*

TELEMETRY SYSTEM OF FLYING CHARACTERISTICS OF AN UNMANNED ELECTRIC QUADCOPTER

Pavlin Gramatikov

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

Keywords: *Telemetry, flight characteristics, unmanned electric quadcopter, electrical parameters, ArduPilot, Mission Planner, Linux, Mavlink*

Abstract: *The telemetry system for the flight parameters of an electric quadcopter in various communication technologies was studied. Block diagrams of the onboard part of the system are considered. Graphical data of experimental flights were applied.*

Въведение

Известни са много системи за управление на мултикоптери. Интерес за изследователите представляват хардуерни платформи с отворен код (OSHP). В [7] са разгледани девет OSHP (виж фиг. 6). Популярни са три от тях, притежаващи борден и наземен софтуер: Betaflight; INAV и ArduPilot <https://ardupilot.org/>. Богати възможности за телеметрия има ArduPilot [5].

За постигане на повече функции и режими на AP се използват Linux базирани бордни контролери, които последните години се предлагат от все повече производители <https://ardupilot.org/copter/docs/common-autopilots.html#common-autopilots>. Затова за разработка на борден модул за експериментални полети с мултикоптери с цел проучване на техните летателните характеристики е предпочетен AP, базиран на Linux.

За телеметрия ще се използват две наземни станции GCS: Mission Planner [6] и QGroundControl <https://docs.qgroundcontrol.com/master/en/>. Те работят с Mavlink - протокол за информационно взаимодействие между борд и земя <https://ardupilot.org/dev/docs/mavlink-basics.html>. Той има LGPL лиценз с модул за python, header-only, C/C++ библиотека. Засега са завършени две версии на MAVLink: v1 и v2. Протоколът MAVLink (разработен 2009 година от Lorenz Meier <https://www.linkedin.com/in/meierlorenz> кодира и декодира пакети и предава данни с различни хардуерни и софтуерни средства. Например TCP/UDP съобщения, сериен порт или друг двупосочен обмен.

При използването на AP основното ограничение за бордния хардуер е размерът на флаш-паметта на FCU, нужна за обемистите нови версии на бордния софтуер, нуждаещи се

минимум от 1 MB RAM. При недостиг на RAM се губят част от функциите: MAVFTP, Compass Calibration, Logging, Terrain downloading.

Хардуерна част на проекта

Бе избран контролер BBB, препоръчан от AP за нови разработки и притежаващ перспективни ресурси на хардуера. <https://ardupilot.org/copter/docs/common-beagle-bone-blue.html>

В Таблица 1 са сравнени полетните контролери от старо и ново поколение Pixracer R15 и BBB. Предимства на BBB са: вградени комуникация WiFi и Bluetooth; бърз 4GB eMMC flash; работа с външен дисплей <https://gist.github.com/jadonk/0e4a190fc01dc5723d1f183737af1d83> (Adafruit 2.4" TFT LCD with Touchscreen); независимо захранване от акумулаторна батерия; графичен процесор power sgx530 и три вградени преобразувателя на напрежение DC/DC (BEC),

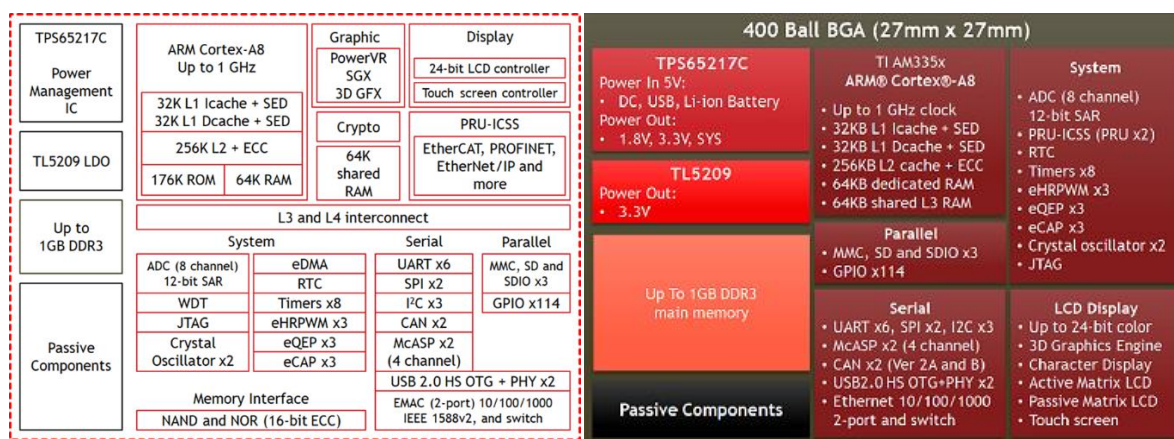
Лесно приложими интерфейси на BBB са: GPS, DSM2 radio, UART x5, SPI x2, I2C, 1.8V ADC, 6 buttons, 11 LEDs, CAN, 3.3V GPIO, USB 2.0 client and host, Bluetooth 4.1, WiFi-802.11bgn.

Таблица 1. Полетни контролери BBB и Pixracer R15

MCU	IMU	Baro-meter	OSD	Blackbox	Soft	Sensor	BEC [V]	Telemetry
Linux (Debian), ROS Octavo OSD3358 1GHz ARM Cortex-A8 512MB DDR3 RAM 4GB eMMC flash ARM Cortex-M3	MPU-9250 9-axis	BMP280	Yes	MicroSD 4GB USB 2.0 client and host	AP	Battery1 Battery2	Vbat2S 5 V 6 V	Bluetooth-4.1 BLE WiFi-802.11bgn Telemetry1 Telemetry2
STM32F427 168 MHz 256KB RAM 2 MB flash	MPU-9250	MEAS MS5611	ST LIS3MDL magneto- meter	MicroSD 4GB	AP	Battery1 Curr _{out}	no	Telemetry1 Telemetry2

От На Фиг. 1-а,б е показан чипът OSD3358 на бордния едноплатков компютър в корпус single BGA 27x27 mm, <https://octavosystems.com/docs/osd335x-datasheet/> както и друг хардуер:

- Texas Instruments Sitara™ AM335x ARM® Cortex®-A8 Processor
- 1 GB DDR3L Memory
- TPS65217C Power Management IC
- TL5209 LDO and over 140 Passive components



Фиг. 1. а,б. Блокова схема на контролера на BBB <https://octavosystems.com/docs/osd335x-datasheet/>

При произволна комбинация на входните източници (USB порт, 5 V от адаптер или една литиево-йонна батерия) микросхемата TPS65217C (виж Фиг. 2а,б) има следните функции https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps65217.pdf?ts=1634134805150&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fdocument-viewer%252FTPS65217%252Fdatasheet%252Fdevice-images-dv: заряд на една клетка литиево-йонни или литиеви батерии; един повишаващ преобразувател за захранване до 10 светодиода; три понижаващи преобразувателя с работна честота 2,25 MHz за ядрото, паметта и системата. Размерите на TPS65217C са 6 x 6 mm.

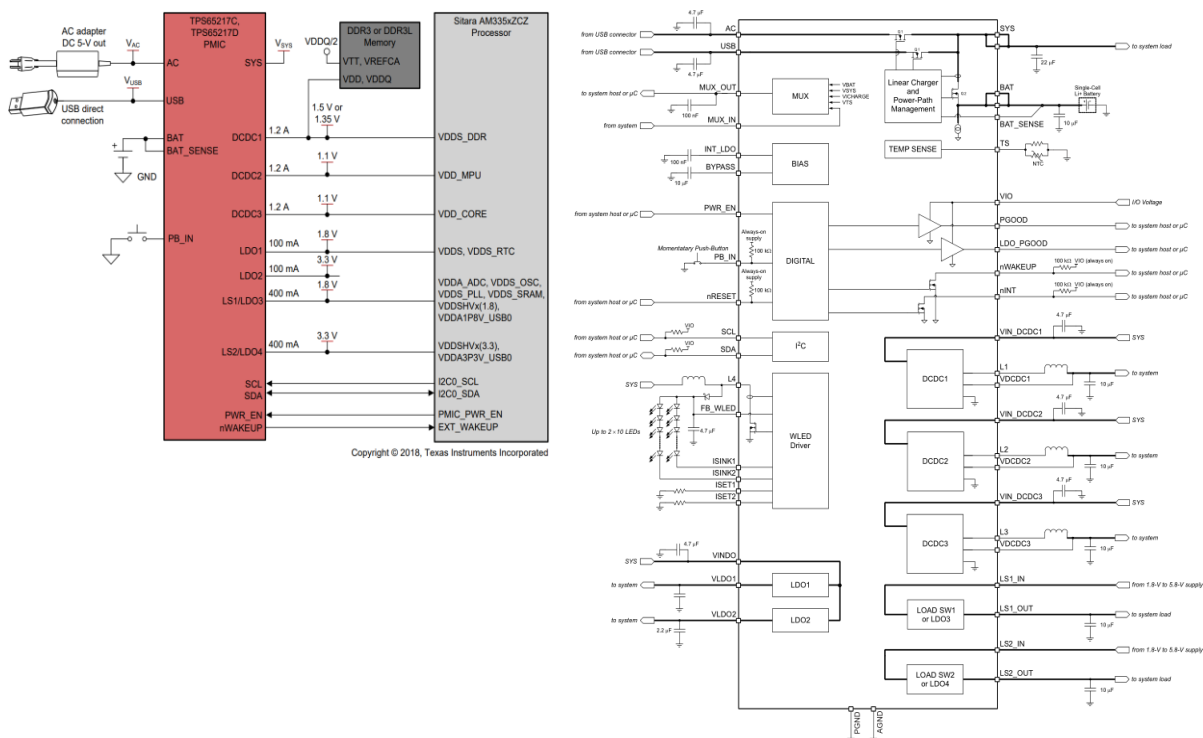
Чипът TL5209 LDO представлява нискошумящ аналогов регулатор с нисък спад на напрежение и осигурява 3,3 V. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl5209.pdf?ts=1634130830520>

С два чипа TB6612FN6, захранени от V_BAT (6,6÷8,4 V) са реализирани четири мощни драйвери за четири постояннотокови двигателя, (виж Фиг. 3). Всеки изход е изпълнен в схема на пълен мост. Един чип управлява два двупосочни DC двигателя или един биполярен стъпков двигател. За един изход за двигателя се допускат 3 A максимален и 1 A постоянен ток. <https://www.tme.eu/Document/f69c44f5b284761d41a1fa952256eb8d/TB6612FNG.pdf>.

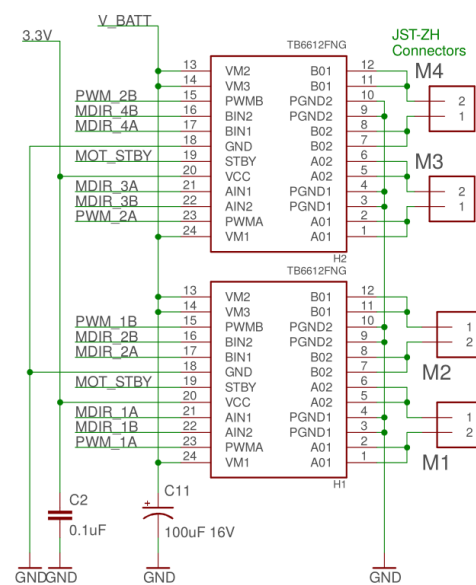
Има три режима на двигателя: CW; CCW; short brake and stop mode. Възможни DC двигателя са Hobby Gearmotor - 140 RPM и Hobby Motor – Gear.

На Фиг. 4а е дадено свързването към 2S батерия V_BAT и външно захранване VCC в диапазона от 9 V до 18 V. За акумулатор се препоръчват 1 Ah 2S 20C LiPo или 1,6 Ah 2S 20C. На Фиг. 4-а,б са дадени два преобразувателя: BEC-5V с изходна мощност 20 W, който е изграден с чип AP1509 и BEC-6V, изпълнен с чип AOZ1284. Към изхода на BEC-6V може да се свържат следните серво мотори: Parallax Inc. 900-00005 Standard Servo; Hobby King SKU HD-1900A и TowerPro SG92R-7.

На Фиг. 5-а,б са дадени сензорът BMP280 за барометрична височина <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bmp280-ds001.pdf> както и сензорът MPU-9250 за IMU <https://github.com/bolderflight/MPU9250/blob/main/docs/MPU-9250-Datasheet.pdf>. Той съдържа датчици на Хол и има размер 3x3x1 mm. Осъществява 3 функции; жирокоп по 3 оси; акселерометър и магнитометър по 3 оси.

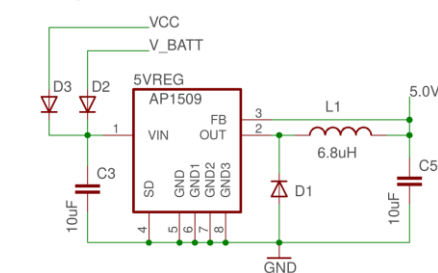


MOTOR DRIVERS

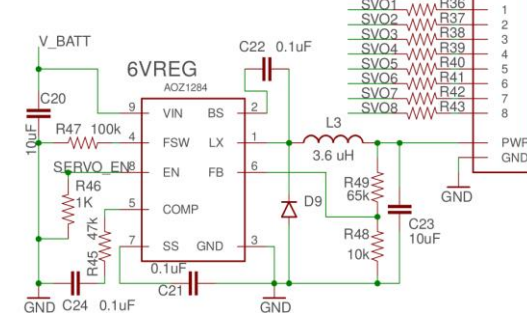


Фиг. 3. Драйвери за 4 двигателя

2A 5V Regulator

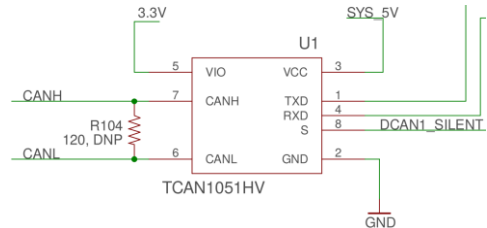
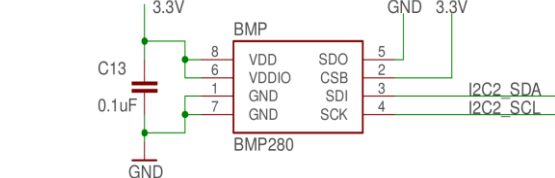


Servo Connectors & Power Control



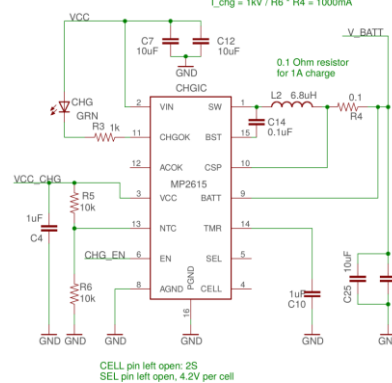
Фиг. 4-а,б. BEC-5V, BEC-6V за серво машинки

Barometer

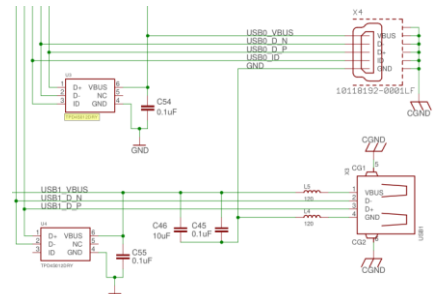
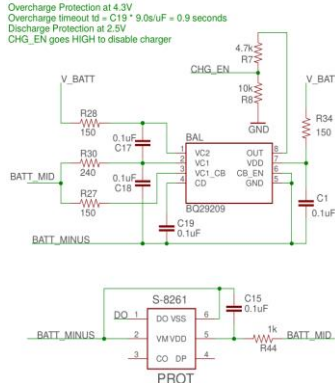


Фиг. 5-а,б. Схема на барометър и IMU

2S LiPo Charger



2S Lithium Balancer and Protection



Фиг. 5-а,б,в BEC за 2S LiPo батерия, изравнител и защита на два USB входа.

С чип MP2615 <https://www.monolithicpower.com/en/mp2615.html> при входно напрежение от 9÷18 V се зарежда 2S LiPo батерия с програмируем ток до 2 A (виж Фиг. 5а). Работи с честота 760 KHz и има два изхода за светодиоди - край на заряда и валидно входно напрежение.

Чипът BQ29209 <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq29209-q1.pdf> следи за презаряд по напрежение и балансира при заряд две литий-йонни батерии (виж Фиг. 5б). Двата USB входа са защитени от повреда по пренапрежения от TPD4S012 (виж Фиг. 5в). Всеки от тях има 2 ценера и 6 диода за защита на USB сигналите D+, D- и ID. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tpd4s012.pdf>

Софтуерна част на проекта

BBB работи със следния софтуер https://wiki.seeedstudio.com/BeagleBone_Blue/: Debian, ArduPilot, ROS, Graphical programming with LabVIEW, Cloud9 IDE on Node.js w/ BoneScript library и др. Направена е инсталация на Debian Linux и ArduPilot на бордната част на телеметричната система. При поставяне на софтуер на BBB се появяват три основни задачи <https://github.com/mirkix/ardupilotblue> :

А) Инсталиране на Linux

1. *Update software*: `sudo apt update && sudo apt upgrade -y`
2. *Install software*: `sudo apt install -y bb-cape-overlays cpufrequtils`
3. *Set clock to 1GHz*:
`sudo sed -i 's/GOVERNOR="ondemand"/GOVERNOR="performance"/g' /etc/init.d/cpufrequtils`
4. *Update scripts*: `cd /opt/scripts && sudo git pull`
5. *Maximize the microSD card's existing partition*: `sudo /opt/scripts/tools/grow_partition.sh`
6. *Install RT Kernel 4.9*: `sudo /opt/scripts/tools/update_kernel.sh --ti-rt-channel --lts-4_9`
7. *Specify device tree binary to be used at startup*:
`sudo sed -i 's/#dtb=dtb=am335x-boneblue.dtb/g' /boot/uEnv.txt`
8. *Reboot system*: `sudo reboot`

Б) Инсталиране на ArduPilot

1. Download ready compiled ArduPilot file from <http://bbbmmini.org/download/blue/>
2. Copy file via SCP or microSD

В) Настройки на ArduPilot

1. *ArduCopter*: `sudo /home/debian/arducopter` (plus parameter)
2. Set the right value for SERIALx_BAUD and SERIALx_PROTOCOL
3. Connect a MAVLink groundstation with:
IP 192.168.178.26 add -C udp:192.168.178.26:14550
4. To use MAVLink via radio connected to UART4 add -C /dev/ttyO4.
If there is a GPS connected to UART5 add -B /dev/ttyO5

Тук производителят е дал подробно описание <https://beagleboard.org/upgrade>.

Вместо Linux може да се инсталира ROS https://dscl.lcsr.jhu.edu/home/courses/edumip_ros/

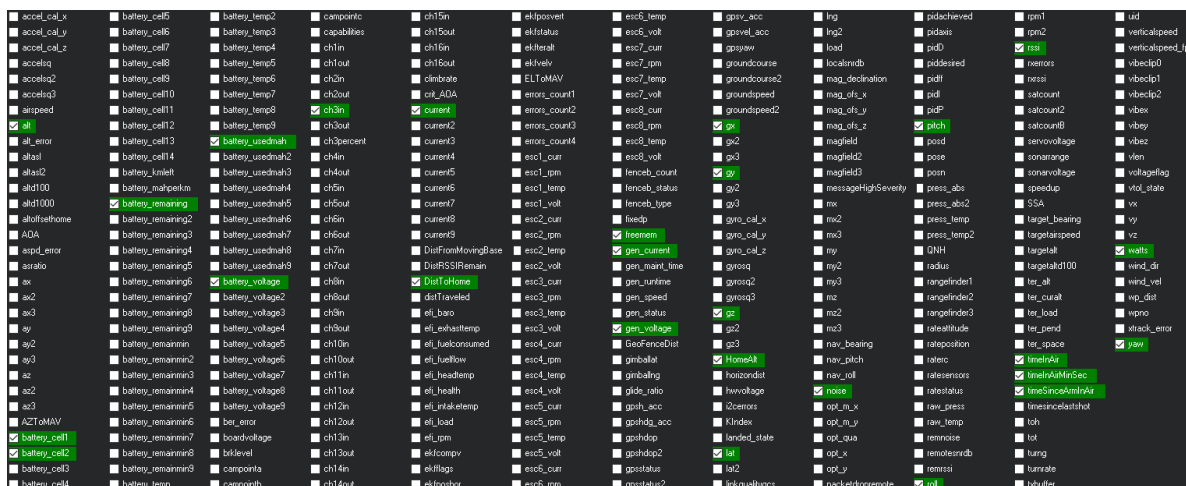
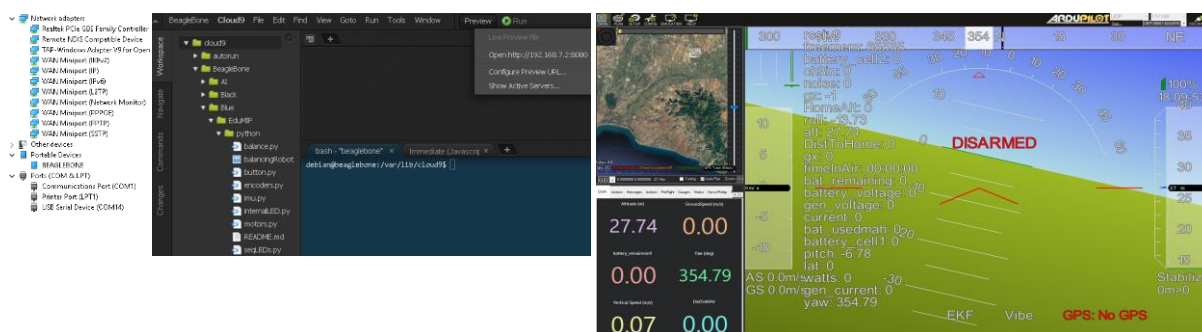
Акcesoарите към BBB се намират тук <https://github.com/beagleboard/beaglebone-blue/wiki/Accessories> . На Фиг 7а е показани три процеса свързани с BBB: Remote NDIS Compatible Device, BEAGLEBONE, USB Serial Device (COM14). На Фиг 7б е показан Cloud9 IDE, управляващ BBB. На Фиг 7в и Фиг 8. има данни и настройки на телеметрията на GCS MP по WiFi.

Collection of but not limited to, supported features for OSS flight controller platforms.

Platform	Airframes	Autonomous Flight	Communication	Fault detection and handling	Features
Hack flight	mr(4)	–	pm,sb,ds,msp	–	–
Cleanflight	mr(1–8)/fw	sph,swp	sb,ib,ds,sh,pm,pw,cf,jeb,ds,xbu,fs,sp,ht,lt,ml,sl,msp	c2k,bvw	g,bm,dl,rth,hf,ts,at
Betaflight	mr(1–8)/fw	sph,swp	sb,ib,ds,sh,pm,pw,cf,jeb,ds,xbu,fs,sp,ht,lt,ml,sl,msp	c2l,c2k,bvw	g,bm,dl,rth,hf,ts,at
INAV	mr(1–8)/fw	fm,swp,sph	sb,ib,ds,sh,pm,pw,cf,jeb,ds,xbu,fs,sp,ht,lt,ml,msp	c2l,c2k,bvw,c2rl	g,at,bm,dl,rth,at
LibrePilot****	mr(3–8)/fw	sph, swp, atl	sb,ib,ds,sh,pm,pw,xbu,fs,ht,ml,sl,msp	c2k	g,rth,bac,bm
dRonin****	mr(*)/fw	sph	sb,fs,ht,ml,ut,msp	pa	bm,dl,at,rth
ArduPilot	mr(1–8)/fw	svnf,sph,swp	sb,pm,ds,fs,ml	ar,sw,apr,sc,c2rl,c2l,c2k,bll,gf	g,rlg,loa,bm,rth,***
PX4	mr(1–8)/fw	sph,swp,fm	sb,ds,ds,fs,sp,ht,ml,ir	gf,c2k,c2l,c2rl,sc,apr	g,rth,bm,dl,rlg,loa,***
Paparazzi	mr(+)/fw	sph,swp,atl,fw,svnf	pm,sb,xbe,ml	ar,sw,apr,sc,c2rl,c2l,c2k,bll,gf	g,pa,rth,bm,dl,hf,ts,at,rlg,loa,bac

*: Not found in documentation; **: See parameters for more features [28]; ***: See parameters for more [29]; ****: Low source reliability; +: Limited by hardware; Airframes mr: multirotor (number of propellers); fw: fixed wings; Autonomous Flight sph: Satellite position hold; swp: Satellite way point navigation; atl: automatic take off and landing; fm:: Follow me; svnf: Stereo vision navigation functions; Communication sb: SBus; ib: iBus; sd: SumD; sh: SumH; pm: PPM; pw: PWM; cf: CRSF; jeb: JetiExBus; ds: DSM; xbu: XBUS; xbe: XBees; fs: FrSky; sp: SmartPort (s.port); ht: HoTT; lt: LTM; ml: MavLink; sl: SRXL; ut: UAVTalk; msp: Multiwii serial protocol; ir: Iridium SBD; Fault detection and handling ar: ADS-B receiver support; c2l: Landing when missing C2 link; c2rl: Return to launch or home after missing C2 link; c2k: Kill supply for motors after missing C2 link; bwv: Battery voltage warning; ada: Auto disarm after timeout; apr: Automatic parachute release; sw: Safety switch to en-/disable output to motors; bll: Land or return to launch if battery low; gf: Geofence; sc: Pre-Arm Safety Check for sensor error; Features g: gimbal compatible; pa: Prevent arming when battery low; rth: Return to home; bm: Battery monitoring; dl: Data logging to flash; hf: Head free moving (yaw fixed); ts: Transponder support; at: PID autotune; rlg: Supports retractable landing gear; loa: Lidar obstacle avoidance; bac: Battery mAh count;

Фиг. 6. Сравнение на 9 платформи с отворен код на софтуера [7]



Фиг. 8. Списък на характеристики на полета, предавани и записвани от GCS MP по WiFi

Заключение

Обсъдена е възможността за телеметрия в реално време на летателни и електрически параметри при реален полет в затворено помещение. Извършена е двустранна комуникация по WiFi и USB кабел между борда и земната станция на важни параметри на полета. За визуализация и запис на летателни параметри на борда се използва MicroSD карта като черна кутия. В наземната част на телеметричната система на лаптоп и смартфон се визуализира и записва изображението от пилотската камера заедно с част от OSD параметри на полета.

Благодарности

Проектът стартира с материалното съдействие на Първа Частна Експериментална Лаборатория за Аерокосмически Изследвания (ПЧЕЛАКИ) „Райт – Аероспейс“ – ЕООД, <https://rait-aerospace.com/index.htm>. Предстои завършване на борден блок с BBB и монтажът му на авторска конструкция на осмокоптер с тегло 12 kg (4G8M-12-SEA), разработен от инж. Райчо Тодоров, президент на ПЧЕЛАКИ. В следващи публикации ще има данни от полети с 4G8M-12-SEA.

Таблица 2. Списък на съкращенията

ALT	Altitude	INS	Inertial Navigation System
AP	ArduPilot	MAVLink	Micro Air Vehicle Link
APM	ArduPilot autopilot	MP	Mission Planner
BATT	Battery	OSD	On-screen display
BBB	BeagleBone Blue	OSS	Open Source Software
BEC	Battery Elimination Circuit	OSHP	Open-Source Hardware platforms
CTUN	Control Tuning	PDB	Power Distribution Board
ESC	Electronic Speed Control	PWM	Pulse Width Modulation
FCU	Flight Controller Unit	PCS	Position Control System
FPV	First-person view.	PM	Power Module
GCS	Ground Control Station	RC	Radio Control
GPS	Global Positioning System	ROS	Robot Operating System
GYRO	Gyroscope	WP	Waypoint
IMU	Inertial Measurement Unit	UAV	Unmanned Aerial Vehicle

Литература:

1. A. Nayyar and V. Puri, "A Review of Beaglebone Smart Board's-A Linux/Android Powered Low Cost Development Platform Based on ARM Technology," *2015 9th International Conference on Future Generation Communication and Networking (FGCN)*, 2015, pp. 55–63, doi: 10.1109/FGCN.2015.23.S.
https://www.researchgate.net/profile/Anand-Nayyar/publication/304412094_A_Review_of_Beaglebone_Smart_Board's-A_LinuxAndroid_Powered_Low_Cost_Development_Platform_Based_on_ARM_Technology/links/5798c71408ae33e89fb0ae57/A-Review-of-Beaglebone-Smart-Boards-A-Linux-Android-Powered-Low-Cost-Development-Platform-Based-on-ARM-Technology.pdf
2. Molloy, Derek. Exploring BeagleBone: Tools and techniques for building with embedded Linux. Book molloy2019exploring. Publisher John Wiley & Sons. 2019. pp. 1-599
https://books.google.bg/books?hl=en&lr=&id=GBDTBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR25&ots=OVizDAUZzN&sig=I0ky0s1EyJAe9CfHAuhfvlecugY&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
3. Benjamin Komel. Beaglebone Blue robotski krmilnik. Magistrsko delo. Univerza v Ljubljani. Fakulteta za elektrotehniko. Ljubljana, 2018. pp. 1-101
<https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=110961&lang=eng>
3. Dr. Richard Grimmett. BeagleBone Robotic Projects Second Edition. Copyright © 2017 Packt Publishing. Published by Packt Publishing Ltd. Livery Place 35 Livery Street Birmingham B3 2PB, UK. ISBN 978-1-78829-313-6, Book pp. 1–100
https://books.google.bg/books?hl=en&lr=&id=gpFyAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT13&dq=BeagleBone+Robotic+Projects+Second+Edition&ots=6Ce7katLCv&sig=iR8-uYEy5DQ-x7IXITfIIN-ndMw&redir_esc=y#v=onepage&q=BeagleBone%20Robotic%20Projects%20Second%20Edition&f=false
www.packtpub.com
4. Yaser Alaiwi, Aşkın Mutlu 1. MODELLING, SIMULATION AND IMPLEMENTATION OF AUTONOMOUS UNMANNED QUADROTOR. INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL "Machines. Technologies. Materials.", 2018, WEB ISSN 1314-507X; PRINT ISSN 1313-0226, pp. 320–325
<https://stumejournals.com/journals/mtm/2018/8/320.full.pdf>
6. Yoon, S.; Shin, D.; Choi, Y.; Park, K. Development of a Flexible and Expandable UTM Simulator Based on Open Sources and Platforms. *Aerospace* 2021, 8, 133. pp. 1–16
<https://doi.org/10.3390/aerospace8050133>
7. Emad Ebeid, Martin Skriver Kristian, Husum Terkildsen, Kjeld Jensen, Ulrik Pagh Schultz. A survey of Open-Source UAV flight controllers and flight simulators. *Microprocessors and Microsystems* Volume 61, September 2018, Pages 11–20 <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2018.05.002>
8. Alexandr Myasishev. Проектирование многофункционального бпла роторного типа на базе прошивки ardupilot, ВІСНИК СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ імені Володимира Даля, August 2021, pp. 1–8
https://www.researchgate.net/publication/353934801_PROEKTIVANIE_MNOGOFUNKCIONALNOG_O_BPLA_ROTORNOGO_TIPA_NA_BAZE_PROSIVKI_ARDUPILOT

БЕЗПИЛОТНИ АВИАЦИОННИ СИСТЕМИ С ЕЛЕМЕНТИ НА ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ В ИНТЕРНЕТ СРЕДА

Евгений Хубенов, Георги Сотиров, Зоя Хубенова

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

Ключови думи: Безпилотна авиационна система, изкуствен интелект, управление, комуникационна архитектура

Резюме: В доклада са описани структура и технология за осигуряване на работа на безпилотна авиационна система (БАС) в реално време в интернет среда с елементи на изкуствен интелект (ИИ). Разгледани се въпросите за управлението на безпилотни летателни апарати (БЛА) през Интернет и организацията на конвейерната архитектура за събиране, агрегиране и обработка на данни в реално време. Показани са задачите и елементите на ИИ и позиционирането им в структурата на БАС и комуникационната архитектура за осигуряване на управление и включване на БАС в информационното пространство на информационно-ориентирани мрежи.

UNMANNED AVIATION SYSTEMS WITH ELEMENTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE INTERNET ENVIRONMENT

Evgeni Hubenov, Georgi Sotirov, Zoya Hubenova

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

Keywords: Unmanned aviation system, artificial intelligence, control, communication architecture

Abstract: The report describes the structure and technology for ensuring the operation of an unmanned aerial system (UAS) in real-time in an Internet environment with elements of artificial intelligence (AI). The issues of control of unmanned aerial vehicles (UAVs) via the Internet and the organization of the pipeline architecture for real-time data collection, aggregation, and processing are considered. The tasks and elements of AI and their positioning in the structure of UAS and the communication architecture for ensuring management and inclusion of BMA in the information space of information-oriented networks are shown.

Въведение

Препоръките ITU-T Y.3001 [1] относно мрежите на бъдещето (Future Networks) определят основната разлика между тях и други транспортни мрежови системи, които използват интернет протокол (IP). Това е преминаването от отделен транспорт и услуги към информационно-ориентирана мрежа с характеристики, съобразени с услугите и управлението, която се основава на споделени и виртуализирани комбинирани ресурси за обработка, съхранение и комуникация. Периферните изчисления с множествен достъп Multi-Access Edge Computing (Mobile Edge Computing) (MEC) са ETSI-дефинирана стъпка в еволюцията на мобилните мрежи за данни и сближаването на IT и телекомуникационни мрежи в комуникационно-информационните системи (КИС). MEC е признат от европейския изследователски орган за 5G PPP (5G Infrastructure Public Private Partnership) като един от ключовите фактори за 5G мрежите за задоволяване на изискванията по отношение на очакваната производителност, латентност, мащабируемост и автоматизация. [2,3]

Съвременната архитектура на БАС в разглежданата среда трябва да има високо ниво на системна интелигентност и да бъде проектирана да отговаря на хармонизирани препоръки и стандарти, включително ITU [4,5] и ETSI Experiential Networked Intelligence Specifications.

Наименованието изкуствен интелект (ИИ) се използва за системи, които показват интелигентно поведение, като анализират средата и с известна степен на самостоятелност предприемат действия за постигане на конкретни цели. ИИ е общо понятие, обхващащо голям брой области като: когнитивна информатика, машинно обучение, разширен интелект (сътрудничество между човек и машина), роботика. ИИ се разделя най-общо на тесен и общ. Тесният може да извършва конкретни задачи, общият може да извършва всяка интелектуална дейност, която е присъща за човек.

Целта на статията е да предложи БАС и структура за управление и използване на интелигентен БЛА, базиран на мобилна 4G/5G комуникационна и информационна система за събиране, обобщаване, обработка и представяне в потоци от информационни обекти в реално време на в Интернет среда. Системните функции ще бъдат осигурени с елементи на ИИ в предложената структура за нейната адаптация – параметрична и структурна и осигуряване на задачи, обичайно изпълнявани от оператор.

Мрежова технология, логическа, физическа структура и топология на мрежата

За комуникация БЛА - Център за управление и обработка на данни е избрана виртуална частна мрежа с тунелиране Ethernet/IP по технология OpenVPN и физическа топология тип звезда в състав OpenVPN сървър и OpenVPN клиенти, базирани на БЛА и клиенти за осигуряване на управление на полетите с Интернет свързаност за операторите. Логическата структура на виртуалната мобилна мрежа, определена от целите и задачите на БАС, е йерархична с локална степен на централизация Център за управление (ЦУ) – БЛА и регионална за група БЛА, с връзка към глобалната мрежа Интернет за целите на управление, за транспорта и обработката на данни. По характер мрежата е елемент от отворена комуникационно-информационна система, свързана с Интернет и с необходимата степен на защита на данни (виртуална частна мрежа, VPN). Достъпът до виртуалната мрежа е с цифров сертификат, трафикът в комуникационният тунел през Интернет е криптиран, а IP-VPN сегментът – изолиран и защитен.

Тип на тунелиране Ethernet/IP през глобалната IP мрежа Интернет осигурява работа в един и същи Ethernet и IP сегмент на устройствата, достъпни от борда на БЛА и тези на мрежата в центровете за управление. Така устройствата, които са базирани на БЛА или са сензори с IP свързаност, могат да се разтоварят от мрежови и приложни задачи, които не са свързани пряко с управление и мониторинг при пълна свързаност между възлите в мрежата. Управлението на адресацията в IP-VPN сегмента дава възможност за фиксирани частни адреси, които да бъдат устойчиви елементи на информационните обекти, формирани от сензори, датчици и БЛА в КИС. Така се осигурява скалиране и развитие за голям брой сензори и устройства.

OpenVPN сървърът е маршрутизатор, който трябва да бъде с публичен IP адрес позициониран в точки на националното или международно IP пространство. За мобилни данни 2G/3G/4G, доставчиците използват частни адреси. За осигуряване на резервираност, скалируемост и миграция в еволюцията на КИС се използва OpenVPN-сървър/Docker решение на виртуална машина и сървърни приложения за осигуряване на полета на БЛА, агрегиране на данни и задачи на ИИ на контейнери, разположени на Docker-сегмента (Фиг. 1).

За структура с 5G транспортна мрежа за данни OpenVPN сървърът и останалите приложения трябва да се разположат на достъпен IP адрес с достъп до Интернет в МЕС структурата, което намалява закъсненията до приложенията и осигурява динамика на управление на БЛА (Фиг. 2).

Технологиите за мрежов транспорт 5G/4G/3G/2G при налични публични мрежи за мобилен пренос на данни практически не създават ограничения за географския обхват на мрежата. Независимо от високия коефициент на покритие разпределението на технологии, характеристики, качество и скорост на транспорт на данни са географски сегментирани и различни за степента на урбанизация на географския район. Възможни са и временни прекъсвания на мрежовия достъп поради преминаване в зони на различни клетки при полет или попадане в минимума на вертикалната диаграма на излъчване. В хоризонталната равнина особено извън населени места диаграмата на излъчване на антените може да е в сектори по направление по посоката на шосета и железопътни линии, което също създава предпоставки за загуба на мрежова свързаност на БЛА.



Фиг. 1. Структура на БАС в 4G мобилна мрежа и управление през Интернет



Фиг. 2. Структура на БАС в 5G мобилна мрежа и управление през Интернет

Управление на БЛА и адаптиране на структурата на БАС като задача на ИИ

Особеностите на мрежовия транспорт в мобилна мрежа за данни налага да се запази традиционното радиоуправление (РУ) за полети на БЛА в слабо урбанизирана среда, телеметрия и визуализация на полета при излитане и кацане по радиоканал. Трябва да се осигурят и следните възможности: режим на планиран автономен полет при загуба на управление, възможност за избор на транспортна среда за управление – мобилна мрежа по технология или оператор или традиционното управление по радиоканал. За управлението през мобилна мрежа за данни на БЛА е необходимо да се осигури техническа възможност за избор на алтернативна ("fall back") мобилна мрежа за данни, когато предпочитаната по технология или по доставчик мрежа не са достъпни. За мобилната свързаност за БАС възможността за избор на работеща алтернатива трябва да включва и преминаване в режим от мобилна мрежа за данни към РУ и обратно. Наличните услуги за доставка на информационни обекти (SMS) също могат да се включат в процедурите за "fall back" и за възстановяване на управлението или преход към планиран автономен полет. Превключване на режим на планиран автономен полет се усложнява от наличието на повече критерии за загуба на управление. В подобни ситуации

пилотът-оператор губи свързаност към БЛА и управлението е задача с елементи на изкуствен интелект. Необходимо е вграждане на агент за ИИ на борда на БЛА, който да осигури с решения бордовата автоматика за изменение на общата структура на КИС при липса на комуникация, като превключва управлението към алтернативен и достъпен комуникационен канал и включва информационните услуги на БЛА, налични за тази технология за пренос



Фиг. 3. БЛА в 5G/4G мобилна мрежа с елементи на ИИ

Структурна схема на комуникационната свързаност и управлението на БЛА с елементи на ИИ е показана на Фиг. 3. БЛА и операторите са с възможност за Интернет достъп през мрежи с технологии 5G/4G/3G. На практика структурите 5G-4G се осигуряват с едновременно активиране на два OpenVPN клиента на един маршрутизатор, с което се постига модулност на системата и запазване на инвестициите при миграция и развитие в посока 5G. Маршрутите от OpenVPN клиента, получен през 5G мрежата са с приоритет и при наличие на мрежова свързаност управлението се осигурява от MEC базирани сървъри, които осигуряват елементи на ИИ за задачите на управление на полета и управление на услугите за агрегиране на данни от сензори с минимално закъснение. Едновременно с това работи друг OpenVPN клиент с маршрутизация с по-малък приоритет през 4G мрежата за приложения, които не изискват високи скорости и бързодействие с възможност за избор на алтернативен пренос (3G/2G). КИС е адаптивна по отношение на комуникационна свързаност, структура за доставка, обработка, агрегиране и презентиране на данни и запазване на управлението на БЛА при временна загуба на достъп до пилот-оператор. В случаи на загуба на комуникационна свързаност задачите на ИИ се изпълняват от агент, базиран на БЛА.

В практическата реализация бордовият компютър е реализиран на Debian/BeagleBone® Blue с приложения автопилот (ArduPilot/Debian®) и ИИ агент (Python, Perl, Node.js®). Реализирано е IP тунелиране на данни от мониторинг на полета и навигационни данни от сензори, терминирани на бордовия компютър. Въпросът за навигационните данни и данните за мониторинг на полета е свързан с осигуряване на задачите на БАС за управление на полета. Експортирането на тези данни в Интернет и към публични облачни услуги е необходима системна функция на БАС за осигуряване на съвместни безопасни полети на различни летателни апарати [5].

Управлението на полета на БЛА от пилот-оператор се извършва от работно място с един програмен продукт, като операторът има възможност да избира налична транспортна среда – РУ, WiFi, IP достъп през Интернет. Разглежданата структура осигурява възможности за делегиране на управлението на различни пилот-оператори с достъп през Интернет до виртуалната мрежа на БАС в зависимост от задачите и географията на полета. Повторно обучение на оператора не се налага, но в хода на полета закъсненията в комуникационния канал може да са различни в зависимост от наличната в зоната на БЛА мобилна услуга. Това налага операторът да следи допълнителни параметри, свързани с полета. Разпределението на вниманието в зрителното поле при полет с висока динамика е въпрос, който трябва да получи адекватна обективна оценка с цел налагане на ограничения в името на безопасността [6]. Част от функциите за мониторинг при динамична промяна на комуникационната среда могат да бъдат осигурени от оператора на полезен товар, който с приоритет да решава задачи, които подпомагат управлението на БЛА.

На борда на БЛА се инсталират IP сензорен шлюзове към безжични мрежи с други протоколи (например LoRa), достъпни в мрежовата инфраструктура на БАС. Управлението на потоците от данни в различни транспортни среди е задача на оператора на полезен товар и на агента за ИИ на борда на БЛА. Някои високоскоростни услуги са свързани и изискват наличието на 5G мрежа, други се активират в определени географски зони, като това налага управление от оператор или максимална автоматизация с агента за управление с елементи на ИИ.

Потоци от данни, информационни обекти, презентирани и експортирани към облачни информационни системи

Потоците от данни от и към БЛА (фиг. 4) можем да разделим условно на четири групи: 1) данни за управление, навигация и мониторинг на БЛА, предназначени за пилота-оператор с минимално закъснение, директна доставка и пакетна приоритизация в мрежата, включително видеопоток за визуализация на полета; 2) данни за системата за ИИ между сървърите и агента с минимално закъснение и мрежова приоритизация; 3) данни за оператора на полезен товар, които постъпват на сървъри, формират се като информационни обекти и се визуализират на работното място с цел оптимизация за последваща обработка и агрегиране; 4) Данни от сензори, камери, датчици с директен запис в подходящи бази и възможност за визуализация в реално време за оператора на полезен товар както и презентирани за екипи от специалисти и експортирани към публични облачни услуги [4,5].

Извън БАС информационните обекти, получени в резултат на обработка на данните могат да бъдат експортирани за целите на безопасност на полета към други информационни системи (например географските координати на БЛА към публичен сървър) или формирани за повече потребители (например високоскоростно 5G видео). Функциите по форматирането и управлението на информационните услуги в реално време на БАС трябва да се добавят към дейностите на оператора на полезен товар и да се автоматизират с участието на агента за ИИ.



Фиг. 4. Информационни потоци в БАС с елементи на ИИ в състава на КИС

Експериментални резултати

Експериментиран и реализиран е на практика модел на БЛА и БАС в следния състав и възможности:

- БЛА с Ardupilot за управление от оператора-пилот с Mission Planner <https://ardupilot.org/> Arducopter/Debian на апаратна част BeagleBone Blue https://inst.eecs.berkeley.edu/~ee192/sp20/files/BeagleBone_Blue_ShortSpec.pdf достъпни във виртуална частна мрежа през Интернет и WiFi локално в адресното пространство на виртуалната частна мрежа;
- Виртуални частни мрежи, които са изградени по технологията OpenVPN за осигуряване на IP свързаност между БЛА, ЦУ, оператор-пилот, оператори на полезен товар и сървърите осигуряващи БАС като част от КИС;
- OpenVPN сървъри, изпълнени на Docker/CentOS на виртуални машини с публични IP адреси;
- Маршрутизатори, клиенти на виртуалните мрежи базирани на БЛА и осигуряващи работата на мобилните оператори UR32 (4G/3G/2G) или UR-75-5G (5G/4G) <https://www.milesight-iot.com/>;

- Управление (ssh, http) и мониторинг (SNMP) на мобилните маршрутизатори, както и конфигуриране на приложно-програмен API (Application Programming Interface) за управление от страна на системата за ИИ;
- Навигационна система във виртуалната мрежа с достъп и през Интернет за работа на оператори на полезен товар Traccar/Docker <https://www.traccar.org/> и API за експортиране на навигационни данни за полета на БЛА към облачни навигационни услуги;
- Агрегиране, обработка и визуализация на данни от сензорите в реално време за работа на оператори с Telegraf и бази данни Mariadb и Influxdb с мониторинг в реално време на работно място за оператор, конфигурирано на Grafana;
- Изграждане на API за сървърите за ИИ и агента на ИИ, базиран на БЛА (Node.js, Python) за осигуряване на автоматизация и достъпност на полета на БЛА;
- Модулност и енергийна ефективност за дълготрайна работа и производителност на полета.

Заклучение

В заключение можем да отбележим че в доклада са представени резултатите от синтез и реализация на структура на БАС с елементи на ИИ в Интернет среда като част от КИС, която осъществява доставка, обработка, агрегиране и експортиране на данни, доставени от БЛА, и която има следните предимства:

- БАС осигурява възможности за работа с пренос в мобилни мрежи 5G/4G/3G с висока достъпност на услугата и с адаптация към наличните транспортни услуги, а също така и в с РУ в слабо урбанизирана среда без наличен мобилен пренос на данни.

- БАС експортира обработени данни като информационни обекти в Интернет в реално време, с високи скорости и при високо ниво на сигурност, което е осигурено от работата на елементите на системата във виртуални мрежи и криптирането на трафика през публичните мрежи за данни.

- Синтезирана е структура сървър-агент на ИИ за целите на адаптация при различни условия и за автоматизацията на задачите, които изпълнява БАС – управление на полета и доставка на географски данни.

- Структурата на БАС е функционално завършена и развита до КИС, модулна, енергийно-ефективна и лесно скалируема, с ниска цена и висока надеждност, с перспектива за развитие, поради използването на свободен код и съвременни технологии за виртуализация.

Литература:

1. Domingue, J., A. Galis, A. Gavras, T. Zaharius, ...M. Nisson The Future Internet Future Internet Assembly 2011: Achievements and Technological Promises, Spinger, 2011
2. Pascual, D., Artificial Intelligence Tools Decision Support Systems in Condition Monitoring and Diagnosis, CRC Press, 2015
3. Nonami, K., F. Kendoul, S. Suzuki ...D.Nakazawa Autonomous Flying Robots Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles, Springer, 2010
4. ITU-T F.749.13 Framework and requirements for civilian unmanned aerial vehicle flight control using artificial intelligence (06/2021)
5. ITU-T Y.3178 Functional framework for artificial intelligence-based network service provisioning in future networks including IMT-2020 (07/2021)
6. Metodiev, K., A Tool for Estimating Saccade Kinematics, Sixteenth International Scientific Conference "Space, Ecology, Safety, SES-2020," Sofia, 4 – 6 November 2020
7. Gramatikov, P., Electric Motor-Generators for Unmanned Aerial Vehicles. Aerospace Research in Bulgaria, 29, Space Research Technology Institute - Bulgarian Academy of Sciences, 2017, ISSN:1313-0927, DOI:10.7546/AeReBu.29.18.01.10, 120–132

ОЦЕНКА НА КОГНИТИВНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЧОВЕКА-ОПЕРАТОР ПРИ ОБУЧЕНИЕ С ТРЕНАЖОР ЧРЕЗ МЕТОДИТЕ НА АЙТРЕКИНГ (EYE TRACKING)

Деанна Александрова¹, Любомир Алексиев¹, Даниела Иванова¹,
Зоя Хубенова², Константин Методиев²

¹Катедра „Авиационна и морска медицина“ – ВМА, София

²Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: daleksandrova@yahoo.com

Ключови думи: : БЛА, оператор, зрително внимание, Eye tracking, когнитивни функции

Резюме: Осъществяването на ефективна и безопасна мисия с безпилотни летателни апарати (БЛА) зависи от индивидуалните когнитивни способности на човека-оператор да възприема, обработва и използва полетната информация и степента до която може да бъде умствено натоварен при извършване на летателната дейност. В статията са представени резултатите от проведените експерименти в ИКИТ-БАН при участието на доброволци с опит в управлението на БЛА в лабораторни условия. Цел на изследването е да се определи оптималното разпределение на зрителното внимание на операторите върху монитора на тренажорния комплекс C-Star (фирма SimLat) с окулограф Pupil Labs Core.

EVALUATION OF THE HUMAN OPERATOR'S COGNITIVE CHARACTERISTICS DURING A SIMULATOR TRAINING USING EYE TRACKING METHODS

Deanna Aleksandrova¹, Lyubomir Aleksiev¹, Daniela Ivanova¹
Zoia Hubenova², Konstantin Metodiev²

¹Department "Aviation and Maritime Medicine" – Military Medical Academy – Sofia

²Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: daleksandrova@yahoo.com

Keywords: UAV, human operator, visual attention, Eye tracking, cognitive functions

Abstract: The effectiveness and safety of unmanned aerial vehicles (UAVs) missions depends on the individual cognitive abilities of the human operators to perceive, process and use information, and on the capacity of their mental workload during a flight. The article presents the results of the experiments conducted at IKIT-BAS with the participation of volunteers with experience in the management of UAVs in laboratory conditions. The aim of the study is to determine the optimal distribution of the visual attention of the operators on the monitor of the C-Star training complex (SimLat Company) with the Pupil Labs Core oculograph.

Въведение

Поддържането на активен зрителен контрол върху полетните параметри гарантира безопасно и ефективно управление на БЛА, но представлява когнитивна дейност с високо ниво на сензорно и умствено натоварване, изискваща ефективно разпределение на зрителното внимание.

Когнитивното натоварване и зрителното внимание не са константна величина - те са в пряка връзка с ролята на оператора в летателния процес и естеството на изпълняваните задачи в отделните етапи на полета. Подобно на управлението на самолетите с пилот на борда [1], работното натоварване на операторите на БЛА не е разпределено равномерно по време на полета, като се очаква висока степен на умствена активност на човешкия елемент в етапите на

излитане и приземяване. Ако има и вторична задача за изпълнение (например освобождаване на полезния товар), операторът ще бъде сензорно и когнитивно натоварен с приближаване на точката, в която трябва да вземе решение и да реализира допълнителната задача [2].

Измерването на когнитивното състояние на човешкия елемент все още е трудна задача за изследователите. Вече е установено, че регистрирането на очните движения на операторите чрез съвременни окулографски методи по време на реален или симулиран полет, може да осигури директно измерване на обективни зрителни параметри, които дават ценни данни за *когнитивното натоварване на оператора* [3], *зрителното внимание и неговото разпределение* в различните етапи на полета, както и за начина, по който човек възприема, обработва и използва полетната информация при реализиране на летателните задачи [1,4].

Основните физиологични характеристики на зрителната активност, които са свързани с оперативните способности на летателните екипажи при управление на пилотируани и безпилотни платформи включват сакади и фиксации, плавни очни движения при преследване на подвижен зрителен стимул, честота на мигания, диаметър на зениците [3,4]. Сакадите са бързи мощни очни движения, чрез които погледът се премества от една област на зрителното поле и се насочва към друга. Фиксацията на очите е краткотрайно единично задържане на погледа в определена позиция, ограничено от двете страни от бързи очни движения – сакади или мигания. Докато очните сакади са необходими за бързото преместване на погледа в пространството (от една област към друга), физиологичният смисъл на фиксациите е да се осигури перцепция на образите и да се извлече зрителната информация от наблюдаваната зона.

Пилотно проучване с оператори на БЛС при симулиран полет

Изхождайки от литературните данни и разбирането, че фиксациите дават представа за когнитивното натоварване и зрителното внимание, обработката на зрителната информация и подбора на информацията от пилотажните прибори [1,4,5], който авиаторите правят при различни полетни режими в пилотираната авиация, в проучването, което представяме, насочихме усилията за измерване и анализ на очните фиксации по брой, продължителност и локализация (зони на интерес).

Целта на изследването беше с възможностите на окулографските методи да бъде изследвано и анализирано зрителното поведение при управление на БЛА от оператори с различно ниво на подготовка и опит при работа на симулатор.

Пилотното проучване се реализира в „Лаборатория за подготовка, обучение и контрол на оператори на безпилотни летателни апарати“, секция „Аерокосмически системи за управление“ в Институт за космически изследвания и технологии (ИКИТ–БАН) по съвместен проект с ВМА, финансиран по договор от Фонд „Научни изследвания“.

Контингент. В пилотното проучване взеха участие общо 9 доброволци, от които 6 участника с опит при управление на БЛА и 3 – без никакъв или почти никакъв опит в тази сфера. В настоящото изложение сме представили получените окулографски данни на оператор-експерт (инструктор), които данни са основа за разработване на полети-еталони и в по-следващ етап използвани като стандарти за сравнение и динамичен контрол в процеса на обучение.

Работното място на оператора включва (Фиг. 1): 1)Тренажор C-Star на израелската фирма SimLat, който създава виртуална среда за симулиране на полети, наподобяваща реалната; 2) Мобилен окулограф Pupil Labs Cor (Pupil Labs, Германия) и стационарен окулограф GazePoint GP3HD (Канада) за регистриране на очните движения на участниците в изпитването; 3) Таблет Samsung Galaxy Tab S5e и Компютър Intel® Core™ i7-4770K @ 3.5 GHz – за записване на данните от окулографа, след което се експортират към програмата Pupil Player за по-нататъшна обработка.

Задачата, която участниците трябваше да изпълняват, е “Управление на БЛА по зададена траектория” – полет по кръга при прости метеорологични условия, условно разделена на *три етапа* - *излитане, полет по кръга и кацане*, със 7 маршрутни точки на контрол по отношение на височина, посока, скорост, пространствено разположение на летателния апарат, отчетени по данните от навигационно-пилотажните прибори (компас, скоростомер и висотомер), представени на дисплея на симулатор C-Star на фирма SimLat (Фиг. 1).



Фиг. 1. Дисплей на тренажора: 1. Маршрутна карта с 7-те маршрутни точки; 2. Видео-канал; 3. Условни данни от навигационно-пилотажните уреди; 4. Информация за полетните системи

При анализа на зрителното поведение на операторите на БЛА следвахме стандартния подход, при който работното поле се разделя на различни *зони на интерес*. В конкретния случай екранът на тренажора е разделен на четири зони: 1) Карта, 2) Видео-канал, 3) Пилотажни прибори, 4) Сензори (фиг.1).

Изчислихме процентното съотношение между сбора от продължителността на всички фиксации върху една зона на интерес, за всеки етап поотделно в секунди, разделено на общата продължителност на всеки етап от полета в секунди (PDT' , формула 1):

$$(1) \quad PDT' = \frac{\text{сбор от продължителността на всички фиксации върху една зона на интерес (s) за определен етап}}{\text{обща продължителност на съответния етап в (s)}} \%$$

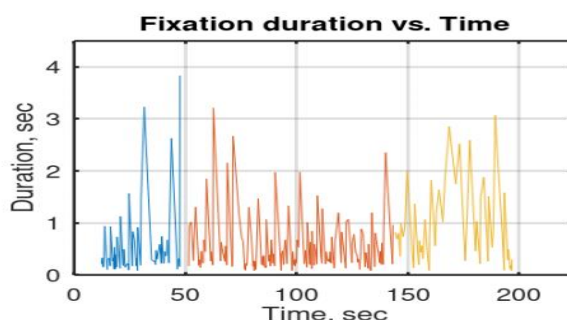
Предложената метрика PDT' представлява модифицирана версия на Proportional dwell time (PDT) [4], използвана в проучванията, проведени в пилотираната авиация [1,6], която изразява процентното съотношение на времето на задържане на погледа върху една зона на интерес (продължителност на фиксациите или dwells в зависимост от разделителната способност на очния тракер) спрямо времето на сканиране на всички зони на интерес.

В посочената по-горе формула в знаменателя е използвана продължителност на съответния етап от полета. Изчислената по този начин метрика PDT' дава представа за *процентното разпределение на зрителното внимание* на оператора върху отделните зони на интерес за всеки етап от полета и предлага възможност за оценка на времето, в което операторът не сканира зоните на интерес. От когнитивна гледна точка това се определя като „неефективно време“ (НЕВ), тъй като не се осъществява когнитивна обработка на полетна информация.

Резултати от изследването

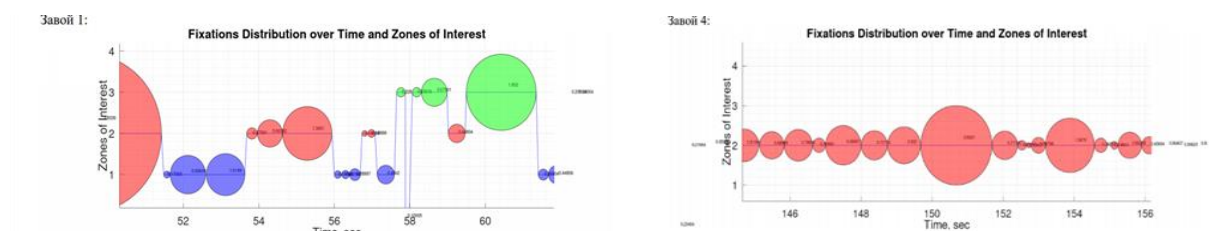
Таблица 1. Данни за фиксациите по брой, честота и средна продължителност по етапи от полет на инструктора

Етап / Параметър	Брой фиксации	Брой фиксации в една секунда, sec^{-1}	Средна продължителност на фиксациите в ms	Стандартно отклонение, ms
Етап 1 (12.1s – 50.6s)	68	1.7661	513.5102	81.0085
Етап 2 (50.6s – 144.296s)	176	1.8784	488.4669	37.2435
Етап 3 (144.3s – 197.54s)	61	1.1456	837.2308	51.0711



Фиг. 2. Окулографски данни за разпределението на фиксациите по етапи при полет на инструктора

На Фиг. 2 графично представяме окулографските данни от същия полет на оператора-експерт, под формата на диаграма с разпределение на фиксациите по брой и продължителност в отделните етапи на полета, оцветени както следва: Етап 1 (излитане) – в синьо; Етап 2 полет по кръга – в червено; Етап 3 (приземяване) – в жълто



Фиг. 3. Разпределение на зрителното внимание на оператора по зони на интерес при завой 1 и завой 4, съобразно тяхната продължителност.

На Фиг. 3 под формата на кръгови диаграми демонстрираме разпределението на зрителното внимание на оператора в два сравнително кратки, но важни момента от същия полет – изпълнение на завой 1 и завой 4, на базата на осъществените фиксации по зони на интерес и по продължителност. Зоните на интерес са оцветени както следва: зона 1 – „Карта“ в синьо; зона 2 – „Видео канал“ в червено; зона 3 – „Прибори“ в зелено; зона 4 – „Сензори“ в жълто. По-големият диаметър на кръга съответства на по-голяма продължителност на фиксациите в съответната зона на интерес.

Прави впечатление разликата в зрителното поведение на оператора-експерт при изпълнение на двата завоя. Моделът на разпределение на зрителното внимание е резултат от естеството на полетните задачи, които операторът изпълнява. В първия случай при *завой 1* той осъществява завой в определена маршрутна точка, на определена височина и с определена скорост, проследявайки движението и позицията на безпилотния самолет. Необходимите данни за полетната информация получава от: видео-канала (относно движението на БЛА), от картата (позициониране на БЛА върху картата спрямо маршрутните точки), полетните прибори (данни за височина и скорост). Във втория случай при *завой 4* – задачата е заход за кацане и приземяване, която изисква проследяване движението на летателното средство спрямо пистата, което операторът осъществява „по земни ориентири“ чрез видео-канала, на базата на изработен усет за снижение и кацане, без информация от приборите (представа от натрупан опит от предшестващи полети).

Окулографски данни от проведените 10 полета на оператора-експерт

Таблица 2. Окулографски данни за Етап 1, 2 и 3: продължителност на етапите в секунди, изчислено общо време на фиксациите по етапи и процентно съотношение (PDT'). М (mean) представя средноаритметичните стойности на параметрите от 10 полета.

	Продължителност на етапа (s)	Общо време на фиксациите (s)	Общо време на фиксациите като % от общата продължителност на етапа (PDT')	Време извън фиксациите (s)	Време извън фиксациите в %
Етап 1	M = 37.72 s	M = 33.78 s	M = 89.55%	M = 3.94 s	M = 10.42%
Етап 2	M = 95.59 s	M = 87.04 s	M = 91.06%	M = 8.55 s	M = 8.95%
Етап 3	M = 52.33 s	M = 49.99 s	M = 95.51%	M = 2.34 s	M = 4.48%

От окулографските данни от 10-те полета е видно, че най-активно операторът-експерт проследява полетната информация в Етап 3 (PDT' = 95.51%), който се очертава като най-натовареният етап от когнитивна гледна точка. Приблизително в 5-10% от полетно време не е осъществявана когнитивна обработка на полетна информация, тъй като операторът не е сканирал зоните на интерес.

Таблица 3. Разпределение на фиксациите по брой, продължителност и зони на интерес, осъществени от инструктора в Етап 1 (M = средноаритметични стойности от 10 полета, PDT' - изчислено % съотношение)

	Брой фиксации в Етап 1	Продължителност на фиксациите (s), Етап 1	PDT' % Етап 1
Карта	M = 8.7	M = 2.75 s	M = 7.33%
Видео-канал	M = 47.8	M = 19.96 s	M = 52.94%
Прибори	M = 22.8	M = 10.27 s	M = 27.20%
Сензори	M = 3.8	M = 0.79 s	M = 2.10%
НЕВ	-	M = 3.94 s	M = 10.42%

Окулографските данни в Етап 1 (етап на излитане) от 10-те полета на оператора-експерт показват, че най-голям процент от времето операторът отделя за сканиране на Видео-канала (PDT'=52.94%), на второ място - на полетните прибори (PDT'=27.20%). Водещо значение при изпълнение на летателните задачи в етапа на излитане е информацията, постъпваща по Видео-канала, необходима за проследяване движението и ориентацията на безпилотния самолет. На второ място по значение е информацията от пилотажните прибори с данни за височината и скоростта на летателното средство в този етап на полета.

Таблица 4. Разпределение на фиксациите по брой, продължителност и зони на интерес, осъществени в Етап 2 (M = средноаритметични стойности от 10 полета, PDT' - изчислено % съотношение)

	Брой фиксации в Етап 2	Продължителност на фиксациите (s), Етап 2	PDT' % Етап 2
Карта	M = 54.6	M = 18.43 s	M = 19.19 %
Видео-канал	M = 107.3	M = 43.54 s	M = 45.52 %
Прибори	M = 44.09	M = 23.72 s	M = 24.84 %
Сензори	M = 5.9	M = 1.44 s	M = 1.51 %
НЕВ	-	M = 8.55 s	M = 8.95 %

В Етап 2 – полет по кръга се наблюдава повишаване ролята на информацията от картата (от 7.33% за Етап 1 на 19.19 % за Етап 2). След проведен статистически тест на Студент (t-test), се установява статистически значима разлика ($p < 0.05 / 0.000051$). Повишена стойност на PDT' за картата в Етап 2 е причинена от предстоящата задача - изпълнение на завой 1, 2 и 3 от маршрута на полета и необходимостта от позициониране на летателния апарат върху картата спрямо маршрутните точки от полета, в които трябва да се достигнат определена височина и скорост на летателното средство. Водещо значение за оператора и в този етап има Видео-каналът, с известно намаление от 52.94% за Етап 1 на 45.52% за Етап 2 (статистически значима разлика, $p < 0.05 / 0.0085$). Данните за продължителността на фиксациите върху зона на интерес – Прибори, запазват близки стойности: 27.20% (Етап 1) и 24.84 % (Етап 2), при които е налице статистически незначима разлика ($p > 0.05 / 0.3308$).

Таблица 5. Разпределение на фиксациите по брой, продължителност и зони на интерес, осъществени в Етап 3 (M = средноаритметични стойности от 10 полета, PDT' - изчислено % съотношение).

	Брой фиксации в Етап 3	Продължителност на фиксациите (s), Етап 3	PDT' % Етап 3
Карта	M = 2.6	M = 0.67 s	M = 1.29 %
Видео-канал	M = 62.5	M = 47.46 s	M = 90.72 %
Прибори	M = 3.6	M = 1.34 s	M = 2.56 %
Сензори	M = 1.8	M = 0.49 s	M = 0.95 %
НЕВ	-	M = 2.34 s	M = 4.48 %

В Етап 3 – заход за кацане и приземяване, зрителното внимание на оператора е концентрирано върху Видео-канала, като се наблюдава нарастване на PDT за тази зона на интерес от 45.52% (в Етап 1) на 90.72% (Етап 2), поради необходимостта да бъде проследявано

движението на безпилотния самолет спрямо пистата при неговото приземяване. Окулографските данни демонстрират повишеното значение на информацията от Видео-канала в етапа на кацане. Ролята на картата ($PDT'=1.29\%$), пилотажните прибори ($PDT'=2.56\%$) и сензорите ($PDT'=0.95\%$) е сведена до минимум. Лимитиращ фактор за изследването е автоматичният режим на работа на двигателя, което не изисква активно наблюдение на сензорните системи и обяснява ниския процент на сканиране на тази зона на интерес в трите етапа на полета (Сензори).

Изводи

От окулографските данни от пилотното проучване можем да направим следните изводи:

1. Разпределението на зрителното внимание на оператора-експерт върху зоните на интерес при изпълнение на 10-те полета се променя приоритетно в зависимост от естеството на летателните задачи, които той изпълнява в отделните етапи на полета.

2. Относителният дял на PDT' е по-висок върху зоните на интерес, които предоставят критично важна информация за конкретната полетна ситуация.

3. Налице е време от полета (4-10% за различните етапи), през което операторът не сканира зоните на интерес. Необходимо е да бъдат проведени допълнителни изследвания, които да валидират предположението, че съществува „неефективно време“, през което не се осъществява когнитивна обработка на полетна информация.

Заклучение и дискусия

Използването на съвременни окулографски методи за изследване на зрителната дейност в контекста на когнитивните функции на мозъка, дава важни данни за обработката на полетната информация и начина, по който операторите използват наличните данни при управлението на летателното средство. Разпределението на зрителното внимание чрез сканиране на зоните на интерес в различните етапи на полета е специфично и зависи от естеството на изпълняваните летателни задачи. Въз основа на окулографските записи, регистрирани при полети на оператори - експерти, могат да бъдат изготвени „полетни еталони“, които да служат за стандарт и динамичен контрол при провеждане на първоначално и периодично обучение на начинаещи и професионалисти оператори на БЛС.

БЛАГОДАРНОСТИ: Представеното изследване е финансирано по договор КП-06/H27-10/ 11 декември 2018 г., сключен между Фонд „Научни изследвания“ и ИКИТ – БАН.

Литература:

1. Frische, F., J. P. Osterloh, A. Lüdtkе. "Simulating visual attention allocation of pilots in an advanced cockpit environment", In Selected Papers and Presentations Presented at MODSIM World 2010 Conference Expo 2011.
2. Richards D., Kurtulus Izzetoglu, Graham Shelton-Rayner "UAV Operator mental workload - A neurophysiological comparison of mental workload and vigilance".
3. Ellis, K. K. E. "Eye tracking metrics for workload estimation in flight deck operations", University of Iowa, 2009.
4. Mackenzie G. Glaholt, "Eye tracking in the cockpit: a review of the relationships between eye movements and the aviator's cognitive state", Defence Research and Development Canada, Scientific Report - Toronto Research Centre; DRDC-RDDC-2014-R153, December 2014.
5. Ziv, G., "Gaze behavior and visual attention: A review of eye tracking studies in aviation", The International Journal of Aviation Psychology pp. 75–104, 2016.
6. Skvarekova, I., F. Skultely "Objective Measurement of Pilot's Attention Using Eye Track Technology during IFR Flights " Air Transport Department, University of Zilina, May 29-31 2019, Slovakia, Transportation Research Procedia, 40, pp. 1555–1562, 2019.

МЕТОДОЛОГИЧНИ ПРОБЛЕМИ ПРИ АНАЛИЗ НА СУБЕКТИВНИЯ ФАКТОР В СЛОЖНИ ТЕХНИЧЕСКИ СИСТЕМИ

Емил Василев, Зоя Хубенова

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: emilvasilev13er@gmail.com*

Ключови думи: човешки фактор, системи за управление, информационни процеси

Резюме: Днес повечето от типичните техногенни обекти са ергатични системи, които се разглеждат като сложни системи за управление (ССУ), чийто компонент е операторът (човек) в автоматизирания комплекс (машина). В условията на непрекъснато увеличение на обема и качеството на процесите на управление на автоматизирани обекти, операторите във все по-голяма степен ще играят роля на експерти, оценяващи алтернативите за управление, получавани от специализирани системи за информационна поддръжка и вземане на решение.

Статията е посветена на търсенето на решение на проблемите, свързани с «човешкия фактор» (ЧФ) и актуален за ССУ. Разглеждат закономерности на информационното осигуряване на дейността на човека-оператор и на процесите на регулация на работната му активност при взаимодействие в системата «човек-компютър». Обосновава се необходимостта от анализ и оценка на компонентите, от които зависи подобряването на ефективността на управлението и качеството на ССУ.

METHODOLOGICAL PROBLEMS IN THE ANALYSIS OF THE SUBJECTIVE FACTOR IN COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

Emil Vasilev, Zoya Hubenova

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: emilvasilev13er@gmail.com*

Keywords: human factors, control systems, information

Abstract: Most of the typical technogenic objects today are human-machine-environment (HME) systems, which are considered as complex control systems (CCS), whose component is an operator (human) in the automated complex (machine). In the conditions of continuous increase the volume and quality of the process for management of automated objects, the operators will play the role of experts, evaluating alternatives for management, obtained from specialized systems for information support and decision making.

The article is dedicated to the search for a solution to problems, associated with the "human factor" and up-to-date for CCS. Regularities of the information provision of the activity of the human operator and for processing of regulation of its work activity in interaction with "human-computer" system are considered. The need is substantiated for analysis and evaluation of the components on which the improvement of the management efficiency and the ability of the CCS depends.

Въведение

Съвременните високоотговорни системи, както и сложните информационно-управляващи системи (ИУС) са сложни човекомашинни комплекси, които обединяват действието на различни технически устройства и колективи от хора. Понятието „човешки фактор“ и неговата роля в информационните технологии не се ограничава само в областта на инженерно-психологическите и ергономични проблеми. В съвременната социотехническа и информационна сфера човешкият фактор се разглежда като решаващ фактор за успешна,

ефективна и качествена работа, имайки в предвид не само в производството, но и в социалната сфера, иновационното управление, икономиката и др

Наличието на човешки фактор (ЧО) в автоматизираната система за управление (АСУ) обосновава необходимостта от повишаване на ефективността на системата за управление за сметка на евристичните способности, присъщи на човешкия фактор в непредвидени и слабоформализирани ситуации. Дейността на човека се свежда до възприятие и оценка на информацията, вземане и реализация на решения [1-3]. Наличието на ЧО повишава адаптивността на системата при работа в непредвидени ситуации. Характерна особеност на неговата дейност е взаимодействието му не с реалните обекти, а с информационните модели и въздействие върху обектите чрез дистанционно управление. Един от основните фактори, които влияят на качеството на дейността на ЧО и следователно на системата като цяло е информационното осигуряване на неговата дейност.

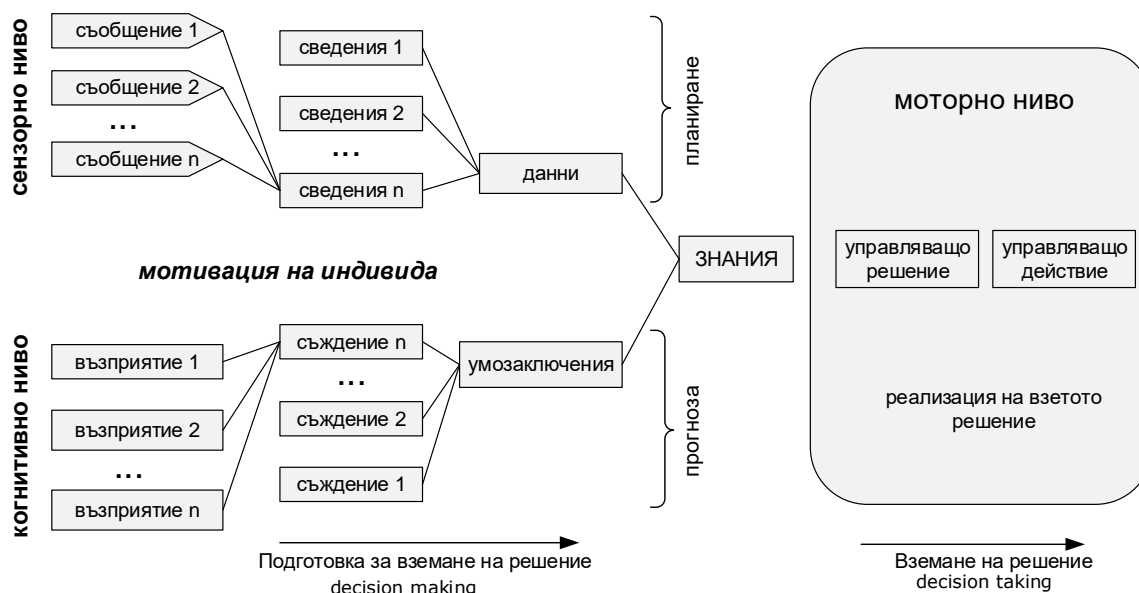
Информационният модел (ИМ), като най-важна съставна част на информационното осигуряване, представлява особена организационна съвкупност от информация, предоставяна на оператора в АСУ [4,5]. Информацията за състоянието обикновено е съвкупност от информационни модели на взаимодействащите обекти, които се възприемат с помощта на средствата за изображение на информацията. ИМ се определя като организирано, в съответствие с определена система от правила, изображение на състоянията на предмета на труда, системата „човек-машина”(СЧМ), външната среда и способите за въздействие върху тях. По модела операторът възсътвда образа на обекта, неговото състояние във всеки момент от време и взема решение. Информационният модел обединява две полета: сензорно (чувствително), състоящо се от сигнални устройства - прибори, индикатори, звукови сигнали, екрани и т.н. и сензомоторни, състоящи се от органи за управление - ръчки, лостове, копчета, изключватели, превключватели и др. Към сензорното поле на информационният модел се отнасят всички сигнали, възприемани от оператора непосредствено от самата машина.

Информационно взаимодействие на човека –оператор в СЧМ

Един от най-актуалните проблеми на съвременната инженерна психология е проблемът за точния теоретичен анализ и критериите за оценка на информационните процеси в психиката на човека. Понеже това е сложна системна с йерархична структура на процеса на приемане и преработка на информацията, то се изискват специфични методи за теоретичен анализ и високо ниво на експериментални изследвания. В последно време приложението на информационните методи, в частност математическите, за решаването на задачи в инженерната психология се разделят на три големи класа, различни по природа и по способи на приложение: 1) статистически методи за описване на резултатите от инженерно-психологическите, експериментални изследвания, 2) разнообразни математически схеми, използвани като модели за психологически феномени; 3) методи за формализация за построяване на системите [6,7].

Отчитайки системно-структурната организация на сложната човеко-техническа система, управлението се разглежда като множество от ситуации, състоящо се от подмножество на проектни ситуации (формализирани и неформализирани) и подмножество на потенциални ситуации на управление, възникването на които е възможно при изменение на нормативните условия за функциониране на обекта или обкръжаващата среда. Професионалните функции на оператора в такива ситуации се определят от динамиката на процесите на управление и са нееднородни по своето съдържание. При изпълнение на режими на управление с ниска степен на автоматизация, те се свеждат до сравняване на реалните и нормативни параметри на системата, контрол на програмата за функциониране на отделните блокове и оценка на надеждността и ефективността на управлението по количествени критерии. В режими с висока степен на автоматизация операторът е длъжен да провежда качествена оценка, да осмисля и интерпретира възникващите ситуации и да съгласува програмите за управление на всички подсистеми и комплекса като цяло

На фиг. 1 е предложен емпиричен модел на процедура за вземане на решение от оператор и последователност на неговите действия на сензорно, когнитивно и моторно ниво в съответствие с известния модел на Y. Liu и C. Wu [8,9]. Моделът за подготовка и вземане на решение се състои от два взаимосвързани и различни по природи потоци информация [2]. Единият поток е присъщата на човека информация, получена чрез сетивните органи, като при това в него преобладава качествена информация. Другият поток, по същество, е формализирана информация с преобладаваща знакова количествена информация.



Фиг. 1. Модел на операторски функции и вземане на решение

Спецификата на проблемите при взаимодействие между човек и машина е свързана с нарастващия обем информация и скоростта на информационните потоци, които неизбежно водят до увеличаване на броя на грешките. Описанието на процедурата за вземане на решения от оператор в СТС се основава не само на алгоритмите за работа на машината, но и на особеностите на човешката физиология.

Решението е мисловен процес (съждение), умозакljučение и определен избор на варианти от вероятности за възможните резултати от реализацията на всеки избор, а също мисловно съпоставяне с очаквания оптимален резултат. Вземането на решение може да се определи като ментален процес при формиране на решението и включващ: 1) способност да избира информация, да изработва варианти за действия и предвижда очакваните последствия; и 2) да се избират и изпълняват подходящи действия, или въздържане от действия, или частични действия. Това е избор по няколко алтернативни линии на поведение или варианти, които се определят така, че изборът на единия от тях, да изключва избор на всички останали.

В структурата на такива системи трябва да се отчитат определени качества на човека-оператор, като забравяне, склонност да греши, непостоянство на вниманието и пр. Особеностите на възприемане и преработка на информацията от човека в ИУС налагат ограничаване на възможностите за използване на запаменените данни, като при определяне на границите на интелигентност мотат да се разграничат две нива на преработване на информацията - *сензорни канали* и *интелектуален потенциал*. На първо ниво преобразуването на информацията се разпределя между пет сензорни входа на човека (визуален, слухов, тактилен, обонятелен и вкусов), които имат индивидуални ограничения по предаване на информацията: зрителният анализатор осигурява до 90 % от общия поток информация, а само около 10 % се разпределят на слуховия и другите сензорни канали. Един от основните проблеми е информационното претоварване на каналите за визуално възприятие. Възможното му решение може да се търси чрез идентифициране на начини за намаляване на обема на информацията, възприемана с очите чрез създаване на различни форми на индикация, показващи резултатите от обработката на вторична информация при използване на други сетивни органи. Разработването на специализирани модели и методи ще даде възможност за създаване на алгоритми, за установяване на връзките между последователността на контролните действия на оператора и техническите характеристики на техническата система с цел намаляване броя на грешките.

На второто ниво интелектът (познанието) създава модел на реалната ситуация въз основа на получените данни. Точността на този процес се влияе както от външни, така и от вътрешни (лични) фактори. Недостатъчността на информация за околните условия може да бъде отнесена към външни фактори, а към вътрешните – особености на интелигентността, образованието, жизнения опит, възрастта, умората и пр.

Методи за информационно осигуряване на дейността на оператора

В съществуващите системи за информационно осигуряване основно вниманието се фокусира върху антропометричните, физиологични и психофизиологичните особености на оператора, което от своя страна, определя структурата на тези системи – видовете дисплеи, набора от информационни модели, формата за представяне на информация за обекта на управление (ОУ), както и прочие друга информация, необходима за неговата оценка [10]. На оператора се предоставя информация за ОУ, като обикновено не се отчитат всички фактори, например като: доколко е необходима тази информация за дадената работа; възможностите на оператора за обработка на информацията; способите за обработка на информацията от оператора; съответствието на информацията на задачите, които той решава; условията на работа и др.

Основен етап при разработването на системите за информационно осигуряване е изясняването на задачата, чието решение е възложено на ЧО. При това провеждането на тази процедура трябва да става с отчитане на особеностите на неговата работа в различните условия (като дежурства, аварийни ситуации и пр.) Решенията на оператора вземани на този етап е възможно само в този случай, в който той е осигурен с цялата необходима информация за нейното правилно и бързо решаване.

Изхождайки от това, методът за разработка на система за информационно осигуряване за оценка на ОУ трябва да включва следните основни компоненти:

- анализ за информационното осигуряване на процеса за оценка на ОУ от оператора;
- определяне на информационните признаци, осигуряващи оценката на ОУ и обосноваване състава на информационните елементи, представени на средствата за изобразяване на информации, които осигуряват оперативната оценка на ОУ;
- разработка на структурата на ИМ, осигуряващ информационната оценки на ОУ;
- разработка на изискванията към начина на представяне на информационните елементи.

Както беше показано, основен компонент за осигуряване на информационната поддръжка на оператора е ИМ, като материална основа за построяване на концептуалния модел на ОУ и изработка на управляващите въздействия [10,11].

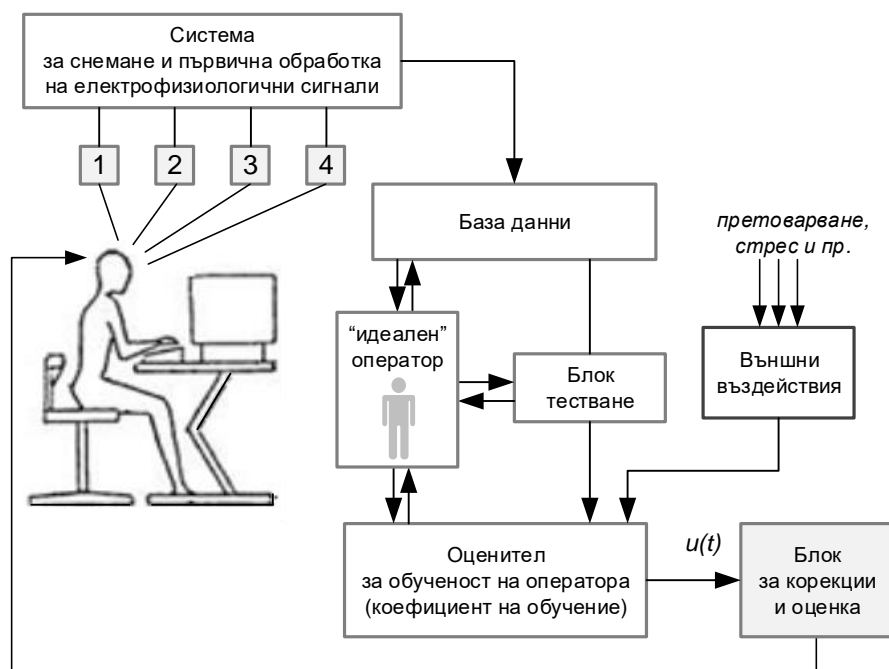
Изключително значение в операторската дейност има работното натоварване на оператора. То се определя като въздействие върху субекта на съвкупност от фактори от трудовата дейност, които се определят от съдържанието (сложността) и условията за изпълняване на конкретните задачи, отнесени към възможностите (способностите) на оператора да реализира предявените към него изисквания. Така общото работно натоварване може да се разглежда като съчетание на умственото, физическото и емоционално натоварване от трудовата дейност. Операторския труд преимущество има умствен и емоционален характер, макар че има елементи и на физическо натоварване като при всеки друг трудов процес (принудителни пози, действия с органи на управление и пр.) [12].

Работното натоварване отразява процеса на взаимодействие на оператора с работната задача. Работата, която индивида е длъжен да изпълни, се определя в определена степен от това, какво иска да направи и с какви ресурси за това разполага. От тук зададената задача може да предизвика по-малко или по-голямо натоварване, в зависимост от нивото на професионалната подготовка на оператора, неговото състояние и степента на мотивация за изпълнение на задачите.

Методите за намаляване на броя на злополуките могат да бъдат насочени към разработването на подходи за оценка на професионалната годност на ЧО, осигуряващи необходимата точност и надеждност на резултатите от оценката, както и чрез подобряване на процесите на управление на ИУС [13]. За създаването на модел на взаимодействие в ССУ авторите предлагат *моделиращ комплекс за анализиране действията на оператора*, позволяващ да се следи състоянието и действията на оператора, чиято концептуален вид е показан на фиг. 2. Основна цел на моделиращия комплекс е да се покажат такива контролни механизми, посредством които е възможно осъществяване на управление от човек в случаи на отклонения от оптималните му режими на работа и жизнена среда. Основните негови подсистеми и устройства са със следните функции:

- да контролират психофизическо състояние на оператора при различни условия на работа посредством индикатори (енцефалограф, измерване на импулси и др.);
- да показват нивото на обучение на оператора на база тестване (по възможност операторът не трябва да знае, че се тества);
- да сравняват оператора със стандартен модел на "идеалния оператор", както и да генерират коригиращи сигнали в информационния блок за управление (на дисплей), като целта е намаляване и количеството грешки на оператора;

- да сигнализираят оператора за възможни нарушения в действията му;
- възможност да включват система за автоматично управление в случай на неразположение на оператора (например припадък, болест и др.).



Фиг. 2. Моделиращ комплекс за анализ на операторските действия

Основна цел на експеримента е показване на индивидуалните стратегии на поведението на ЧО и формиране на база данни на информационните параметри в дейността и поведението му (индивидуалната стратегия на ЧО с последващо негово управление на информационно ниво). Информационното управление се състои в препоръки към ЧО по приемането и реализирането на технически и стратегически управляващи решения. На този етап се формират база данни за информационните параметри за дейността и поведението на ЧО.

Подсистемата за анализ на операторските действия позволява натрупване на информация за състоянието на системата и действията на оператора. Натрупването на тези данни позволява тяхната статистическа обработка и създаване на модел на "идеалния" оператор. Въз основа на сравнението на действията на "идеалните" и реални оператори се формира функцията за обща оценка на оператора $u(t)$. В случай на повреда, подсистемата предупреждава.

Предложената системна схема има "препоръчителен" режим на работа и практически не трябва да пречи на работата на оператора. Той разглежда характеристиките на всеки оператор и реконструира система за управление поотделно за всеки оператор (например организира индикация на системите според антропологията или други качества на ЧО)

Заклучение

В последно време в редица публикации се застъпва тезата за целесъобразността от включването в ИУС на методите на изкуствен интелект. Представя се също, че проблемът на човешкия фактор ще стане предмет на информационната екология на човека – това ново научно направление. По мнение на много специалисти от промишлеността, интелигентното управление трябва да отговаря на редица изисквания като: способност за обучение и адаптация; повишаване на устойчивостта и простота на управлението на сложни обекти; способност за включване на нови компоненти, осигуряващи най-добрите решения в рамките на ограниченията, наложени от апаратно-програмните средства пр. Решаването проблема за ЧФ се свързва със следните направления:

1. *Поддържане емоционалното, комфортно и бодро състояние на оператора в работното време.* На състоянието на оператора в течение на работната смяна влияят работните и организационни характеристики [14]. Работните характеристики включват съдържанието на работата, средствата за работа, и технически и социалните условия на труд.

Организационните характеристики са оптималната структура на АСУ, процесите и управлението. Необходимо е, да се отчитат всички тези външни за оператора фактори, влияещи на неговата работоспособност.

Следва да се създават условия, в които се изключва извънредната пасивност на оператора. Тя може да доведе до повишаване монотонността и като следствие, уморяемост и сънливост, които отрицателно влияят на работоспособността. Целесъобразна е също така психопрофилактиката на неблагоприятните функционални състояния. Всичко това се препоръчва от класическата ергономия.

2. *Осигуряване на своевременен и ефективен отдих (релаксация) на оператора.* Качеството, времето, интензивността на отдиха зависят от индивидуалните характеристики на всеки оператор. Индивидуалните характеристики на оператора се делят на професионални, нравствени и организационни, психологични, физиологични и физически. Това съществено усложнява организацията на интелектуалния компонент на оператора, а самия проблем за ЧФ става интердисциплинарен.

3. *Снижаване на неадекватното натоварване на оператора.* Необходимо е да се изключат излишните действия, извършвани от оператора, като съответно се осигури удобство на работното място и организация на почивките, т.е. да се осигури необходимото ниво на работните, организационни, индивидуални характеристики на локалната среда за работа на оператора, която да е адекватна на неговите функционални задължения.

4. *Мониторинг на състоянието на работоспособността на оператора,* на неговото емоционално и физическо състояние. Мониторингът е необходим за своевременното реагиране при поява на признаци на умора, прекомерно натоварване, спад на реактивността и пр., а като следствие, спад на психологическата работоспособност, увеличаване на вероятността от грешни действия и пр.

Изброените по-горе задачи са непосредствено свързани с операторските пултове и средствата за изобразяване на информацията, оборудвани със съответните апаратно-програмни осигурявания и дистанционни средства за измерване и наблюдение в частност.

БЛАГОДАРНОСТИ. Представеното изследване е финансирано по договор КП-06/H27-10/ 11.12. 2018 г., сключен между Фонд „Научни изследвания“ и ИКИТ – БАН.

Литература:

1. Salvendy Gavriel (редактор), Handbook for Human Factors and Ergonomics, Purdue University, 2006, Канада
2. Lindsay Peter H., Norman Donald A., Human Information Processing, by Academic Press Inc., U.S, 1992
3. Електронные средства сбора, обработки и отображения информации,
http://www.ie.tusur.ru/books/COI/page_51.htm
4. Скибин, Ю. В., Введение в эргономику, Спец. «Информационные системы и технологии», Самара 2004
5. Andonov, A., Z.Hubenova, Modeling of the Human Operator in a Complex System Functioning Under Extreme Conditions, "V. Levski" National Military University, Proceedings 2006, Part II, p. 257–263
6. Wickens, C., J. Hollands, S. Banbury, R. Parasuraman, Engineering Psychology and Human Performance, by Psychology Press, 2012
7. Горский, Ю. М. Информационные аспекты управления и моделирования, М., Наука, 1978
8. Wu, C., Liu Y., "Queuing Network Modeling of Transcription Typing", ACM Transactions on Computer Human Interaction, vol. 15, 2008, pp. 1–45.
9. Y.H.J. Chang and A. Mosleh, Cognitive modeling and dynamic probabilistic simulation of operating crew response to complex system accidents, Part 2: IDAC performance influencing model, Reliability Engineering and System Safety, vol. 92, issue 8, pp. 1014–1040, 2007
10. Хрестоматия по инженерной психологии /Сост.: Б.А. Душков, Б.Ф. Ломов, Б.А. Смирнов / Под ред. Б.А. Душкова. – М.: Высшая школа, 1991. – 287 с
11. Бодров, В. Анализ психофизиологических характеристик человека-оператора. М, Наука, 1997.
12. Гецов, П., Попов В., Димитров И. Експериментално изследване на човека в многозадачен режим. Разпределение на вниманието. Сборник доклади "30 години организирани космически изследвания в България", София, 1999, стр. 262–263.
13. Petukhov, I. Temporal Aspects of Human-machine Interaction in the Perception of Visual Information // ACHI 2011, The Fourth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions. Gosier, Guadeloupe, France. – 2011. P. 43–47.
14. Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods, CRC PRESS, edited by Neville Stanton et al., 2015
www.cpe.ku.ac.th/~jan/ergonomics/HumanFactors.pdf

ESTIMATING AN UAV OPERATOR'S COGNITIVE WORKLOAD BY MEASURING PUPIL DILATION

Konstantin Metodiev

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

Keywords: eye tracker, UAV, cognitive workload, wavelet

Abstract: In the paper hereby, results obtained after measuring an UAV operator's cognitive workload are announced. Simulation studies have been carried out on RC flight simulator including a genuine control radio in the loop. Throughout course of the flight session, pupil dilation is being measured simultaneously by means of a desktop-based eye tracker. The obtained signal is processed further by discrete wavelet transformation in order to split up both abrupt and gradual changes of pupil diameter. The former pattern supposedly comes as a consequence of cognitive effort whilst the latter should be attributed to ambient light conditions. Blinks have been taken into account and excluded from the stage of postprocessing results.

Cognitive workload is presented with regard to number of abrupt oscillations of pupil diameter. Results have been obtained by means of developing source code in GNU Octave.

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КОГНИТИВНОТО НАТОВАРВАНЕ НА ОПЕРАТОР НА БЛА ЧРЕЗ ИЗМЕРВАНЕ РАЗШИРЕНИЕТО НА ЗЕНИЦАТА

Константин Методиев

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

Ключови думи: окулограф, БЛА, когнитивно натоварване, уейвлет функция

Резюме: В настоящия доклад са представени резултати, получени след измерване когнитивното натоварване на оператор на БЛА. Проведени са полунатурни изследвания на симулатор, включващ реална апаратура за управление. По време на експеримента диаметърът на зеницата се измерва чрез настолен окулограф в реално време. Полученият сигнал се обработва чрез дискретна уейвлет трансформация, за да се разделят резки и монотонни изменения в диаметъра на зеницата. За първия модел на изменение се предполага, че се дължи на когнитивно натоварване, а за втория – на осветеността на работната среда. Премигванията са отчетени и изключени от етапа на обработка на резултатите.

Когнитивното натоварване е определено в зависимост от броя на резките осцилации на диаметъра на зеницата. Резултатите са получени посредством разработка на код на GNU Octave.

Introduction

Task of measuring pupil dilation comes down to setting apart two reflexes of the visual analyzer muscles, which often occur simultaneously. Two muscle groups control the pupil dilation: the circular muscles surrounding the pupil and the radial muscles extending from the pupil to the iris periphery. Under the influence of a light stimulus, the circular muscles are activated and the radial ones are suppressed, thus causing the pupil to contract. On the contrary, under the influence of a cognitive stimulus, the radial muscles are activated and the circular ones are inhibited, which provokes an abrupt dilation of the pupil diameter.

The study hereby aims at identifying events of high cognitive workload during flight task performed on RC flight simulator. The research methodology has adopted to some extent what is described in patent [1] by Sandra P. Marshall. All credits are due to the respectful inventor.

Materials and Methods

The experiment setup consists of a PC, Gazepoint GP3 HD eye tracker, [2], Taranis X9D+ radio transmitter, [3], RC to USB KSim dongle, Phoenix RC 6.0.i RC flight simulator, [4], and a RC helicopter, Fig. 1. A trainee is told to perform take off, basic flight manoeuvres, and land within two minutes. During flight session, the eye tracker is gathering data about pupil diameter variations and blinks at sampling rate of 150 Hz. The ambient light conditions are set constant.



Fig. 1. Experiment setup: Thunder Tiger Raptor 90 G4 put on the screen

The undecimated discrete wavelet transformation (UDWT) has been chosen to separate frequency components of the pupil diameter signal. A flowchart depicting two-level implementation is shown in Fig. 2. It comprises two nested single-level UDWTs. Two stages are recognizably different during transformation, i.e. decomposition and reconstruction stage, hence the indices **d** and **r**. During decomposition stage, the input signal **S** is being passed to high pass (**Hid**) and low pass (**Lod**) filters to carry out discrete convolution. After filtering, low (**cA**, approximations) and high (**cD**, details) frequency components are split up. The signal of approximation coefficients **cA** closely resembles the input one. The signal of detail coefficients **cD** is less informative, though it is of particular interest in the present study.

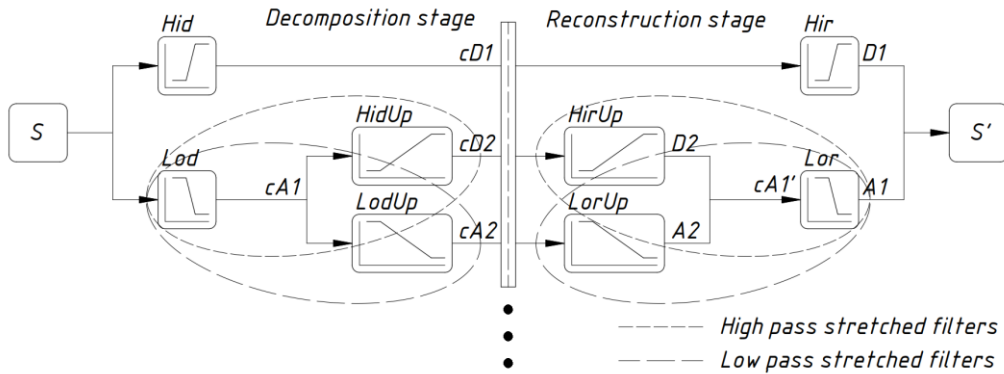


Fig. 2. Two-level undecimated discrete wavelet transformation flowchart

An arbitrary level of transformation might be chosen in order to achieve desired level of signal denoising or compression. The cascaded multilevel signal decomposition / reconstruction is widely known as Mallat's algorithm, [5]. In case of undecimated implementation, filters are stretched at each level to narrow the frequency pass band and decrease the center frequency while the peak value doubles (**Q** behavior), [6].

In present study, Daubechies **Db2** wavelet has been chosen. Low order (of two) makes it feasible for the wavelet to extract high frequencies obtainable from the input signal. Four basic filters associated with **Db2** wavelet are shown in Table 1.

Table 1. Basic **Db2** filters

Hir = [-0.1294, -0.2241, 0.8365, -0.4830];	basic
Hid = [-0.4830, 0.8365, -0.2241, -0.1294];	
Lod = [-0.1294, 0.2241, 0.8365, 0.4830];	
Lor = [0.4830, 0.8365, 0.2241, -0.1294];	scaling

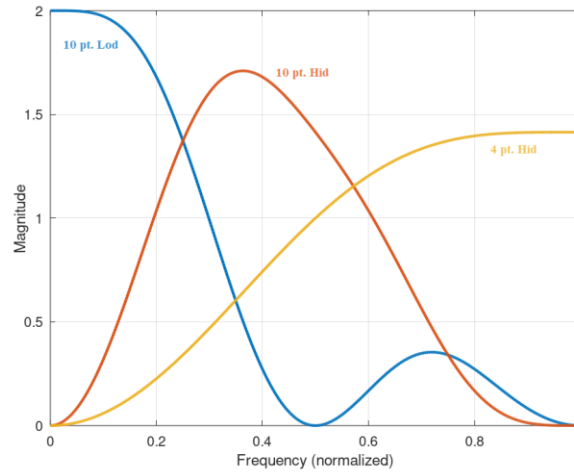


Fig. 3. Db2 filterbank used in case of two-level UDWT (frequency responses)

Filter stretching is performed by upsampling dyadically basic **Db2** filters (Table 1) and convolving by low pass filter at preceding level of transformation. In Fig. 2, filters falling within each dashed oval line illustrate the idea. Frequency responses, Fig. 3, of both basic and stretched filters used at decomposition stage, in case of two-level UDWT, might be depicted in GNU Octave environment, [7], by means of following script. LtFat library, [8], [9], is required.

```
[g, a] = wfbt2filterbank({'db2', 2, 'dwt'});
filterbankfreqz(g, a, 1024, 'plot', 'linabs', 'posfreq');
```

Alternatively, frequency and phase responses of stretched filters might be acquired by running the script below. In this particular example, high pass decomposition filter has been taken into consideration, Table 1. The prerequisite is Signal library.

```
db2 = Hir; filter = Lor;
db2 = upsample(db2, 2); db2(end) = [];
db2 = conv(db2, filter);
[h, w] = freqz(db2);
figure(1); plot(w/pi, abs(h));
figure(2); plot(w/pi, unwrap(arg(h), pi) / pi);
```

Non-linear phase response of both basic and stretched filters introduces $-\pi$ rad worth of lag at Nyquist (folding) frequency.

Increased cognitive workload dilates pupil diameter rapidly. The phenomenon is called Dilation Reflex. It is a transitory event. Abrupt changes of pupil diameter are considered irregular and sharp consisting of large jumps followed by rapid declines, [1]. Therefore, these changes are to be looked for in the detail coefficient **cd1** signal. Pupil light reflex is thought to be filtered out and solely observable in the approximation coefficient **ca2** signal.

The high frequency signal **cd1** is believed to have been corrupted by noise. In paper [10], authors come up with algorithms of signal thresholding. All decomposed coefficients smaller than expected maximum are zeroed. Noise is assumed normally distributed. The universal threshold method, based on noise standard deviation σ , [10], is computed according to formula

$$(1) \quad \lambda^U = \sigma \sqrt{2 \ln(N)}$$

where N is the sample size. In most cases σ is unknown, though it might be estimated by

$$(2) \quad \sigma \approx \frac{\text{median}(|x_i|)}{0.67449}$$

where x_i is i^{th} sample. One way of threshold utilizing is the so-called Hard Thresholding Method

$$(3) \quad x_i = \begin{cases} 0 & \text{if } |x_i| \leq \lambda^U \\ x_i & \text{if } |x_i| > \lambda^U \end{cases}$$

which is also available in LtFat library

```
[xi, N] = thresh(xi, lambda, 'hard');
```

Time – Frequency Localization

The proposed algorithm has been put to the test by means of two exact signals with frequency components of $f_1 = 10$ Hz and $f_2 = 100$ Hz. The sampling frequency f_s was set 4 times the highest signal frequency. The former signal is periodic containing two superposed cosine functions whilst the latter assumes a definite form of split cosine function. The wave equations are following:

$$(4) \quad \begin{aligned} x_1 &= \cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t) \quad t \in [0;1] \\ x_2 &= \begin{cases} \cos(2\pi f_1 t) & t \in [0;1] \\ \cos(2\pi f_2 t) & t \in (1;2] \end{cases} \end{aligned}$$

Both signals might be seen in Fig. 4 alongside power spectra obtained by means of Fast Fourier Transformation (FFT). Although set, this problem clearly reveals inability of FFT to discriminate frequency components over time for both spectra are virtually identical. In this case, the FFT is said to be localized poorly in time.

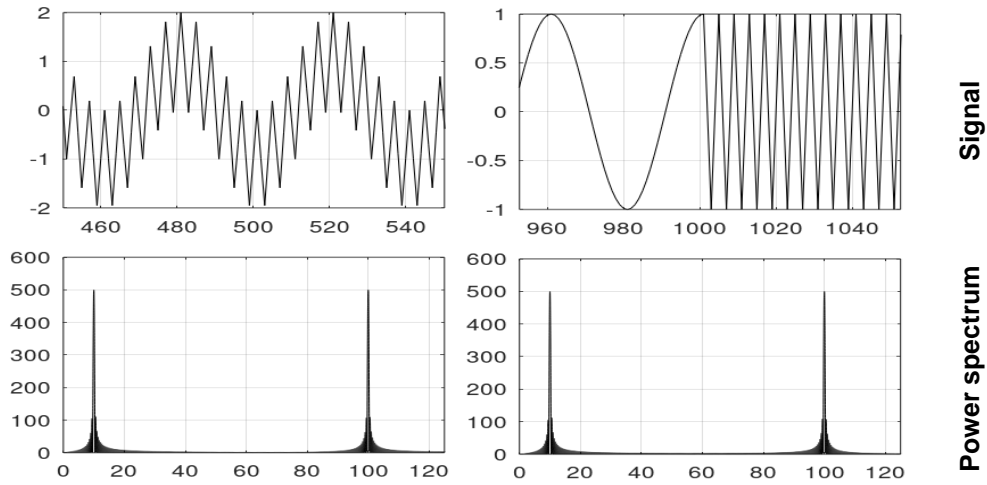


Fig. 4. FFT applied to both periodic (left) and split cosine signals

Two-level Undecimated Discrete Wavelet Transformation was subsequently applied to both signals by requesting following function from the LtFat library:

```
[c, info] = ufwt(input, 'db2', 2, 'noscale');
```

In Details and Approximations coefficients charts, Fig. 5, the frequency components are distinctly set apart on account of a good time – frequency localization of wavelet transformation. Wavelets are known to have a limited time-interval as well as a limited bandwidth, [6].

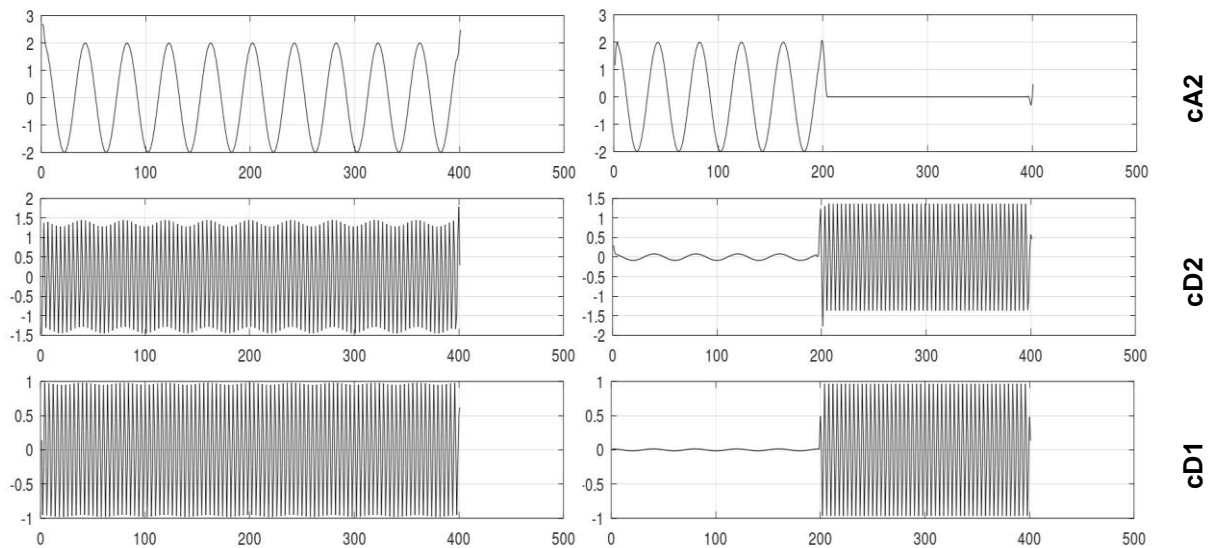


Fig. 5. Two-level UDWT applied to both periodic (left) and split cosine signal

Results

Details and approximations coefficients, obtained after applying two-level UDWT, for left pupil, are shown in Fig. 6 as well as raw data sets.

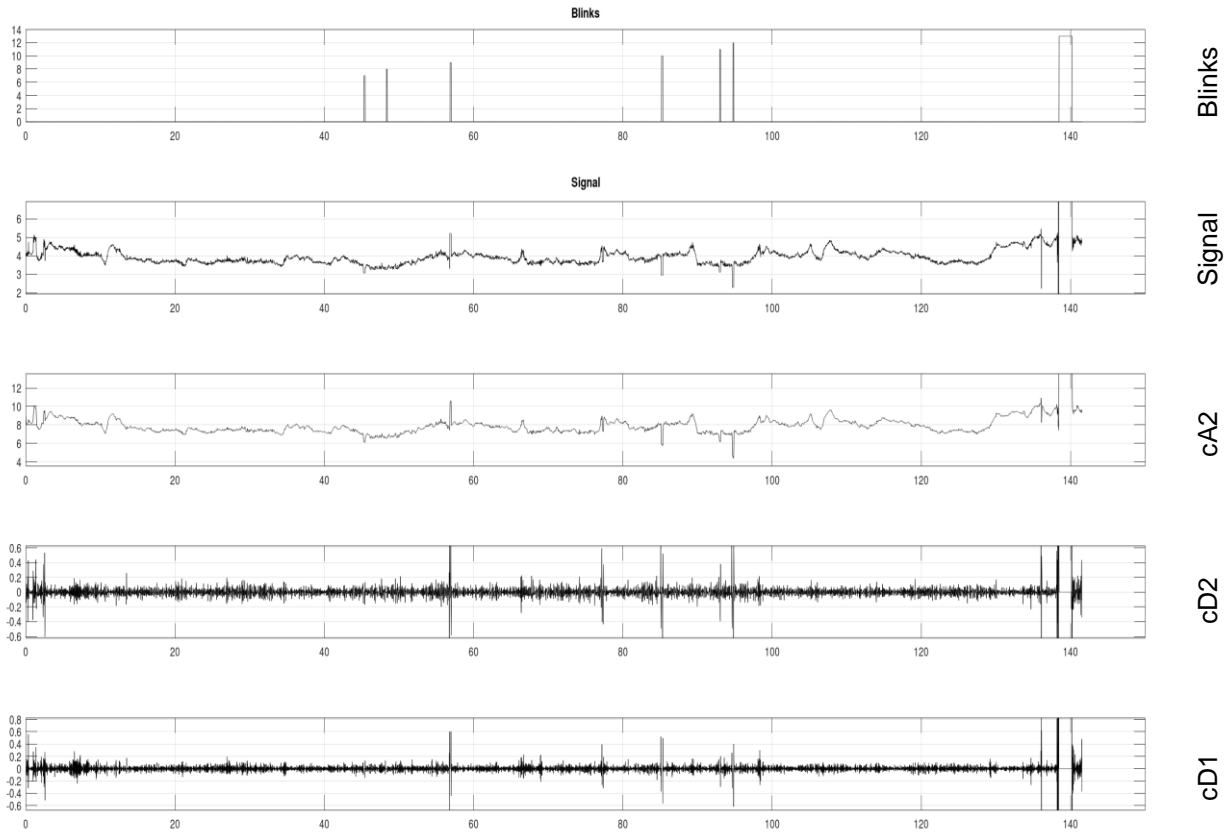


Fig. 6. Raw data and decomposed signal, left pupil

In addition, in following Fig. 7, denoised **cD1** coefficients, computed according to formulae (1) ... (3) are shown alongside recorded blinks.

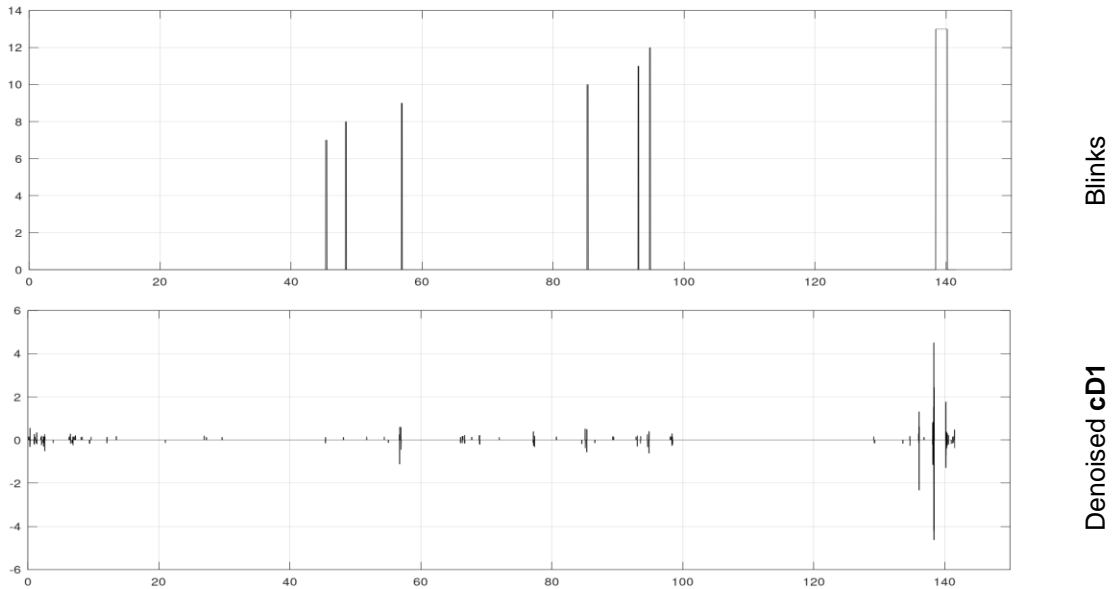


Fig. 7. Denoised **cD1** coefficients

The computed threshold level is $\lambda^U = 0.1289$. The hard thresholding method preserved 161 samples out of 8584 in total. Sample onsets coinciding with blinks (7 in total) are to be neglected. Remaining samples are identified as events during which the cognitive load has risen. In order to localize these events, one may look up in the video stream.

Discourse

A binary vector might be defined subsequently within limited interval of interest. The vector length depends upon the eye tracker sampling frequency. Gazepoint GP3 HD eye tracker gathers data at rate of 150 Hz. Therefore, the vector is `floor(150 times seconds)` elements long. An expected time period between two consecutive samples is 6.7 ms. Whenever non-zero samples are encountered in denoised **cd1** signal, the vector takes non-zero elements. In this way, the vector might indicate a noticeably different pupil activity, [1], attributed to increasing cognitive workload.

Choice of basic wavelet number of coefficients (i.e. order) appears to be essential. Daubechies wavelets are suitable for solving signal self-similarity properties at separate scales as well as signal discontinuities. To extract information from the signal is based on number of zero moments equal to half the number of wavelet coefficients. The higher number of the zero moments, the better ability of wavelet to delineate a polynomial behaviour of the input signal. It is highly up to an experienced researcher to make a definitive decision. In addition, decomposition might be repeated to keep on dividing frequency band to sub-bands (further increase frequency resolution of the coefficient signal). Last but not the least, the obtained results might be enhanced by EEG measurements carried out simultaneously.

Acknowledgements

The Bulgarian National Science Fund at the Republic of Bulgaria has been supporting the research hereby since 11th of December, 2018, according to contract № КП-06/H27-10. The project title is “Human Factor in Remotely Controlled Aerial Systems – Analysis, Estimation, and Control.”

References:

1. Marshall, Sandra P., Method and Apparatus for Eye Tracking and Monitoring Pupil Dilation to Evaluate Cognitive Activity, patent US006090051A, 18th of July, 2000
2. <https://www.gazept.com>
3. <https://www.frsky-rc.com/>
4. <https://www.rc-thoughts.com/phoenix-sim/>
5. Mallat, S. G. “A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol. 11, Issue 7, July 1989, pp. 674–693.
6. Fugal, D. Lee, Conceptual Wavelets in Digital Signal Processing, an In-Depth Practical Approach for the Non-Mathematician, Space & Signals Technical Publishing, San Diego, California, 2009, p.p. 120, 134
<http://www.conceptualwavelets.com/>, ISBN: 978-0-9821994-5-9
7. Eaton, John W., David Bateman, Søren Hauberg, Rik Wehbring (2020). GNU Octave version 6.1.0 manual: a high-level interactive language for numerical computations.
<https://www.gnu.org/software/octave/doc/v6.1.0/>
8. Průša, Zdeněk, Peter L. Søndergaard, Nicki Holighaus, Christoph Wiesmeyer, Peter Balazs, The Large Time-Frequency Analysis Toolbox 2.0. Sound, Music, and Motion, Lecture Notes in Computer Science 2014, pp 419–442
9. Søndergaard, Peter L., Bruno Torrèsani, Peter Balazs. The Linear Time-Frequency Analysis Toolbox. International Journal of Wavelets, Multiresolution Analysis and Information Processing, 10(4), 2012
10. Donoho, D. L., in Proceedings of Symposia in Applied Mathematics: Different Perspectives on Wavelets; Daubechies, I., Ed.; American Mathematical Society: Providence, RI, 1993; Nonlinear Wavelet Methods for Recovery of Signals, Densities, and Spectra from Indirect and Noisy Data pp 173–205

ПРОТОТИП НА ПРОТИВОПОЖАРНА РАКЕТА „ДРАКОН“

Христофор Скандалиев^{1,2}, Калин Крумов^{1,2}, Томислав Скандалиев^{1,2}, Нели Сивева^{1,2}

¹Химикотехнологичен и металургичен университет - София

²Клуб за аерокосмически технологии „Зодиак“ - Кюстендил

e-mail: fori2ivanov@yahoo.com;

Ключови думи: Противопожарни ракети, ракетни горива, аерокосмически технологии

Резюме: Ракетата "Дракон" е прототип на изделие за противодействие на пожари в труднодостъпни извънградски местности чрез залпова стрелба от разстояние. Изработена е от биоразградими материали, а двигателят съдържа нетоксичен пиротехнически гасителен състав. Извършени и описани са контролирани наземни и полетни тестове за доказване на работоспособността на прототипа в условия максимално близки до реална пожарна ситуация.

PROTOTYPE OF FIRE EXTINGUISHING ROCKET "DRAGON"

Hristofor Skandaliev^{1,2}, Kalin Krumov^{1,2}, Tomislav Skandaliev^{1,2}, Neli Siveva^{1,2}

¹University of Chemical Technology and Metallurgy – Sofia

²Club of aerospace technologies "Zodiac" – Kyustendil

e-mail: fori2ivanov@yahoo.com; kkrumov@uctm.edu

Keywords: Fire extinguishing rockets, rocket propellants, aerospace technologies

Abstract: "Dragon" is a prototype of a rocket for fighting wildfires in hard-to-reach suburban areas by firing from a distance. It is made of biodegradable materials and the rocket motor contains a non-toxic pyrotechnic extinguishing composition. Controlled ground and flight tests were performed and described to prove the operability of the prototype in conditions as close as possible to a real wildfire situation.

Въведение

В последните десетилетия се регистрира възникването на огромен брой масивни горски пожари в много райони на света, респективно в страните от ЕС и особено в южната част на съюза. България попада в тази част на континента и също не е пощадена от тези бедствия. Като най-вероятна причина много изследвания посочват климатичните промени. Основният проблем при пожарите в горски местности е свързан с много бързото разпространение на фронта на пожара и последващото изключително трудно, рисково и скъпо овладяване на разрасналия се пожар. В този аспект, ранното засичане и изборът на подходящи средства за противодействие са ключови фактори за бързо овладяване и недопускане на по-нататъшно разрастване на пожара. Традиционните противопожарни методи често се оказват неефективни и неприложими, особено когато става въпрос за пожари в труднодостъпни и планински местности [6,9]. Единственото възможно решение често се оказва атакуването на пожара от въздуха със специализирана авиационна техника. Този подход, обаче предполага разполагаемост с летящи машини – самолети и вертолети, наличието в близост на подходящ голям воден басейн за зареждането им, летателни планове и разрешения, екипажи, финансов ресурс и още ред други необходими условия. Осъществяването на такава сложна логистика отнема много ценно време, през което огнището на пожара вече се е разпространило и потушаването му става в пъти по-трудно.

Иновативен подход от последно поколение за бързо реагиране и незабавно пренасяне на пожарогасителни вещества в отдалечени местности от голяма дистанция е използването на залпова стрелба със специално конструирани ракети от мобилни пускови установки. Въпреки,

че този метод не е особено популярен, по него се работи усилено в последните години, а в някои държави като Китай например, вече има създадени подобни установки, макар и за употреба в градска среда за пожари, възникващи във високите етажи на небостъргачи [4,5,8,9].

Разглежданата тук противопожарна ракета „Дракон“ е плод на изследванията, провеждани от 2015 г. насам от екип студенти и преподаватели от Химикотехнологичен и металургичен университет, София и членове на Клуб за аерокосмически технологии „Зодиак“ в Кюстендил. Тези изследвания са насочени както към разработване на подходящи аерозолни пожарогасителни състави, така и за създаване на биоразградими композити за корпусите, носовите обтекатели и вътрешната архитектура на самите ракети.

Същност на концепцията за противопожарни ракетни системи

Основната роля на ракетите за противодействие на пожари е доставянето от разстояние на подходящ гасителен състав до огнището на пожара по балистична траектория. Това по същество са неуправляеми изделия, базирани на пускова установка за залпов огън, която се насочва в необходимата посока и чрез познатите от балистиката методи за пресмятане се задава точна траектория за достигане на желаната точка на въздействие. Тъй като въпросите за аеродинамиката и определяне на точния път за полет на ракетите до целта е разгледан детайлно в много от учебните програми по външна балистика, за целите на конкретното противопожарно приложение на ракетите са по-важни самите конструктивни материали, които ги изграждат, вътрешната архитектура на основните градивни блокове и пиротехническата система за задвижване и аерозолно пожарогасене [10]. На фиг.1 е показана опростена схема на противопожарна ракета с основните възли от нейната конструкция.



Фиг. 1. Обща блокова схема на противопожарна ракета

Основният елемент, заемащ най-голямата част от ракетата е пиротехническият заряд, създаващ гореща смес от аерозоли и газове при изгарянето си. За разлика от студените прахови гасителни агенти, които се съхраняват под налягане в контейнери, аерозолно-газовата смес при метода на горещо гасене се създава от изгарянето на твърд заряд, който може да се съхранява при нормални атмосферни условия дълго време, без специални изисквания. Това е много важно предимство по отношение на готовността за употреба на изделията по всяко време. Друго важно преимущество са ниските нива на ODP (Ozone Depletion Potential) и GWP (Global Warming Potential), в сравнение с използваните масово през XX в. халиди и нискотемпературни прахови агенти [7].

При окислително-редукционната реакция, протичаща в камерата на гасителния заряд, се получават колоидни частици с диаметър под $1\ \mu\text{m}$, което е в границите на съществуване на Бруновото движение (под $3\text{--}5\ \mu\text{m}$) и това им придава висока дифузионна способност, както и дълго време на задържане при проникване в зоната на горене на пожара, респективно по-дълго време на гасително въздействие. Механизмът на гасене е едновременно физически и химически. Проникващите аерозолни частици привличат чрез многослойна физическа абсорбция водородни и хидроксилни радикали, поддържащи горенето и намаляват повърхностната им енергия, което постепенно спира верижната реакция на горене в зоната на пожара. Освен това, газовете отделяни при действието на гасителния заряд (основно H_2O пари, CO_2 , N_2 , CO) потискат действието на кислорода и намаляват температурата в зоната на пожара [7].

Гасителният заряд обикновено е твърда хетерогенна смес от окислител алкален нитрат и редуктори, които могат да бъдат различни видове захариди, вещества с голямо съдържание на азот, прахообразни леки метали, като алуминий и магнезий, и други технологични добавки. При това, химическата същност на гасителното въздействие се определя от последователно протичане на поредица от химически реакции между продуктите, отделяни при окислително-

редукционната реакция на гасителния състав и компонентите, осъществяващи горенето в зоната на пожара. При тези рекомбинаторни реакции първо се образува метален карбонат, който последователно се разгражда до метален оксид, след това до метален хидроксид, поглъщащ водородните радикали и след това до чист метал, реагиращ с хидроксилните и кислородните радикали, отново до метален оксид. Последните няколко химични реакции са ендотермични, което допълнително снижава температурата в зоната на въздействие [7].

Конструктивно изпълнение на прототипа „Дракон“ и получени тестови данни

1. За гасителен състав в ракетите „Дракон“ е използвана формула, базирана на окислител калиев нитрат, а редуктори са комбинация от плодови захари, прахообразен магнезий и азодикарбонамид. Последният осигурява високо съдържание на азот в продуктите на горене, а магнезиевият прах поддържа необходимите температура и скорост на изгаряне на състава и стабилизира като цяло редокс процеса. На фиг. 2 е представена извадка от пресмятанията, направени със специализираната софтуерна програма PROPER3, симулираща процеса на горене на базовия гасителен състав и показваща разпределението на получаваните продукти от изгарянето.

*****EXHAUST RESULTS FOLLOW *****

T(K)	T(F)	P(ATM)	P(Psi)	ENTHALPY	ENTROPY	CP/CV	GAS	RT/V
1284	1852	1.00	14.70	-147.47	174.98	1.1402	2.423	0.413
SPECIFIC HEAT (MOLAR) OF GAS AND TOTAL = 9.727 14.001								
NUMBER MOLS GAS AND CONDENSED = 2.423 0.374								
6.958624e-001 H2O		4.362448e-001 H2		4.356319e-001 CO		4.345100e-001 N2		
4.098460e-001 CO2		2.913910e-001 K2CO3*		8.221685e-002 MgO&		9.502669e-003 KNO		
0.00106875 K								

Фиг. 2. Резултати от моделиране на горене с програма PROPER3, на изхода на горивната камера

Представени в масови части, продуктите от изгарянето на 1kg такъв състав, са както следва:

K2CO3* - 402,73g	CO2 – 180,44g	H2O – 125,39g
CO – 122,12g	N2 – 121,86g	MgO& - 36,33g
Други съединения и елементи, общо – 11,13g.		Заб. * - течна фаза, & - твърда фаза

От проведените огнегасителни експерименти се установява, че използването на 1 kg огнегасителна смес е съизмеримо с гасителното действие на 20-25 литра вода. Ако се приеме, че една пълноразмерна противопожарна ракета пренася 20 kg гасителен заряд, то тя може да замени използването на до 500 литра вода, а батарея от 40 броя ракети, които може да се изстрелят за няколко минути от дистанция, би спестила усилията на един противопожарен автомобил и целият му екип за достигане на пожарното огнище на километри разстояние и то в пресечена труднодостъпна местност [4,5].

2. Двигателят на ракетата конструктивно е изпълнен в общ корпус с основния гасителен заряд, което осигурява ред предимства, свързани с икономията на градивни материали, работна площ в изделието, намаляване на масата и габаритите му, и не на последно място – осигуряване на горивна камера за пиротехническата гасителна смес. Той може да бъде еднорежимен, или двурежимен, в зависимост от желаната далекобойност на ракетата. За по-къси дистанции може да се използва само стартов двигател, даващ необходимата тяга и начална скорост на изделието, което продължава полета по зададената балистична

траектория. При необходимост от достигане на по-големи дистанции, двигателят може да включва втора (маршева) част за допълнително ускоряване по време на полета.

Съставът на горивото на двигателната част е близък до този на пожарогасителната, но той осигурява по-висока скорост на горене и висок специфичен импулс. И двата състава се формират чрез директно отливане на разтопена смес в корпуса на двигателя. Първо се отлива гасителната смес като монолитен заряд, а след нея в задната част на двигателя се отлива стартовия заряд, изпълнен с горивен канал с подходящо изчислена форма и размери, които да осигуряват необходимата горяща повърхност за осигуряване на зададената тяга [3,4].

3. Корпусът на ракетата „Дракон“ е направен от биоразградим ламинатен композит на базата на естествени влакна и смоли, и се явява едновременно и горивна камера за пиротехническите състави. Той е ключов елемент от конструкцията, защото трябва да осигурява добра аеродинамичност на изделието при полет, добра топлоизолация, както от вътрешността на камерата, така и като защита от външното въздействие при попадане в огнището на пожара. Неговите оптимални конструктивни размери са получени чрез компютърно симулиране процесите на горене вътре и отвън на стените му, и посредством експериментални тестове в реално създадена работна среда [1,2].

Проведени са поредица от летателни експерименти само на изделието без гасителен заряд по свободна траектория, както и ограничени по направление пълноразмерни тестове по нарочно предизвикано огнище на пожар с включен противопожарен състав. За целта са изградени фамилия прототипни ракети „Дракон“ с различни габарити и различна маса на задвижващото гориво и гасителния заряд, показани на фиг.3 и фиг.4. Опитно е установено, че в зависимост от масата и пълния импулс на двигателите им, ракетите могат да покриват дистанции от няколко десетки метра до 5-10 km, без значение от релефа на местността.



Фиг. 3. Един от действащите изпитателни образци на ракетата



Фиг. 4. Прототип на ракетата „Дракон“, подготвен за полет по контролирана траектория

4. Още един съществен елемент от конструкцията на ракетата е носовият обтекател. Основната му функция е свързана с добрата аеродинамика и намаляване на въздушното съпротивление при полет, но за настоящето приложение той изпълнява втора много важна функция, а именно запазване целостта на изделието при достигане на целта в пожарното огнище. При своя полет ракетата достига скорост от стотици m/s и голяма кинетична енергия. Колкото масата на ракетата е по-голяма, толкова по-висока ще бъде кинетичната енергия при удара и в повърхността. Поради тази причина носовият обтекател има ролята да погълне голяма част от тази енергия чрез своята деформация при удара. Подборът на градивни материали за челния обтекател е едно от големите предизвикателства при създаването на прототипа. Извършва се като комбинация от софтуерно симулиране на деформациите и реални изпитания на голям брой биоразградими композити. Получени са достатъчно добри решения по отношение на материала, формата и размерите на обтекателя, които осигуряват изискванията за запазване на работоспособността на изделията при достигане на целта [1,5].

Кратък анализ за бъдещето на концепцията за ракетно пожарогасене в България

Въпреки, че постигнатите досега резултати в изследванията на този иновативен метод за потушаване на горски пожари са изключително обнадеждаващи, има някои фактори, които могат да се окажат проблемни за реалното осъществяване на подобна система. Например, в момента в нашата страна не се позволява използването на мобилни пускови установки за ракети с гражданско приложение. Такива ракети например са противогорадовите. Разположението на площадките за изстрелването им е точно фиксирано с постановление на Министерския съвет, което като вариант за противопожарни системи не е приложимо. Практически не е възможно да има такава концентрация на стационарни звена, които да покриват цялата потенциално застрашена територия от горския фонд на страната.

Процедурите по задействане на една ракетна система също са тромави и може да причинят огромно забавяне, като в крайна сметка да се редуцира ефективността и до минимум. По принцип, използването на въздушното пространство за подобни цели изисква изключително прецизна предварителна съгласуваност между институциите и точно разписани модели на реакция за всяка една очаквана кризисна ситуация.

За ефективното внедряване на ракетна противопожарна система е изключително важно навременното получаване на първоначалните данни от изградена мониторингова мрежа, за да може да се реагира още преди разрастването на установеното пожарно огнище. За събиране и обобщение на данни за възникване и разпространение на горски пожари в ЕС е създадена системата EFFIS (European Forest Fire Information System). Чрез нея се обработва информация от дистанционни наблюдения и наземни центрове, които са подадени от страните членки. България е включена в тази мрежа от 2007 г. За локален мониторинг на застрашени райони от фирмата „IQ wireless“ – Германия е разработена високоефективна оптична сензорна система за наблюдение, наречена FireWatch, базирана на мрежа от чувствителни датчици, засичащи появата на дим денем и нощем в радиус до 15 km. Тази система е презентирана в нашата страна още през 2013 г., а в страни като Гърция, Кипър, Литва, Естония и Казахстан вече успешно работи и е доказала своята висока ефективност [6].

Заклучение

Създадените прототипи на противопожарна ракета „Дракон“ се явяват ценен инструмент, помагач за събиране на данни чрез „стрелба“ по нарочно симулирано, но реално горящо пожарно огнище, посредством контролирани тестови полети. Информацията, получена от тестовите, се използва за по-нататъшно усъвършенстване на конструкцията на ракетата и нейния двигател, подобряване на химическата формула на пиротехническия състав, неговата геометрия и необходимо количество, както и вътрешнобалистичните параметри на горенето.

От досега проведените експериментални изследвания може да се направи заключението, че използването на ракети за пренасяне на аерозолни пиротехнически гасителни състави е напълно възможно, а ефективността при тяхната употреба зависи в голяма степен от броя на изстреляните по пожара изделия, количеството на пренасяния гасителен състав и точният избор на химическа формула на аерозолсъздаващия заряд.

Противопожарните ракети се явяват ефикасни гасителни средства от последно поколение, те са лесни за употреба, безопасни за човека и околната среда, изключително евтини и малкогабаритни.

Литература:

1. Скандалиев, Х., К. Крумов и колектив, Експериментални изследователски ракети "БИО", Twelfth Scientific Conference with International Participation SES 2016, БАН, София, България, 142–147
2. Скандалиев, Х., Крумов К. и колектив, Изследване на композитни състави за соплови блок на екологично чисти ракетни двигатели., Fourteenth International Scientific Conference with International Participation SES 2018, БАН, София, България, 208–211
3. Сивева, Н., Скандалиев Х. и колектив, Екологично чисти ракетни двигатели за граждански цели., Шеста международна конференция с Младежка научна сесия „ЕКОЛОГИЧНО ИНЖЕНЕРСТВО И ОПАЗВАНЕ НА ОКОЛНАТА СРЕДА“ (ЕИООС'2019) 5-7 юни 2019 г., Бургас.
4. Скандалиев, Т., Скандалиев Х., Сивева Н., Екологично чисти безхлорни състави за приложение в ракетната техника и пиротехниката., Ninth student scientific conference "Ecology and environment", KONSTANTIN PRESLAVSKY UNIVERSITY OF SHUMEN, April 23-24, 2021
5. Скандалиев, Т., Аерокосмически технологии за борба с пожарите., XIX Национален конкурс „Космосът – настояще и бъдеще на човечеството“, София, 2017
6. Любомиров И., "Система за ранно предизвестяване на горски и полски пожари.", ВТУ, 2014
7. Zhang, X., Hot aerosol fire extinguishing agents and the associated technologies: A review., 2014
8. Fire-extinguishing rocket system to fight skyscraper fires., Defence Redefined, 2020
9. Zakhmatov, V. D., M. V. Silinkov, and M. V. Chernyshov, OVERVIEW OF IMPULSE FIRE-EXTINGUISHING SYSTEM APPLICATIONS, Jr. of Industrial Pollution Control 32(2)(2016) pp 490–499
10. Дмитриевский, А. А., Лысенко Л. Н., Богодистов С. С, Внешняя баллистика., Москва, 1991

АВИАЦИЯТА И НАЦИОНАЛНАТА СИГУРНОСТ

Светлозар Асенов¹, Николай Петров¹, Николай Загорски²

¹Българско астронавтическо дружество

²Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: bad_plovdiv2015@abv.bg; nikipetrov_1953@abv.bg; nzagorski@space.bas.bg

Ключови думи: национална сигурност, авиация, техническо обслужване, неопределеност на бъдещето

Резюме: Понятието „сигурност“ има много широк обхват и е многоаспектно. Дефинирането на това понятие е свързано с динамиката на процесите в държавата, определяни от изкуството, наречено политика. Военната авиация е значим и изключително динамичен компонент на националната сигурност.

AVIATION AND NATIONAL SECURITY

Svetlozar Asenov¹, Nikolay Petrov¹, Nikolay Zagorski²

¹Bulgarian Astronautical Society

²Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: bad_plovdiv2015@abv.bg; nikipetrov_1953@abv.bg; nzagorski@space.bas.bg

Keywords: national security, aviation, maintenance, uncertainty of the future

Abstract: The concept of "security" has a very wide scope and is multifaceted. The definition of this concept is related to the dynamics of the processes in the state, determined by the art called politics. Military aviation is a significant and extremely dynamic component of national security.

Въведение

Понятието „сигурност“ има много широк обхват и е многоаспектно. То възниква по отношение на различни неща, по различни поводи и се преценява от гледна точка на различни критерии. Това е така, защото проблемът дали сигурността е налице, дали липсва или е недостатъчна, възниква винаги и навсякъде, където се съчетават няколко условия:

- състояние, представляващо ценност за субекта (държавата);
- неопределеност на бъдещето;
- връзка между тези два елемента, която определя бъдещето на субекта и, разбира се, държавата [8].

Дефинирането на понятието „сигурност на държавата“ е свързано с динамиката на процесите в държавата, определяни от изкуството, наречено политика. Големият германски политик и държавник Ото фон Бисмарк дава следното определение за политика: "Политиката е изкуство на възможното, т.е. наука за относителното в съществуването на държавата" [8,9].

Терминът „национална сигурност“ за първи път е въведен в официалната американска и световна политическа лексика от президента Теодор Рузвелт. Един от най-авторитетните американски дипломати и политолози от първата половина на XX век – Уолтър Липман, определя националната сигурност по следния начин: „Държавата е в състояние на сигурност, когато не се налага да жертва своите законни интереси, за да избегне войната („гореща“ или „студена“) и когато е в състояние при необходимост, чрез война да защити тези интереси“ [9].

В изследване на експерти от ООН, публикувано през 1986 г., международната сигурност, корелираща с националната сигурност се дефинира по следния начин: „По принцип, сигурността е състояние, при което държавите считат, че не съществува опасност от въоръжено нападение,

политически натиск или икономическа принуда, така, че да са способни независимо да осъществяват своето свободно развитие и прогрес” [2].

По същество, този начин на виждане е възприет и от българските автори като Р. Деянов, Ст. Венев, Т. Чуров и др. В едно изследване за Министерство на външните работи се изразява следното мнение: „Националната сигурност се схваща като състояние, в което държавата счита, че не съществува опасност от въоръжено нападение, политически натиск и икономическа принуда, така, че обществото да е свободно и да осигурява своето развитие и прогрес” [6].

Много е сполучлива и дефиницията за състоянието национална сигурност на българския изследовател Н. Слатински: „Състояние на международните отношения, изключващо нарушаването на всеобщия мир или създаване на заплаха за сигурността на народите в каквато и да е форма” [3].

Ев. Гиндев изказва мнение, че: „Теорията за сигурността се базира на тезата, че държавата има жизнено-важна роля за осигуряване на националната сигурност. В отделни периоди тази роля се променя и е естествено тя постепенно да намалява с нарастването на ролята на Международната сигурност” [3].

Комплексен критерий „национална сигурност“

Критерият „национална сигурност” има най-голямо значение при вземане на решения, свързани с жизнените национални интереси (например, за състоянието на авиацията в края на 20-ти век и вземане на решение за нейното съкращаване или пък при важното политическото решение за ваксинация срещу вирусната атака „COVID 19”). Под жизнени интереси се разбират интереси които са свързани със съществуването, свободното развитие и благосъстояние на гражданите на Република България [3]. Този тип решения са от стратегическо значение и имат значителни и трайни последици за държавата. Пренебрегването или подценяването на сигурността при тях води до големи вреди за българското общество.

Стратегията за национална сигурност на Република България е основополагащ документ за единно формиране, планиране, осъществяване, координиране и контрол на политиката за национална сигурност, провеждана от държавните институции в сътрудничество с гражданите и техните организации. Реализирането на стратегията за национална сигурност има за цел да гарантира правата, свободите, сигурността и благосъстоянието на гражданина и обществото, да запази суверенитета, териториалната цялост на страната и единството на нацията, да защити конституционно установения ред и демократичните ценности и да предпази населението и критичната инфраструктура при кризи, бедствия, аварии, катастрофи и други рискове и заплахи [1,7].

Системата за национална сигурност се изгражда за постигане на съвременна управляемост на усилията на държавните институции, местната власт, стопанските субекти, гражданите и техните организации за гарантиране принципите на демокрацията и устойчивото икономическо развитие и просперитета на страната [1,7].

Изследванията на авторите в тази насока са дали възможност да бъдат формулирано понятието „количество надеждна информация” - $I_{\text{ни}}(\Delta t)$ в една технико-икономическа или социално-икономическа система. Натрупаният опит при изследване на различните състояния (в изправност-в неизправност, в бойна готовност-не в бойна готовност, надеждно-ненадеждно и т.н.) на въздухоплавателните средства (ВС), намиращи се в авиацията на Въоръжените сили показва, че количеството полезна информация е задължително необходимо и приложимо в системата за управление на надеждността на функциониране на авиацията. Количеството надеждна информация може да бъде определено по следния начин:

$$(1) \quad I_{\text{ни}}(\Delta t) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \left[- \exp \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt \right]$$

където системата за управление има n -на брой изхода (възможни ситуации) и всеки изход (възможна ситуация) има вероятност за настъпване (реализация) p_i , като е изпълнено условието $0 \leq p_i \leq 1$. Съответно, $\omega(t)$ е интензивност на потока на откази (нарушения от страна на летателния и инженерен състав, неправилни оценки на историческата ситуация от обществото и неговите управленци и др.), за изследвания интервал от време.

За критерий за оценка на качеството (ценността) на изследваната информация в системата за управление на надеждността на авиацията, означен $K_{\text{ц}}$, може да бъде използвано нарастването на вероятността за постигането на целта на системата (поддържането на надеждността на авиацията на минимално допустимото ниво), след получаване на определено количество надеждна информация $I_{\text{ни}}(\Delta t)$, определена по (1).

Следователно, критерият $K_{\text{ц}}$ за качество (ценност) на информацията относно авиацията и нейната надеждност се определя като:

$$(2) \quad K_{\text{ц}} = \left\{ -\exp \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt \right\} \cdot \log_2 P_1 / P_0,$$

където P_1 е вероятността за постигане на целта, след получаване на определено количество надеждна информация за авиацията, нейното състояние и проблеми и разбира се вземане на съответното решение (авиационно, политическо, историческо и др.), а P_0 е вероятността за постигане на целта, преди получаване на същото количество надеждна информация.

Според някои изследователи на националната сигурност, рискът, а следователно и несигурността са изобщо присъщи на всички политически решения свързани с бъдещето на българския народ (в частност, с авиацията) [5,8]. Те се обосновават с твърдението, че поведението на международната система за сигурност е вероятно. В международната среда (политика) всички действат в условията на различни степени на неопределеност. Поради това никой не е и не може да бъде напълно сигурен в решенията си.

Българската военна авиация и нейната роля за осигуряване на националната сигурност

В края на юли 1912 г. българското правителство купува от Франция седем самолета „Блерио“. Така се слага началото на военната авиация у нас, като се създава първото аеропланно отделение на българската войска. Аеропланното отделение е въоръжено с един моноплан „Блерио XI“, френско производство, доставен през юли 1912 г. С този самолет поручик Симеон Петров за първи път лети над София на 13.08.1912 г. и това е първият самостоятелен полет на български пилот в родното небе. Бойното кръщение на младата българска военна авиация е на 16 октомври 1912 г. от пилота поручик Радул Милков и наблюдателя поручик Продан Таракчиев. Двамата извършват първия боен полет със самолет „Албатрос“ и бомбардиране на противника.

Ньойският мирен договор (27 ноември 1919 г.) напълно ликвидира българската авиация и тя практически престава да съществува. По силата на договора българската армия остава единствено с вътрешни функции, като служи *„изключително за поддържане на реда вътре в територията на България и за погранична полиция“*, без да има право на каквато и да е авиация и управляеми балони.

Българската военна авиация е възстановена в средата на 1937 г. По време на Втората световна война бойното кръщение на българските изстребителите е на 1 август 1943 г. В този ден между 14:00 и 15:00 часа американската авиация нанася първия масиран въздушен удар по нефтодобивните съоръжения в района на Пловдив, Румъния. За действие срещу тях излитат 15 изстребителя, като в завързалия се въздушен бой групата сваля четири самолета.

През пролетта на 1951 г. започва превъоръжаването на изстребителната авиация с реактивни самолети от бившия Съветски съюз, а след това и от Чехословакия и Полша. Първоначално на въоръжение са приети Як-23, учебните Як-17У и УТИМиГ-15, а в следващите години и различни модификации от типовете самолети МиГ-17, МиГ-19, МиГ-21, МиГ-23, МиГ-25, МиГ-29, Су-22, Су-25, Ан-24, Ан-26, Ан-30, Л-29, Л-39, Л-410, Pilatus PC-9, Pilatus PC-12, вертолетите Ми-1, Ми-4, Ми-6, Ми-8, Ми-14, Ми-17, Ми-24. През 1999 г. в Българската армия постъпват на въоръжение леките вертолетите Bell-206, а след тях и вертолетите AS 532 AL Cougar, AS 532 MB Panther и самолети C-27J Spartan.

Авиационната техника (АТ) е материалната основа на безопасността на полетите, учебно-бойната подготовка и постоянната бойна готовност в авиацията. Тя е важен елемент в постигането на висок боен потенциал като елемент, осигуряващ националната ни сигурност.

С постъпване на въоръжение на АТ от 3-то и 4-то поколение (МиГ-23, Су-22 и МиГ-29) нарасна значението на Инженерно-авиационното осигуряване (ИАО). Така че в настоящия момент ИАО се заключава не само в поддържане на АТ в изправно състояние и подготовката ѝ за полети, но и в решаване на задачите по непосредственото бойно използване на авиационния комплекс.

За да се добие реална представа за притежавания боен потенциал на нашата авиация ще посочим, че към началото на 90-те години на миналия век, самолетите от 3-то и 4-то поколение представляват около 30 % от общото количество самолети на въоръжение във ВВС и 42% от пределното ниво, наложено на Република България, съгласно Договора за обикновените въоръжени сили в Европа (ДОВСЕ). Добри са показателите и за бойните вертолетите, които в този период са с високи тактико-технически данни (ТТД). Всичко това показва, че военното и държавно ръководство на страната към посочения период е предприело адекватни стъпки към осигуряване на авиационните елементи на националната сигурност на държавата. Особен акцент е насочен

към превъоръжаването и с перспективни авиационни комплекси, на внедряване на оръжия с висока точност при поразяване, средства за радиоелектронна борба.

Авиацията заема изключително важна и съществена роля при изпълнение на дейностите за осигуряване на стабилно комплексно състояние - национална сигурност, на всяка една държава. При определяне на „приноса“ на авиацията трябва да се отчетат отделните компоненти, които осигуряват (или пък не осигуряват) високата степен на нейната ефективност и ефикасност. Към тях се отнасят следните компоненти:

- нивото на техническо и технологично съвършенство на въздухоплавателните средства (ВС), които изпълняват основните задачи на авиацията;

- нивото на подготовка на летателните екипажи, участващи при изпълнение на задачите, основно изпълнения налът през последната година и, особено, през последните три месеца;

- нивото на подготовка на авиационния инженерно-технически персонал, подготвящ ВС за задачите;

- нивото на техническо и технологично съвършенство на средствата за управление на полетите и професионалната подготовка на персонала им;

- нивото на логистично осигуряване на дейността на авиацията, особено, осигуряването на достатъчно количество и в срок на необходимите резервни части, гориво и смазочни материали (ГСМ) и др. за изпълнение на задачите, и др.

Първият компонент - техническо и технологично съвършенство на ВС, зависи от провежданата държавна политика в този сегмент на националната сигурност. Съвременните ВС представляват изключително усъвършенствани технически обекти, наситени с голямо количество електронни системи и апаратура. В същото време тяхната цена е изключително висока на международните пазари. От провежданата държавна политика се определят и нивото на техническо и технологично съвършенство на средствата за управление на полетите и професионалната подготовка на персонала им, както и нивото на логистично осигуряване на дейността на авиацията, особено, на необходимите резервни части, ГСМ и др.

На следващо място, нивото на подготовка на летателните екипажи и на авиационния инженерно-технически персонал е в пряка връзка с логистичното осигуряване, което също е основен елемент в провежданата държавна политика в този сегмент на националната сигурност. Така например, след средата на 80-те години на XX-ти век и до настоящия момент, екипажите на бойната авиация на САЩ задължително провеждат летателна подготовка в обем на 160-180 часа за година, като допълнително покриват 220-240 часа на летателен симулатор за отработване и трениране на сложни и нестандартни (извънредни) ситуации в полет. Съгласно нормите за подготовка на екипажите на НАТО, за участие в мисии с висока степен на вероятност от бойно съприкосновение екипажите трябва да имат реален налът не по-малко от 40 часа през последните 60 дни.

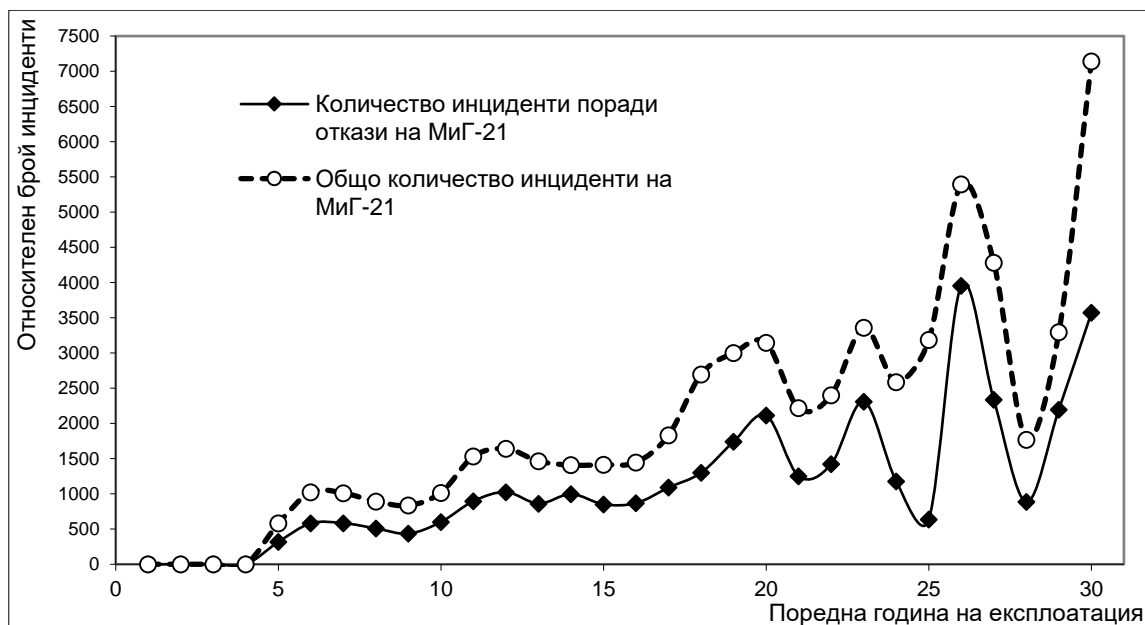
За същия период, доколкото ни е известно, само някои от българските пилоти изпълняваха половината от налътата на колегите си от НАТО, като нямаха възможност да усъвършенстват уменията си на летателни симулатори.

Обективните показатели, които показват количественото изпълнение на планираните учебно-тренировъчни задачи в изпълнение на авиационния елемент на националната сигурност могат да бъдат оценени посредством количеството на инцидент, възникнали в процеса на летателната дейност. От своя страна, техническите фактори, като причина за инциденти в авиационната дейност, могат да се представят чрез безотказността в работата на системите на въздухоплавателното средство, ергономическото съвършенство на ВС и др., и се проявяват чрез отказите на авиационната техника.

В различни периоди във Военновъздушните сили (ВВС) най-масово използваните типове самолети са МиГ-21 и МиГ-23. Така например, в процеса на учебно-бойна подготовка на авиацията на ВВС са използвани над 200 самолета МиГ-21 от различни модификации-изстребител и за разузнаване, и над 80 самолета МиГ-23- изстребител-прехващачи, изстребител-бомбардировачи и т.н.

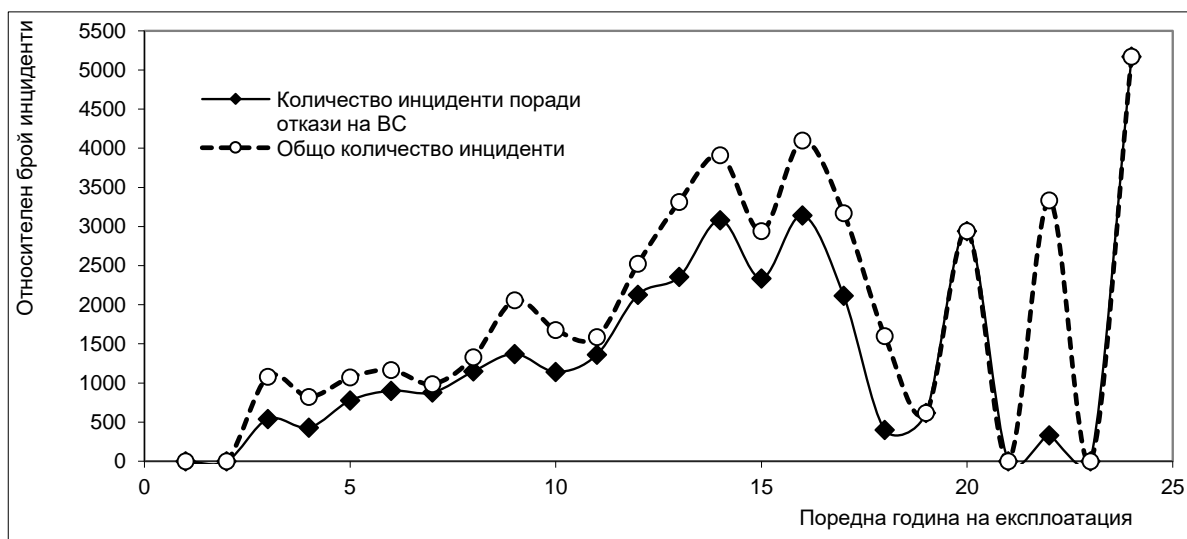
За целите на изследването са анализирани статистически данни от извадка от 55 обекта МиГ-21 (МиГ-21У) от различни модификации, 60 940 часа налът за срок от 30 години експлоатация. За сравнение са използвани 30 обекта МиГ-23 (МиГ-23У) от различни модификации, 31 810 часа налът за срок от 24 години експлоатация. Данните обхващат периода от 1972 г. до 2005 г., включително [4].

На Фиг. 1 е показано изменението на относителния показател на броя инциденти на 10⁵ часа налът, изчислени за всяка от поредните години на експлоатация на всеки от изследваните обекти.



Фиг. 1. Изменение на относителния показател на броя инциденти с МиГ-21

Анализът на изменението на относителния показател на броя инциденти със самолет МиГ-21 поради откази, показва устойчиво увеличение в периода от петата до двадесетата година от експлоатацията. Изключение правят първите четири години от периода, когато е усвоявана експлоатацията на самолета и най-вероятно по административни или други причини не са регистрирани и анализирани причините за такива събития.



Фиг. 2. Изменение на относителния показател на броя инциденти с МиГ-23

Изключение и при относителния показател при самолет МиГ-23 (Фиг. 2) правят първите две години от експлоатацията, и най-вероятно по административни или други причини не са регистрирани и анализирани причините за такива събития.

Една от основните причини за силното колебателно изменение на относителния показател след 20-та година от експлоатацията на самолет МиГ-21 и след 15-та година от експлоатацията на самолет МиГ-23, е съвпадане на този период със най-трудните години за прехода на българската икономика. Характерното за периода 1993 г. ÷ 1999 г. е силно редуцирания налят на българските ВВС, затрудненията с ремонта и доставките на резервни части за всички типове самолети.

Заклучение

В заключение можем да отбележим, че извършеният в доклада анализ дава основание да бъдат формулирани следните няколко извода:

На първо място, стратегията за национална сигурност на Република България дава възможност за изграждане, функциониране, управляващо въздействие и контрол на политиката за национална сигурност, провеждана от държавните институции, местните органи за управление, икономическите субекти, гражданите и техните организации, за да се запази суверенитета, териториалната цялост на страната и единството на нацията, да се защити конституционно установения ред и демократичните ценности в обществото.

На второ място, авиацията е важен елемент в системата на националната сигурност. Характеристиките ѝ представляват динамично променяща се система, с което са значителен инструмент за въздействие и възпиране на потенциални нарушители, за запазване на териториалните граници, демократични ценности и единство.

В тази връзка, отделни типове самолети, като например, МиГ-21 (самолет второ поколение), бяха в основата на запазване на приемствеността в професионалната подготовка на летателните и на техническите екипажи в най-трудните години за авиацията в края на XX-ти и в началото на XXI-ви век. Историята на летателната и техническа експлоатация на този тип самолети след удължаване на общия и междуремонтния технически ресурс по време, изпълнен с усилията състава на ВВС показва, че те изпълниха успешно своята роля за поддържане на професионалната подготовка на летателния и авиационния инженерно технически състав, докато бъде удължен общия технически ресурс по часове и по време на самолети МиГ-29 за изпълнение на задачите по „Air Policing“, с което бе осигурено определено ниво на боен потенциал, като елемент на националната сигурност.

На следващо място, неосигуреността с финансови средства на Българската армия от началото на прехода, след 1990 г. и до момента, води до рязко увеличаване на количеството неизправна АТ и до невъзможност за изпълнение в пълен обем на възложените отговорни задачи на българската авиация. Това дава сериозно отражение при реализиране на основното предназначение на военната авиация - осигуряване на необходимото ниво на национална сигурност. Обикновено, отпусканите финансови средства за логистично осигуряване на дейността на авиацията, не задоволяват в пълен обем потребностите на ВВС. Тази ситуация създава условия за високо ниво на събития с повишен риск (аварийност) при изпълнение на учебно-бойната дейност, което намира израз в понасянето на сериозни материални щети и допускане на човешки жертви.

В настоящия момент, когато се залагат мащабни планове за превъоръжаване на цялата Българска армия, развитието на авиацията на ВВС е ключов приоритет за усъвършенстване на системата за национална сигурност на Република България. Към тези дейности трябва да бъде добавен и процесът на превъоръжаване на армията с безпилотни бойни и разузнавателни комплекси.

Литература:

1. Актуализирана стратегия за национална сигурност на Република България. Приета с Решение на Народното събрание от 14.03.2018 г., обн., ДВ, бр. 26 от 23 март 2018 г. 33 стр.
2. Гиндев, Ев. Златното сечение. Изд. „Пропилер“. София. 2021.
3. Гиндев, Ев. Научни въпроси на националната сигурност. Лекции. ЕЦНОК. „Аксес Консулт“. Бургас. 2009.
4. Загорски, Н. Сравнителен анализ на нивото на безопасност на полетите при експлоатация на самолети от II-ро и III-то поколение във ВВС на Република България, обусловено от инциденти, свързани с откази на авиационната техника. Journal of the Technical University at Plovdiv "Fundamental Sciences and Applications". Vol. 13(8), 2006, Anniversary Scientific Conference'2006. Bulgaria. стр. 37–42.
5. Слатински, Н. Измерения на сигурността. „Парадигма“. София. 2000.
6. Слатински, Н. Петте нива на сигурността. Военно издателство. София. 212 стр.
7. Стратегия за национална сигурност на Република България. Приета с Решение от 08.03.2011 г. на Народното събрание, обн., ДВ, бр. 19 от 8 март 2011 г. 21 стр.
8. Уолфърс, А. Европейски журнал за международни отношения. 1998/2. стр. 233.
9. Федотов, А. Глобалистика - начала науки о современном мире. „Аспект-Пресс“. Москва. 2002. 224 стр.
10. Concepts of Security, Study Series 14, N.Y., 1986, 40/553, 45.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРИРОДНИТЕ ЗЕОЛИТИ КЛИНОПТИЛОЛИТ И МОРДЕНИТ С ЦЕЛ ИЗПОЛЗВАНЕТО ИМ КАТО ОСНОВА ЗА „КОСМИЧЕСКА ПОЧВА”

Илияна Илиева^{1*}, Юрий Кълвачев², Виолета Великова³

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

²Институт по катализ – Българска академия на науките

³Институт по физиология на растенията и генетика – Българска академия на науките

*e-mail: iliana_ilieva@space.bas.bg

Ключови думи: природен зеолит, клиноптилолит, морденит, космическа почва, растеж и развитие на растения

Резюме: В настоящето изследване са представени етапите за композиционно и структурно охарактеризиране и йонообменно модифициране на природните зеолити – клиноптилолит и морденит, с цел получаване на субстрат – „космическа почва”, методите за изследване на получения субстрат и експериментите за оценка способността на субстрата да отглежда здрави и богати на хранителни вещества растения.

STUDY OF NATURAL ZEOLITES KLYNOPLILOLIT AND MORDENIT FOR THE DEVELOPMENT OF “SPACE SOIL”

Iliana Ilieva^{1*}, Yuri Kalvachev², Violeta Velikova³

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²Institute of Catalysis – Bulgarian Academy of Sciences

³Institute of Plant Physiology and Genetics – Bulgarian Academy of Sciences

*e-mail: iliana_ilieva@space.bas.bg

Key words: natural zeolite, clinoptilolite, mordenite, space soil, plant growth and development

Abstract: The stages for compositional and structural characterization and ion exchange modification of natural zeolites - clinoptilolite and mordenite, in order to obtain a substrate – “space soil”, the methods for evaluation of the developed substrate and the tests to assess the ability of the received substrate to grow healthy and nutritious plants are presented in this paper.

1. Увод

С напредването на технологиите осъществяването на продължителни космически полети и заселването на хора на Луната и Марс става все по-реалистично и вече няколко държави и частни компании се подготвят за това. Въпреки това продължителните космически полети както и колонизацията на нови планети са изправени пред редица предизвикателства и много технически, технологични и логистични задачи трябва да бъдат решени преди това. Един от основните проблеми е свързан със създаването и безотказното функциониране на Биологичната системата за осигуряване на живот (БСОЖ), която да създава необходимите на екипажа въздух, вода, храна и пречистване на отпадните продукти от човешката дейност. В БСОЖ основен елемент са растенията. В космически условия за оптимално отглеждане на растения е необходимо да се създадат системи, които да осигуряват светлина, контрол на температурата и влажността на въздуха, на концентрацията на въглеродния диоксид, както и „космическа почва”, която да осигурява вода и минерални елементи за развитието на растенията, за да се отглеждат здрави и богати на хранителни вещества растения.

В космическите оранжерии (КО) за отглеждане на растения са използвани различни видове субстрати - „космическа почва”. Първоначално са използвани йонообменни смоли,

тъканни или влакнести структури, обогатени с минерални елементи (Nechitailo and Mashinsky, 1993).

В космически условия растения са отгледани върху: агар, обогатен с минерални елементи (Nechitailo and Mashinsky, 1993; Porterfield et al., 1997; Heyenga et al., 2000; Kwon et al., 2001; Levine et al., 2001; Paul et al., 2001); фенолна пяна с добавен хранителен разтвор (Levine and Krikorian, 1992; Tripathy et al., 1996; Popova et al., 2009; Souza et al., 2001); и комбинация от агар и уретанова пяна (Cowles et al., 1984; Cowles et al., 1994).

За първи път в космически условия върху субстрат – порьозна среда, с характеристики близки до тези на почвата, са отгледани растения в КО Свет на борда на космическа станция Мир. Субстратът „Балканин“, разработен на основата на зеолита клиноптилолит от находище „Бели Пласт“ в България (Ivanova et al., 1997), е използван за отглеждане на репички *Raphanus sativus* cv. White ended reds, китайско зеле *Brassica rapa* subsp. *Pekinensis* cv. Hybinskay (Ivanova et al., 1993), както и при провеждането на три експеримента с пшеница *Triticum aestivum* cv. Super Dwarf (Salisbury, 1997). „Балканин“ е субстрат предварително обогатен с минерални елементи и проведените на Земята тестове показват, че с едно количество субстрат може да се осигури оптимално развитие на различни видове растения в 11 последователни култивирания (Ivanova et al., 1997).

Експерименти с растения в КО Свет-2 са проведени и с друг тип порьозна среда, на основата на глина – арцилит (calcined montmorillonite) известна с търговското име Turface® (Profile Products LLC, Buffalo Grove, IL, USA). Отгледани са от-семе-до-семе листна горчица *Brassica rapa* L. cv. CrCG#1-33 (Crucifer Genetics Cooperative, Madison, Wis., USA) (Musgrave et al., 2000) и пшеница *Triticum aestivum* cv. Apogee (Levinskikh et al., 2001), както и четири вида листни зеленчуци род *Brassica* (Pobedinskaya, 2000). Този субстрат не е предварително обогатен с минерални елементи, те са добавени под формата на гранули Osmocote® (The Scotts Company LLC, Marysville, OH, USA).

Комбинацията от Turface® + Osmocote® е използвана за отглеждане на растения в КО Лада (Bingham et al., 2001) и Biomass Production System (Musgrave et al., 2005), а Turface Proleague (Profile Products LLC, Buffalo Grove, IL, USA) + Nutricote (Florikan, Sarasota, FL, USA) е използвана за отглеждане на растения в КО Veggie (Massa et al., 2017). Върху арцилит с подаване на хранителен разтвор са отгледани растения в КО Astroculture (Morrow et al., 1995) и Advanced Astroculture (Link et al., 2003).

В България е създаден и друг субстрат, разработен на основата на зеолита клиноптилолит с добавяне на вермикулит и торф (Petrov et al., 1982). Авторите съобщават, че субстрата е подходящ за отглеждане на растения както в оранжерии така и на открито, като осигурява изключително активен растеж на растенията.

България разполага с богати находища на природни зеолити и настоящето изследване е фокусирано върху охарактеризиране и обработка, чрез йонообмен, на природни зеолити, на основата на които да се разработи субстрат - космическа почва, подходящ за отглеждане на растения в космически оранжерии.

2. Методология на изследването

2.1. Характеристика на природните зеолити

Зеолитите са хидратирани кристални алуминосиликати с пореста структура. Основната изграждаща единица на зеолитната решетка е тетраедър, центърът на който е зает от силициеви или алуминиеви атоми, с четири кислородни атома във върховете. Заместването на Si^{4+} с Al^{3+} осигурява отрицателния заряд на решетката, който се балансира от едновалентни или двувалентни катиони, разположени на повърхността. Алуминосиликатната решетка, определяща типа структура, е най-стабилният компонент. В природните зеолити моларното съотношение на силиций към алуминий (Si/Al) в кристала е в границите от 1 до 6. Моларното съотношение Si/Al е важен параметър, който определя йонообменния капацитет, хидрофилността, термичната и киселинната стабилност, киселинните свойства в случай на H- форма и т.н.

Зеолитите имат йонообменни свойства, но тъй като тетраедричната им решетка е фиксирана и размерът на порите също е фиксиран, малките катиони могат да се движат свободно и да излизат от порите свободно, докато по-големите катиони са изключени. По този начин зеолитите често се наричат "молекулни сита" поради техните много селективни свойства на обмен на катиони. Сред 40 природни зеолити се използват само седем (клиноптилолит, шабазит, морденит, ерионит, фериерит, аналцит и филипсит) (Szerement et al., 2016).

2.2. Избор на природните зеолити

Обект на изследване са природните зеолити от находища в Източните Родопи – клиноптилолит от Бели пласт, обл. Кърджали и морденит от Лясковец, обл. Хасково.

2.2.1. Клиноптилолит

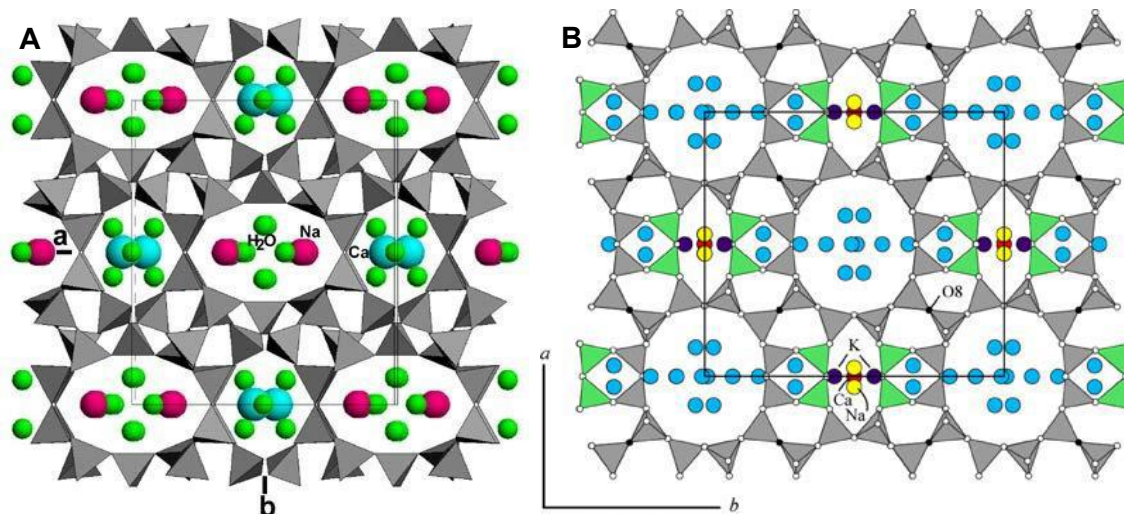
Сред природните зеолити най-разпространеният и най-изследван минерал е клиноптилолита, не само поради широкото му разпространение в природата и най-ниската цена, но и заради уникалните си физикохимични свойства. В клиноптилолита горната граница на съотношението Si/Al достига максимална стойност 5÷5.3. Клиноптилолитът се характеризира с висока термична стабилност, която се увеличава с покачването на съотношението Si/Al. Специфичната плътност на клиноптилолита е в границите 2,02-2,25 g/cm³, а неговата твърдост по скалата на Mohs варира от 3,5 до 4,0.

Химическата формула на клиноптилолита е (Na,K,Ca)₂₋₃Al₃(Al,Si)₂Si₁₃O₃₆·12H₂O. Структурата му е представена на фиг. 1-A. Компенсиращите катиони и водните молекули са разположени в порите на зеолита. Порите в кристалната структура на клиноптилолита са образувани от слоеве тетраедри. 10-членните пръстенови канали имат вътрешен диаметър 0,44 x 0,72 nm, а 8-членните пръстенови канали са със свободен диаметър 0,41 x 0,47 nm. Те са успоредни един на друг. 8-и 10-членните пръстени са с форма на елипси, които формират каналната система и са непланарни (Hernandez, 2000; Korkuna, 2006).

2.2.2. Морденит

Морденитът е с химическа формула, $[(Na_2, Ca, K_2) 4 (H_2O) 28] [Al_8Si_{40}O_{96}]$. Този зеолит е орторомбичен (всички ъгли са 90 градуса). Той кристализира под формата на влакнести агрегати, масивни и вертикално набраздени призматични кристали. Може да е безцветен, бял или леко жълт, или розов. Има твърдост по скалата на Mohs 5 и плътност 2,1 g/cm³. Морденитът е по-високосилициев зеолит в сравнение с клиноптилолита. При морденита, съотношението Si/Al започва от 5, но се срещат образци с много по-висока стойност.

Морденитът съдържа два различни типа канали и системи от кухини. Каналите А са образувани от сглобяването на 12-членни пръстени, всеки от които има 12 кислородни атома. Каналите В са на свой ред изградени от 8-членни пръстени, в които има 8 кислородни атома. Каналите А са елипсоидни, със свободни диаметри 0,65 x 0,72 nm, докато свободните диаметри на 8-членните пръстени са 0,26 x 0,57 nm. Каналите А и В са свързани помежду си през тръбите на перпендикулярния канал В под формата на малки странични джобове (Liang, 1999; Simoncic and Armbruster, 2004). Структурата на морденита е представена на фиг. 1-B.



Фиг. 1. А - Структура на клиноптилолит; В - Структура на морденит.

2.3. Охарактеризиране на природните зеолити

2.3.1. Първоначално охарактеризиране на клиноптилолита и морденита

Химичният състав на зеолитите се определя чрез измервания с атомноемисионна спектроскопия с индуктивно свързана плазма (ICP-AES). Това е метод за едновременно определяне на голям брой елементи в широк концентрационен обхват. По този начин се определя количеството на основните елементи в зеолита – силиций и алуминий и тяхното съотношение, което е важен параметър, определящ свойствата им. В същото време се определя количествено, съдържанието и на останалите елементи, разположени основно на йонообменни позиции. Зеолитните проби – клиноптилолит и морденит се разделят чрез пресяване на три отделни фракции: под 0,5 mm, 0,5-2,0 mm и 2-3 mm.

2.3.2. Физикохимично охарактеризиране на клиноптилит и морденита

Всички текстурни свойства като специфична повърхност, размер на порите, обем на порите се определят чрез физична адсорбция и десорбция на азот при ниска температура. Морфологията и размерът на зеолитните частици, както и идентификацията на основните кристални фази и съотношението аморфна спрямо кристална част се определя чрез използване на прахов рентгенов дифрактометър (XRD) и трансмисионна и сканираща електронна микроскопия (TEM и SEM). Чрез инфрачервен спектрален анализ се изследва основното вещество и наличието на примеси.

За определяне на вида на свързаната вода в зеолитните образци се използва диференциален термичен и термогравиметричен анализ (DTA, TGA). Той служи и за определяне на термичната стабилност на образците, както и за фазовите преходи по време на термичната обработка.

След приключване на процеса на първоначално охарактеризиране се подбират фракциите с най-високо съдържание на зеолитна структура и те се третираат, за да се получат субстрати, които след това да се тестват с растения.

2.4. Йонообмен на природните зеолити

По първоначални данни в избраните за изследване проби има натриеви, калиеви, калциеви, водородни и др. катиони в различно количество. Подбраните фракции клиноптилолит и морденит първоначално са обменени с амониумови и калиеви йони. Това става както поотделно, така и едновременно, като се контролира количеството на йоните. Йонообменът се извършва с воден разтвор на амониумови и калиеви соли при подходяща температура еднократно или до трикратно, в зависимост от търсения ефект. След всяко третиране се извършват измервания с атомноемисионна спектрометрия с индуктивно свързана плазма, за да се установи химичния състав на получените проби.

2.5. Отглеждане на растения

На всеки от приготвените субстрати - природни и модифицирани клиноптилолит и морденит се отглеждат растения, за да се оцени ефективността на обогатяването с макро- и микроелементи посредством темповете на растеж, развитие и плододаване на растенията. Потенциалът на разработените субстрати да осигурят оптимално развитие на растенията ще бъде изследван при различни вида култури. Подборът на видовете се основава на това да има представители на култури с различни ядовити части.

Процентът на покълване и енергията на покълване на семената се определят по методика описана от Ali et al. (2020). Функционалната активност на младите растения се характеризира с изучаването на фотохимията на фотосинтезата. Максималната и действителната ефективност на фотосистема II, скоростта на електронния транспорт, фотохимичното и нефотохимичното гасене на хлорофилната флуоресценция се измерват с помощта на Imaging-PAM (H. Walz, Effeltrich, Германия). Недеструктивните измервания на листни пигменти (хлорофили, флавоноли, антоцианини) се извършват с DUALEX®Scientist (Франция). Височината на надземната част на млади растения и дължината на корените се измерват ръчно с линейка. Сухото тегло на биомасата се определя след сушене при 80°C в продължение на 24 часа. Проследяват се индекс на жизненост на растенията и способност на растенията да натрупват биомаса и да плододават.

Избраните техники позволят подробно изследване и оценка на ефектите на естествените и модифицираните зеолити върху семената и младите растения в процеса на тяхното развитие (от периода на покълване на семената, натрупване на биомаса, до образуване на плодове и производство на семена). Сравнението на различните субстрати директно дава възможност да се оцени кой е с най-голям потенциал за отглеждане на растения в космически оранжерии.

2.6. Изследване на използвания субстрат и неговото регенериране

Пълното изследване на химическия състав, структурата и текстурните свойства на всеки от използваните „отработени“ субстрати след приключване на пълния цикъл на отглеждане на подбраните растения дава възможност да се установи степента на усвояване на хранителните елементи от растенията, както и възможностите на субстрата за регенериране. В зависимост от състоянието на „отработения“ субстрат ще се планират дейности за неговото регенериране, последващо модифициране и/или обогатяване с хранителни елементи.

3. Заключение

Природните зеолити притежават структура и свойства, които ги правят подходящи за използването им при отглеждане на растенията в космически оранжерии. Те могат лесно да бъдат модифицирани с йони, които да доставят основни елементи, необходими за растежа на

растенията. Особеностите в тяхната структура като наличие на пори и кухини, както и наличие на висок сорбционен капацитет ги прави подходящи за контролирано доставяне на хранителни елементи и вода до растенията. Те са температурно устойчиви и са устойчиви на високи налягания. Очаква се да имат напълно възстановяващи се свойства и ще има възможност да се използват многократно за отглеждане на растения.

Благодарности:

Статията е изготвена по Проект "Природни зеолити като основа за космическа почва", Договор КП-06-Н49-7/14.07.2021г. с ФНИ, Конкурс за финансиране на фундаментални научни изследвания – 2020г.

Литература:

1. Ali, Q., R. Perveen, M. A. El-ESawi, S. Ali, S. M. Hussain, M. Amber, N. Iqbal, M. Rizwan, M.N. Alyemeni, H. A. El-Serehy, F. A. Al-Misned, P. Ahmad. Low doses of *Cuscuta reflexa* extract act as natural biostimulants to improve the germination vigor, growth, and grain yield of wheat grown under water stress: photosynthetic pigments, antioxidative defense mechanisms, and nutrient acquisition, *Biomolecules*, Vol. 10, No. 9, p.1212, 2020.
2. Bingham, G. E., T. S. Topham, J. M. Mulholland, I.G. Podolsky. LADA: The ISS Plant Substrate Microgravity Testbed, *Society of Automotive Engineers, Inc.*, Paper No. 2002-01-187, 2001.
3. Cowles, J. R., H. W. Scheld, R. LeMay, C. Peterson. Growth and lignification in seedlings exposed to eight days of microgravity, *Annals of Botany*, Vol. 54, Supplement 3, pp. 33–48, 1984.
4. Cowles, J., R. LeMay, G. Jahns. Seedling growth and development on Space Shuttle, *Advances in Space Research*, Vol. 14, No. 11, pp. 3–12, 1994.
5. Easton, Z. M., E. Bock. Soil and Soil Water Relationships. Virginia Cooperative Extension, Virginia State University, Petersburg, Publication BSE-194P, 2016.
6. Hernández, M. A., F. Rojas, V. H. Lara. Nitrogen-Sorption Characterization of the Microporous Structure of Clinoptilolite-Type Zeolites, *Journal of Porous Materials*, Vol. 7, pp. 443–454, 2000.
7. Heyenga, A. G., A. Forsman, L. S. Stodieck, A. Hoehn, M. Kliss. Approaches in the determination of plant nutrient uptake and distribution in space flight conditions, *Advances in Space Research*, Vol. 26, No. 2, pp. 299–302, 2000.
8. Ivanova, T., Berkovich, Yu., Mashinskiy, A., Meleshko, G. The first "Space" vegetables have been grown in the "SVET" greenhouse using controlled environmental conditions. *Acta Astronautica* 29 (8), 639–644, 1993.
9. Ivanova, T., Stoyanov, I., Stoilov, G., Kostov, P., Sapunova, S. Zeolite Gardens in Space. Natural Zeolites Sofia'95. Pensoft Publishers, Sofia – Moscow, pp. 3–10, 1997.
10. Korkuna, O., R. Lebeda, J. Skubiszewska-Zieba, T. Vrublevska, V.M. Gunko, J. Ryzkowski, Structural and physicochemical properties of natural zeolites: clinoptilolite and mordenite, *Microporous and Mesoporous Materials*, Vol. 87, pp. 243–254, 2006.
11. Kwon, M., D. L. Bedgar, W. Piastuch, L.B. Davin, N.G. Lewis. Induced compression wood formation in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) in microgravity, *Phytochemistry*, Vol. 57, pp. 847–857, 2001.
12. Levine, H.G., A.D. Krikorian. Shoot growth in aseptically cultivated daylily and *Haplopappus* plantlets after a 5-day spaceflight, *Physiologia Plantarum*, Vol. 86, No. 3, pp. 349–359, 1992.
13. Levine, L. H., A. G. Heyenga, H. G. Levine, J. Choi, L. B. Davin, A. D. Krikorian, N. G. Lewis. Cell-wall architecture and lignin composition of wheat developed in a microgravity environment, *Phytochemistry*, Vol. 57, pp. 835–846, 2001.
14. Levinskikh, M., V. Sychev, T. Derendyaeva, O. Signalova, I. Podolsky, S. Avdeev, G. Bingham. Growth and development of plants in a row of generations under the conditions of space flight (Experiment "Greenhouse-5"), *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*, Vol. 35, No. 4, pp. 45–49, 2001, (in Russian).
15. Liang, T. The influence of cation concentration on the sorption of strontium on mordenite, *Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 51, No. 5, pp. 527–532, 1999.
16. Link, B. M., S. J. Durst, W. Zhou, B. Stanković. Seed-to-seed growth of *Arabidopsis thaliana* on the International space station, *Advances in Space Research*, Vol. 31, No. 10, pp. 2237–2243, 2003.
17. Massa, G. D., N. F. Dufour, J. A. Carver, M. E. Hummerick, R. M. Wheeler, R. C. Morrow, T. M. Smith. VEG-01: Veggie Hardware Validation Testing on the International Space Station, *Open Agriculture*, Vol. 2, pp. 33–41, 2017.
18. Morrow, R.C., N.A. Duffie, T.W. Tibbitts, R.J. Bula, D.J. Barta, D.W. Ming, R.M. Wheeler, D.M. Porterfield. Plant Response in the ASTROCULTURE flight experiment unit, *SAE Technical Paper Series*, No. 951624, 1995.
19. Musgrave, M. E., A. Kuang, L. K. Tuominen, L. H. Levine, R. C. Morrow. Seed storage reserves and glucosinolates in *Brassica rapa* L. grown on the International space station, *Journal of the American Society of Horticultural Scientists*, Vol. 130, No. 6, pp. 848–856, 2005.
20. Musgrave, M. E., A. Kuang, Y. Xiao, S. C. Stout, G. E. Bingham, L. G. Briarty, M. A. Levinskikh, V. N. Sychev, I. G. Podolski. Gravity independence of seed-to-seed cycling in *Brassica rapa*, *Planta*, Vol. 210, pp. 400–406, 2000.
21. Nechitailo, G. S., A. L. Mashinsky. Space Biology Studies at Orbital Stations, Mir Publishers Moscow, 1993.

22. Paul, A. L., C. J. Daugherty, E. A. Bihn, D. K. Chapman, K. L. Norwood, R. J. Ferl. Transgene Expression Patterns Indicate That Spaceflight Affects Stress Signal Perception and Transduction in Arabidopsis, *Plant Physiology*, Vol. 126, pp. 613–621, 2001.
23. Petrov, G. S., I. A. Petkov, H. I. Etropolski, D. N. Dimitrov, N. N. Popov, A. I. Uzunov. Substrate for cultivation of agricultural crops and rooting of green cuttings in greenhouses and in open air, *US Patent 4 337 078*, 1982.
24. Pobedinskaya, M. Crop is growing in the space greenhouse – Experiment “Greenhouse-6”, *Novosti kosmonavtiki*, Vol. 7, p.11, 2000, (in Russian).
25. Popova, A. F., M. Musgrave, A. Kuang. The development of embryos in *Brassica rapa* L. in microgravity, *Cytology and Genetics*, Vol. 43, No. 2, pp. 89–93, 2009.
26. Porterfield, D. M., S.W. Matthews, C.J. Daugherty, M.E. Musgrave. Spaceflight exposure effects on transcription, activity, and localization of alcohol dehydrogenase in the roots of Arabidopsis thaliana, *Plant Physiology*, Vol. 113, pp. 685–693, 1997.
27. Salisbury, F. B., Growing *Super-Dwarf* wheat in Space Station MIR, *Life Support and Biosphere Science*, Vol.4, pp. 155–166, 1997.
28. Simoncic, P. T. Armbruster. Peculiarity and defect structure of the natural and synthetic zeolite mordenite: A single-crystal X-ray study, *American Mineralogist*, Vol. 89, No. 2, pp. 421–431, 2004.
29. Souza, K., G. Etheridge, P.X. Callahan. Life into space. Space life sciences experiments, NASA/SP-2000-534, pp. 33–51, 2001.
30. Szerement, J., A. Ambrożewicz-Nita, K. Kędziora, J. Piasek. Use of zeolite in agriculture and environmental protection. A short review. *Вісник Національного університету Львівська політехніка. Теорія і практика будівництва*, Vol. 781, pp. 172–177, 2016.
31. Tripathy, B. C., C. S. Brown, H. G. Levine, A.D. Kricorian, Growth and photosynthetic responses of wheat plants grown in space, *Plant Physiology*, Vol. 110, pp. 801–806, 1996.

Session 3

***Remote Sensing
and
Geoinformation Systems***

Chairman: Assoc. Prof. Lachezar Filchev
Secretary: Dr. Dessislava Ganeva

ДИСТАНЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ЗЕМЯТА ОТ КОСМОСА В МИКРОВЪЛНОВИЯ (СВЧ) ДИАПАЗОН, ПРОВЕЖДАНИ В ИКИТ НА БЪЛГАРСКАТА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

**Тодор Назърски, Георги Димитров, Чавдар Левчев, Христо Проданов,
Спас Делистоянов, Юлика Симеонова, Николай Банков**

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

Ключови думи: дистанционни изследвания на Земята, микровълнова област, РМ-1, Р-400

Резюме: В доклада се разглежда развитието на дистанционните изследвания на Земята от Космоса в микровълновата област на електромагнитния спектър от ИКИТ на БАН, с участието в изпълнението на Научните програми на Проектите „БЪЛГАРИЯ – 1300 II” и „ПРИРОДА“. Обсъжда се проектирането и създаването на Радиометричните системи РМ-1 и Р-400 за изследване от Космоса на земната повърхност в микровълновата област. Представени са и резултати на изследвания от Космоса на двете системи.

REMOTE SENSING OF THE EARTH FROM SPACE IN MICROWAVE RANGE CONDUCTED IN SRTI OF THE BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

**Todor Nazarsky, Georgi Dimitrov, Chavdar Levchev, Hristo Prodanov,
Spas Delistoyanov, Yulika Simeonova, Nikolay Bankov**

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

Keywords: Remote sensing, microwave range, РМ-1, R-400

Abstract: The paper examines the development of remote sensing of the Earth from space in the microwave region of the electromagnetic spectrum of SRTI of BAS, with participation in the implementation of the Scientific Programs of the Projects "BULGARIA - 1300 II" and "NATURE". The design and creation of the РМ-1 and R-400 radiometric systems for space exploration of the earth's surface in the microwave area are discussed. Results from space research of both systems are also presented.

1. Въведение

Съществен етап в развитието на дистанционните изследвания на Земята от Космоса е създаването и разработката на научни методи и средства за измерване и анализ на собственото радиотоплинно излъчване на природните образувания в микровълновия (СВЧ) диапазон, на електромагнитния спектър [1, 2].

Широката област от поставени за решаване геофизични проблеми, свързани с дистанционното измерване на интензивността и поляризацията на радиотоплинното излъчване, се определя от една страна от наличието на линии на селективно излъчване на водните пари, кислорода и озона в СВЧ диапазона, а от друга страна с проникващата способност на СВЧ радиацията. Освен това наличието или отсъствието на слънчевата осветеност на изследваните зони на земната повърхност и облачната покривка не влияят върху точността на измерване на собственото и радиотоплинно излъчване. Това позволява да се осъществяват глобални и денонощни изследвания от Космоса на сушата на Земята, атмосферата и акваторията на океаните и моретата.

Важната информация за геофизичните параметри на земна повърхност, която може да се получи посредством дистанционно измерване на собственото радиотоплинно излъчване в СВЧ диапазона, стимулираха разработката на космически научни апаратури за неговото измерване в СВЧ диапазона, известни още като „Радиометрични системи“. Посредством радиометрични системи започват да се провеждат научни изследвания от борда на изкуствени спътници на Земята (ИСЗ).

За първи път дистанционно изследване на Земята от Космоса със СВЧ радиометрична апаратура е осъществено в Русия (СССР) с научна апаратура, монтирана и изведена в Космоса на борда на ИСЗ „Космос-243 [2]. В Космоса до 1982 г. успешно е изведена и работи СВЧ Радиометрична апаратура от Русия (ИРТЕ-РАН), САЩ, Индия и България (ИКИТ-БАН).

2. Научни проекти за дистанционно изследване на земята от Космоса

2.1. Проект „БЪЛГАРИЯ - 1300-II“

В Научната програма за изследване на природните ресурси на Земята от Космоса на Проект „БЪЛГАРИЯ -1300-II“, е включено като едно от основните направления в нея изучаването разпределението на радиотоплинното излъчване на определени райони от земната повърхност с цел решаването на следните научно-методически и приложни задачи:

1. Определяне на основните геофизически параметри на определени участъци от земната повърхност, физическата температура на сушата и акваторията на неголеми водоеми, влажността на избрани участъци от земната повърхност, зоните на валежи на дъжд и границите на ледените полета;

2. Подобряване на разделителната способност на радиотоплинните измервания в СВЧ диапазона посредством съвместна обработка на получените данни със спектрометрична и скенерна информация във видимия диапазон;

3. Извършване на радиометрично привързване на подспътникови траектории посредством използването на резки радиотоплинни преходи на обекти от земната повърхност с известни координати.

В изпълнение изискванията на Научната програма на Проекта „БЪЛГАРИЯ -1300-II“, в ИКИТ-БАН е проектирана и реализирана Микровълнова (СВЧ) радиометрична система „РМ1“ за провеждане изследвания на собственото радиотоплинно излъчване на земната повърхност от борда на ИСЗ.

2.2. Проект „ПРИРОДА“

Дистанционните изследвания на Земята от Космоса са единственият начин, по който може да се достави системна и глобална информация относно състоянието на сушата, световния океан и атмосферата.

Международният научен Проект „ПРИРОДА“ е научно- изследователски проект, насочен към разработката на методи и средства за дистанционен глобален контрол от Космоса на геофизичните параметри на земната повърхност и атмосфера, тяхното изучаване и използване.

Научната програма на проект „ПРИРОДА“ се състои от пет части. Първите три части съдържат научни програми от експерименти за изучаване на океаните, атмосферата и сушата. Четвъртата част обхваща научни програми, свързани с провеждането на екологични изследвания. В петата част се съдържат научни програми свързани с подсателитните изследвания.

Научната програма на проект „ПРИРОДА“ е разработена от учени от Русия, България, Германия, Полша, Чехия, Словакия, Румъния, Франция, САЩ, Италия и Швейцария.

Комплексът научна апаратура на Проект „ПРИРОДА“ се състои от 17 системи за пасивно и активно измерване на геофизическите параметри на атмосферата, акваторията на океаните и моретата и повърхността на Земята. Тези системи работят в сантиметровия, милиметровия, инфрачервения и видимия диапазони на електромагнитния спектър. На практика това е голяма космическа научно-изследователска лаборатория за глобално дистанционно изследване на Земята.

В рамките на Комплекса научна апаратура на Проект „Природа“, в ИКИТ-БАН е проектирана и разработена „Сканираща микровълнова (СВЧ) двуполяризационна радиометрична система Р-400“.

3. Радиометрични системи за дистанционно изследване на Земята от Космоса, проектирани и разработени в рамките на проектите „България – 1300 II“ и „Природа“

3.1. Микровълнова (СВЧ) радиометрична система РМ-1

Изискванията на Научната програма за изследване на природните ресурси на Земята от Космоса на Проекта „БЪЛГАРИЯ -1300-II“ определиха при проектирането основните параметри на „СВЧ радиометричната система РМ-1“ [6].

Изборът на работния честотен диапазон в областта на дължини на вълните 4 cm бе направен с цел изпълнение на изискването измерването радиотоплинно излъчване да носи информация за геофизическите параметри на земната повърхност и акваторията на водоемите, при което влиянието на атмосферата и облачната покривка да бъде пренебрежимо малка.

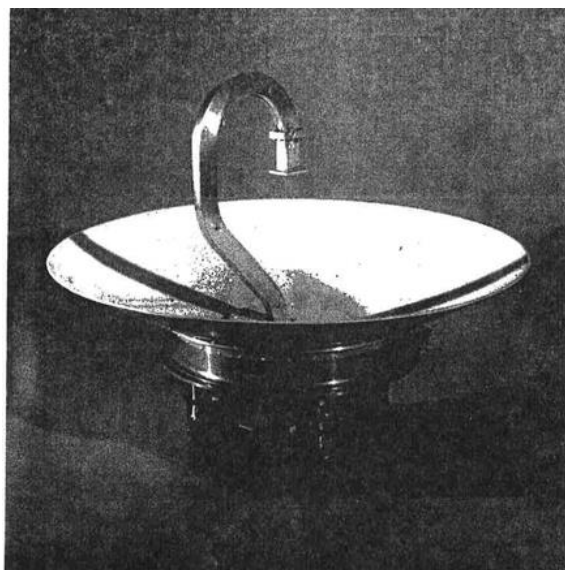
За получаване на висока чувствителност и стабилност на системата РМ-1 бе определено тя да работи на модулационен принцип. За целта бе разработен от колектива на ИКИТ модулатор с технически параметри над нивото на най-добрите в света подобни устройства и защитен с Авторско свидетелство за изобретение [4].

С цел пространствено и времево съвместяване на радиометричната, спектрометричната и скенерната информация Радиометричната СВЧ система РМ-1 е определено да бъде трасова и да работи в надир.

Технически параметри на Радиометричната система РМ-1

1. Работна дължина на вълната	4 cm
2. Флукуациона чувствителност	0,3 K
3. Динамичен диапазон	0–350) K
4. Изходи:	
4.1. Цифров	10 разряден
4.2. Аналогов	(0–50) V
5. Антена огледално-параболична - диаметър	780 mm
6. Ширина на диаграмата на антената на ниво 3dB	3 градуса
7. Режим на работа	трасов/надир
8. Бордово захранващо напрежение от ИСЗ „Метеор-Природа“	+/- 27 V
9. Консумирана мощност	12,3 W
10. Работен температурен диапазон	(0–45) °C

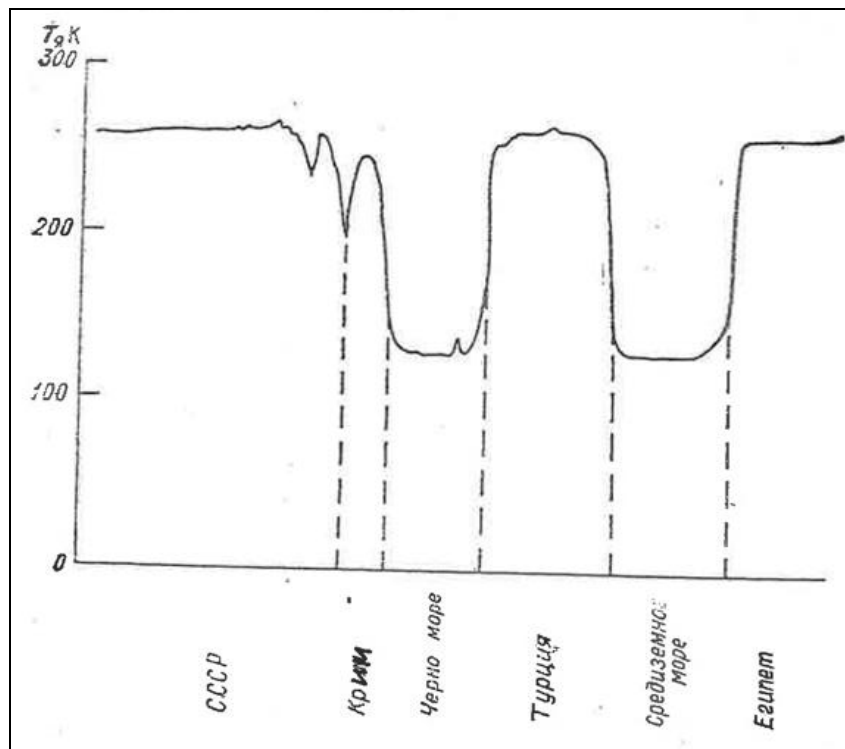
Комплексът научна апаратура за дистанционно изследване на Земята от Космоса, разработен в рамките на Научната програма „БЪЛГАРИЯ 1300-II“, бе изведен в космическа орбита на борда на ИСЗ „Метеор-Природа“ на 10.07.1981 г. от космодрум в СССР. Той включва разработените ИКИТ на БАН „Спектрометрична система СМП-32“, Радиометрична система РМ-1 и „Изчислителна бордова машина БЕВМ“.



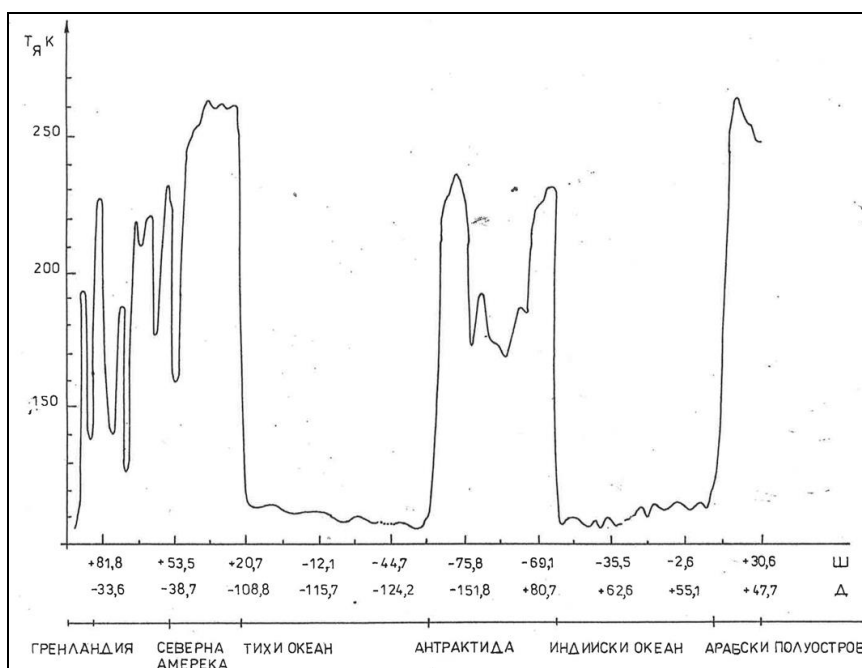
Фиг. 1. Радиометричната система РМ-1

От момента на извеждането на спътника „Метеор – Природа“ на космическа орбита в продължение на повече от три години „Радиометричната система РМ-1 (Фиг. 1) работи успешно, а получените от нея данни са обработват от научни колективи в България и Русия. Резултатите са публикувани в научни списания и монографии.

Измерванията на яркостната температура на земната повърхност по време на две орбити на спътника „Метеор-Природа“, направени от Радиометричната система РМ-1, са показани на Фиг. 2 и Фиг. 3.



Фиг. 2. Яркостна температура – Крим – Египет



Фиг. 3. Яркостна температура – Гренландия – Антарктида – Арабски Полуостров

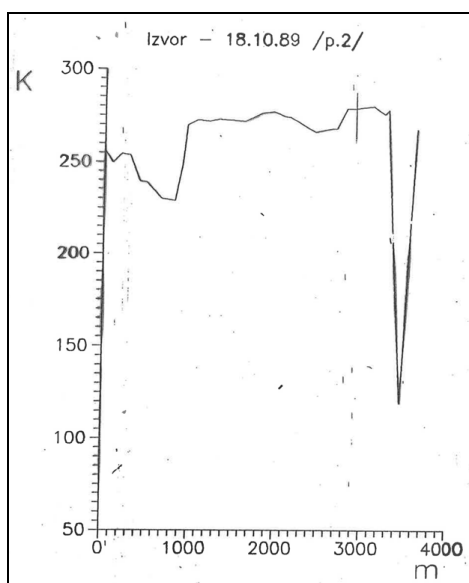
3.2. Микровълнова (СВЧ) радиометрична система РМ-1С за дистанционно изследване на земята от борда на самолетни лаборатории

Самолетната Микровълнова (СВЧ) радиометрична система РМ-1С е проектирана да извършва синхронни изследвания с Микровълновата (СВЧ) радиометрична система РМ-1 от две нива – спътниково и на самолетни лаборатории, с цел определяне собственото радиотоплинно излъчване на различни обекти от земната повърхност.

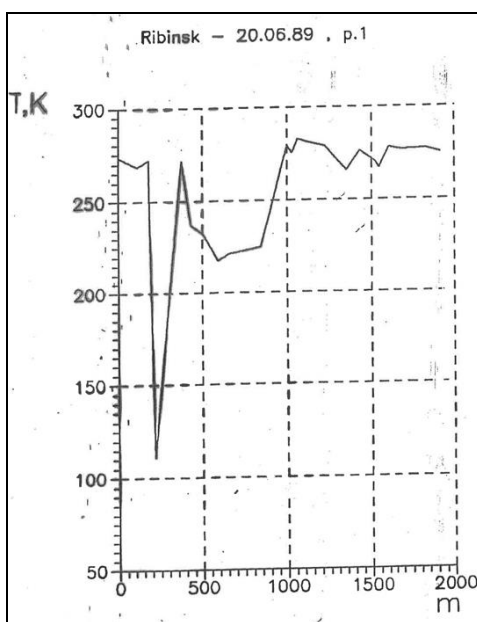
Самолетната Радиометрична система РМ-1С е разработена на базата на спътниковата Радиометрична система РМ-1, като разликата между двете е в използваните приемни антенни системи. Спътниковата Радиометрична система РМ-1 използва огледално-параболична антена с ширина на диаграмата на насочено действие (ДНД) 3 градуса, докато Самолетната радиометрична система РМ-1С използва рупорно-пирамидална антена с диаграма на насочено действие 15 градуса.

С Радиометричната система РМ-1С се провеждат редица изследвания на определени наземни полигони на територията на България и Русия и получените резултати са представени на научни сесии и публикувани в научни списания [7, 8].

Измерването на собственото радиотоплинно излъчване от траектории на полигони в България и Русия са дадени на Фиг. 4 и Фиг. 5.



Фиг. 4. Измерване на яркостната температура от трасе на Полигон „Извор“ – България



Фиг. 5. Измерване на яркостната температура от трасе на Полигон „Рябинск“ - Русия

3.3. Микровълнова сканираща двуполяризационна радиометрична система Р-400

Микровълновата сканираща двуполяризационна радиометрична система Р-400 е част от Комплекса научна апаратура на Проект „ПРИРОДА“ [9].

Комплексът научна апаратура на проект „ПРИРОДА“ се разработва да работи на борда на специализирания космически модул „ПРИРОДА“, за дистанционно изследване на Земята от Космоса. Модул „ПРИРОДА“ се извежда в Космоса и се скачва с Орбиталната космическа станция „МИР“.

Основните принципи при проектиране на Радиометричната система Р-400 са:

1. Измерването на собственото радиотоплинно излъчване на земната повърхност се извършва на ъгъл 40 градуса от надира. Това изискване е свързано с факта, че радиотоплинното излъчване зависи от ъгъла на измерване. Използването на конично сканиране осигурява изискването измерването на радиотоплинното излъчване да бъде винаги под един и същ ъгъл;

2. Сканирането на диаграмата на насочено действие на антената да се извършва в рамките на 70 градуса пространствен коничен ъгъл, при което ширината на изследваната земна повърхност е около 350 km;

3. Сканирането на диаграмата на насочено действие, в рамките на коничния ъгъл 70 градуса, е реверсивно, като в едната посока се измерва хоризонталната поляризация, а в обратната вертикалната поляризация а изследваното радиотоплинно излъчване.

Принципът на действие на Радиометричната система Р-400 е защитен с Авторско свидетелство за изобретение [3].

Сканиращата двуполяризационна радиометрична система Р-400 и контролно-измервателната апаратура (КИА) за нейната настройка и тестване са показани на Фиг. 6.



Фиг. 6. Технологичен образец на Сканиращата двуполяризационна радиометрична система Р-400 и Контролно-измервателната апаратура (КИА) към нея

За решаване на трибологичните проблеми при работата на въртящото се вълноводно съединение на антенния облъчвател, което се движи реверсивно (сканира) в условията на космически вакуум и температури от сканиращия двигател, се разработи нова метална сплав. Във върховете на кристалната решетка на новата сплав се имплантирани въглеродни атоми, които при триене в условията на космически вакуум и температури, играя ролята на смазка, с което триенето влиза в допустимите норми.

С новата сплав бяха направени лагерите на въртящото се вълноводно съединение на облъчвателя на антената, което работи безупречно на борда на космическия Модул „ПРИРОДА“.

Новата сплав бе разработена от учени и специалисти на Института по проблемите на материалознанието на Националната Академия на Науките на Украйна и Института за Космически Изследвания и Технологии на Българската Академия на Науките. Сплавта бе патентована в Украйна и на колективите от Украйна и България Държавният Департамент за Интелектуална собственост на Украйна официално издаде Патент 73217 [5].

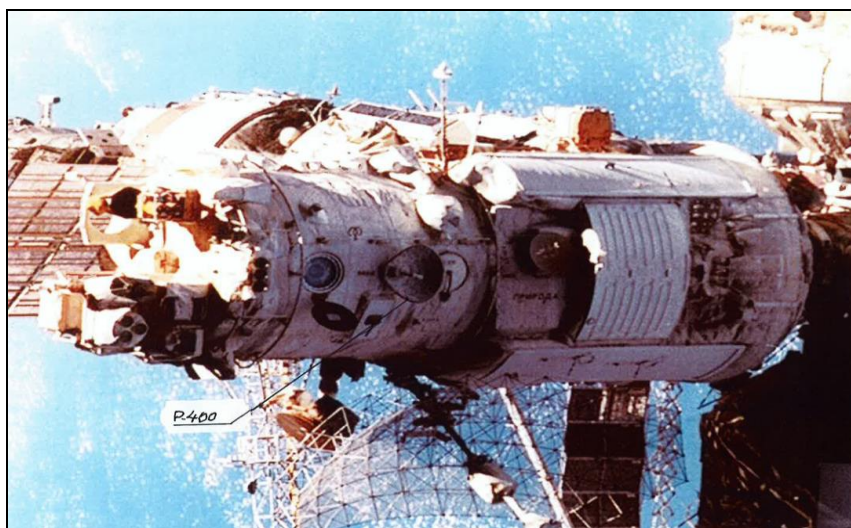
Технически параметри на Микровълновата сканираща двуполаризационна радиометрична система Р-400

1. Работна честота	7,5 GHz
2. Чувствителност	0,3 K
3. Вид антена	параболична
4. Ширина на ДНД	3 градуса
5. Вид на сканиране	конично
6. Ъгъл на конично сканиране	40 градуса от надира
7. Ъгъл на сканиране	+/- 35 градуса
6. Лента на сканиране	350 km
7. Консумирана мощност	12,5 W.

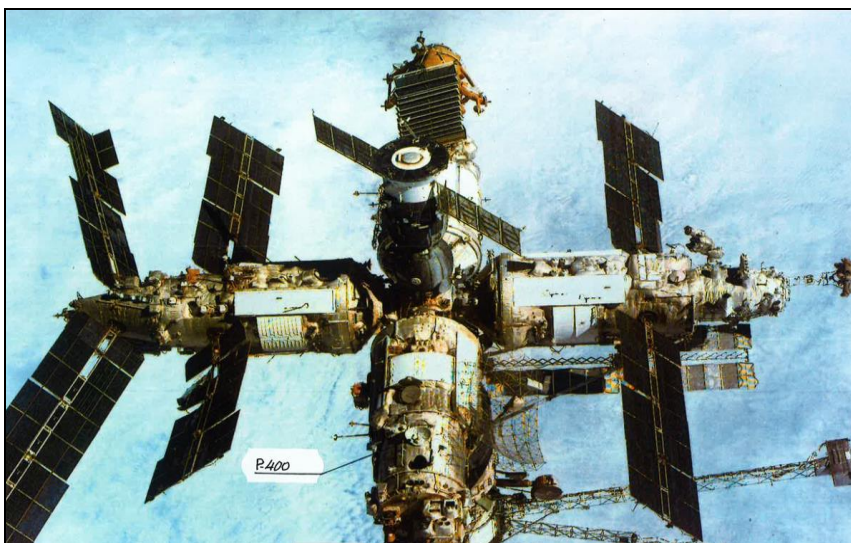
Комплексът научна апаратура на проект „ПРИРОДА“, включващ и Сканиращата радиометрична система Р-400, е монтиран на космическия модул „ПРИРОДА“ (Фиг. 7). Той е изведен на космическа орбита на 26 април 1996 г. и скачен с Орбиталната космическа станция „МИР“ (Фиг. 8).

Системата Р-400 от момента на извеждане в Космоса в продължение на повече от 3 години работи успешно и получените от нея данни са обработени и публикувани [9, 10].

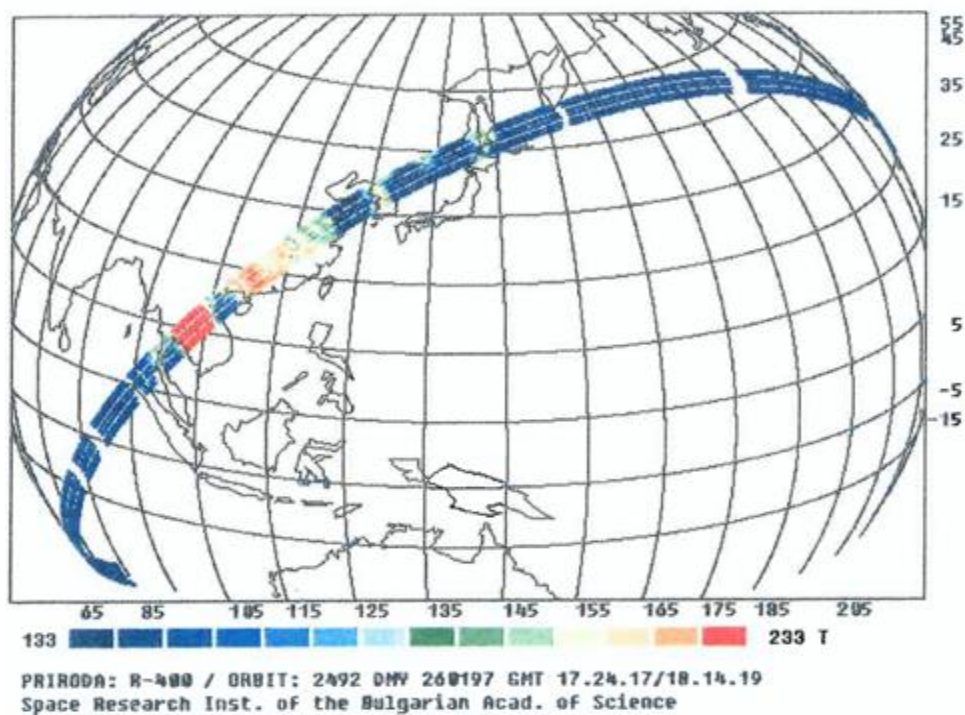
Изображения, получени при работа на Радиометричната система Р-400, по време на две орбити на Орбиталната станция „МИР“ са дадени на Фиг. 9, Фиг. 10, Фиг. 11 и Фиг. 12.



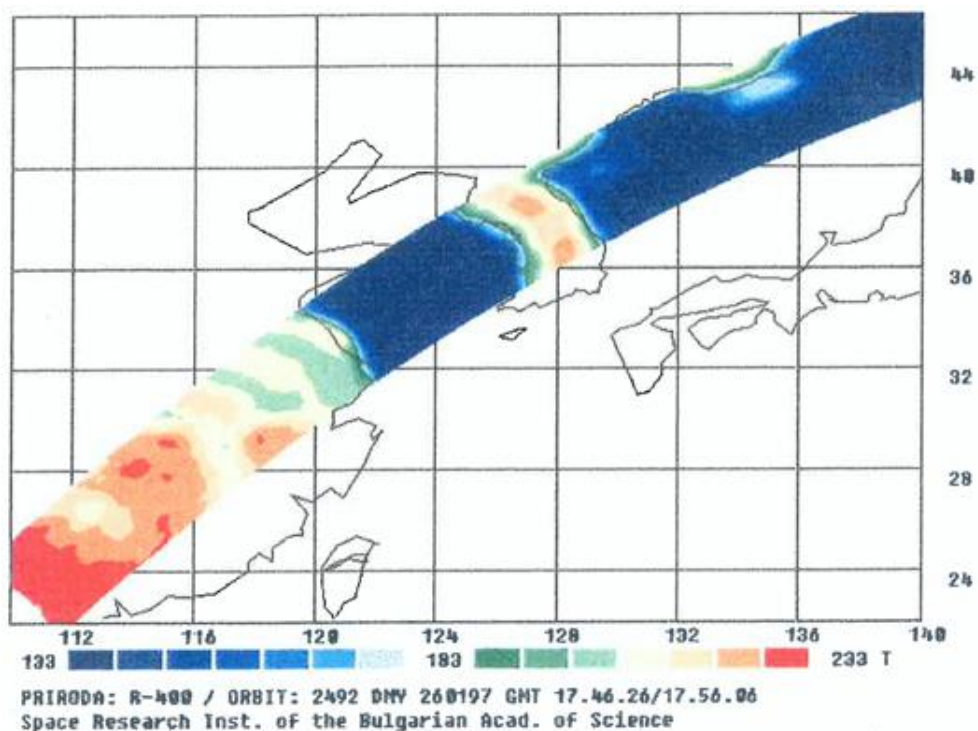
Фиг. 7. Сканиращата радиометрична система Р-400, монтирана на космическия модул „ПРИРОДА“



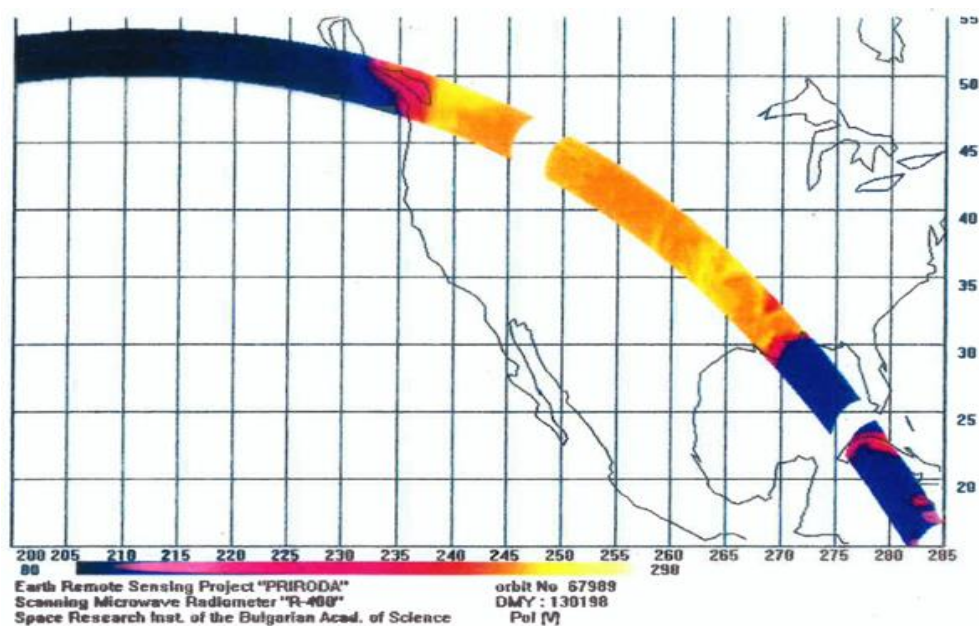
Фиг. 8. Сканиращата радиометрична система Р-400 на борда на модул „Природа“, скачени с Обитаемата орбитална космическа станция „МИР“



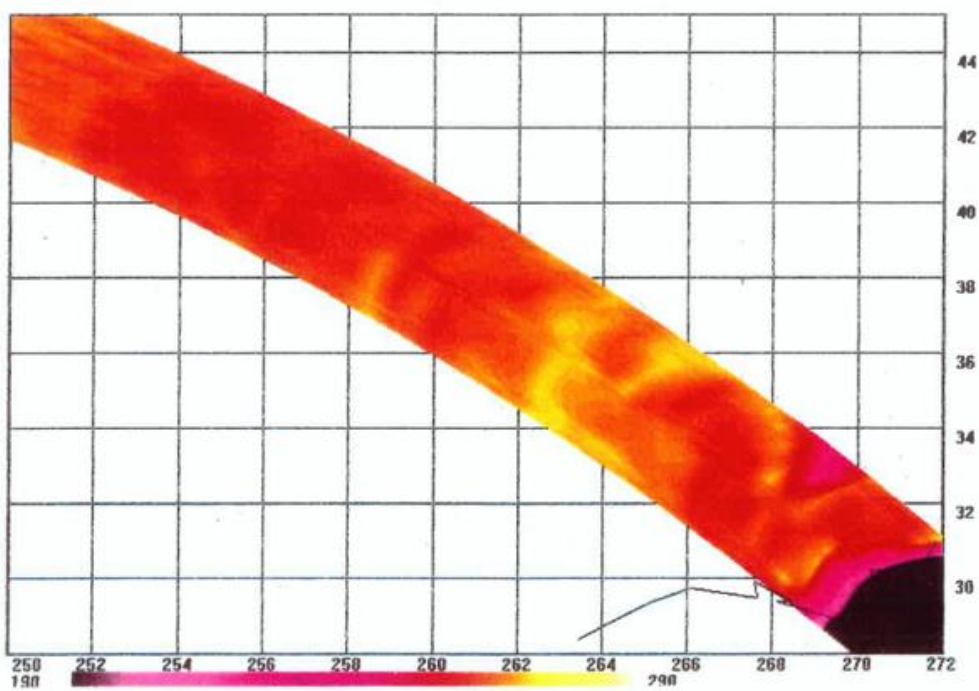
Фиг. 9. Траектория на Орбита 2492 със зона на радиотоплинно изображение
Сахалин – Китай – Мианмар



Фиг. 10. Радиотоплинно изображение от Орбита 2492 върху
територията на Китай



Фиг. 11. Траектория на Орбита 67989 със зона на радиотоплинно изображение Карибски басейн – Америка



Фиг. 12. Радиотоплинно изображение от Орбита 67989 върху територията на Флорида

Радиотоплинните изображения, направени от борда на Космическата станция „МИР“, са получени с Летателния образец на Радиометричната система Р-400 проектирана и разработена от Колектив на ИКИТ-БАН.

Летателният образец на системата Р-400, работещ на Космическата станция „МИР“, и част от колектива, разработил системата са показани на Фиг. 14.



Фиг.14. Летателен образец на Радиометричната система Р-400 и част от колектива

4. Заключение

В изпълнение на Научните програма на проектите за дистанционно изследване на Земята от Космоса се включват научни колективи от редица институти на БАН: ИКИТ, Института по електроника и Института по океанология. Институтът по агроекология и почвознание „Н. Пушкин“ участва в научни експерименти за дистанционно определяне на почвените характеристики и определени характеристики на културната растителност [8].

Като част от международни екипи от учени тези колективи участват в провеждането на експерименти за изследване на сушата, океана и атмосферата и при решаване на екологични проблеми [7]. Същевременно те се включват и в научната програма с провеждането на научни изследвания на полигон „Хемус“, изучаването на земната повърхност, атмосферата, акваторията на Черно море и р. Дунав и свързаните с тях екологични проблеми.

Получените резултати от колективите са публикувани в редица научни списания [12, 13].

Литература:

1. Мишев, Д. Дистанционни изследвания на земята от космоса. Изд. БАН, 1981.
2. Башаринов, А. Е., А. С. Гурвич, С. Т. Егоров, Радиоизлучение Земли как планета. Изд. „Наука“, 1974.
3. Назърски, Т., Д. Мишев. 1988. Двуполаризационен сканиращ радиометър. Авторско свидетелство за изобретение N 41091/22.11.1988. Патентно ведомство на РБ.
4. Сотиров, И., Назърски Т., Димитров Г. Диоден вълноводен модулатор. Авторско свидетелство за изобретение N 29259/02.07.1979. Патентно ведомство на РБ.
5. Патент на винахід 73217, Україна. Композиційний самозмащувальний матеріал на основі міді.
6. Мишев, Д., Назарски Т., Каменов Г. Радиометрическая система РМ-1. Дистанционное зондирование Земли со спутника „Метеор–Природа“; Советско-болгарский эксперимент „Болгария – 1300-II“, Ленинград, Гидрометеиздат 1985.
7. Руменина, Е., Г. Желев. 2020. Развитие на дистанционните изследвания, провеждани на аерокосмическите полигони в България. Сб. с доклади от Шестнадесета научна конференция с международно участие „Космос, Екология, Сигурност (SES 2020). ИКИТ-БАН. с. 187–206.
8. Kolev, N., K. Penev, Y. Krustanov, T. Nazarski, G. Dimitrov, C. Levchev, H. Prodanov, L. Krалева. 1998. Remote Sensing and Synchronous Land Surface :Measurements off Soil Moisture and Soil Temperature in the Field. Turkish Journal of Physics. 22 (1) pp. 77–829.
9. Мардиросян, Г. Основи на дистанционните аерокосмически технологии. НБУ, София, 2015, 240 с. ISBN 975-954-535-882-1
10. Назърски, Т., Г. Каменов, Н. Банков, Хр. Проданов, Ч. Левчев, Л. Кралева. 1999. Изследвания с микровълновата сканираща радиометрична система „Р 400“ в рамките на международния научен проект „ПРИРОДА“ за дистанционно изследване на Земята от Космоса. Сборник с доклади от юбилейната научна сесия „10 години космически проект „Шипка“. Изд. ИКИТ-БАН, с. 98–103.
11. Назърски, Т., Димитров Г., Левчев Ч. Проект „Природа“ за дистанционно изследване на геофизични параметри от орбиталната станция „Мир“. Българско геофизично списание, т. XIX, N 3.
12. Спиридонов, Х., С. Ковачев, Т. Назърски, Вл. Колев, Е. Руменина и др. 1986. Спектральные и радиометрические характеристики некоторых компонентов геосистем. Сб. Определение состояния окружающей среды методом дистанционного зондирования Земли. Изд. ГИ САН, Братислава. с. 7–28.
13. Назърски, Т., Г. Димитров, Е. Руменина, Ч. Левчев, Н. Колев, Й. Киркова. Зависимост "радиояркостна температура-влажност на земната повърхност" при аеродистанционните и синхронни наземни измервания. Българско геофизично списание 4/1992, БАН, с. 9–14.

MULTISTATIC PASSIVE RADAR FOR IONOSPHERIC SOUNDING

Svetoslav Zabunov, Garo Mardirossian

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mails: svetoslavzabunov@gmail.com, garo.mardirossian@gmail.com

Keywords: Multistatic passive radar, Passive radar for ionospheric sounding

Abstract: The subject of passive radars has been advancing lately due to the progress in supercomputing hardware and its broader availability, mobility and lower power consumption. Passive radars have implementation in tasks such as detection, tracking and identification of radio-reflecting targets, either flying, sailing or ground-based. Passive radars are also productive in science, specifically in remote sensing of the ionosphere from the Earth's surface. Their major advantage over active radar systems is the absence of a maintained radio transmitter and of all related drawbacks such as licensing, disclosure of location, high power consumption, etc.

Multistatic passive radars are essentially the state-of-the-art in this technology. They deliver unmatched quality of detection and imaging due to the utilization of multiple transmitters and/or receivers.

The present paper focuses on a novel multistatic passive radar now under development at the Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences. The radar makes use of commercial broadcasting transmitters located in Bulgaria and some of the neighbouring countries. The frequency range of the radio waves is 87.5 to 108 MHz and the modulation is FM.

Our novel system has protection from the Bulgarian Patent Office by Utility Model #3928 / 29.Oct.2020.

МУЛТИСТАТИЧЕН ПАСИВЕН РАДАР ЗА ЙОНОСФЕРНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Светослав Забунов, Гаро Мардиросян

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mails: svetoslavzabunov@gmail.com, garo.mardirossian@gmail.com

Ключови думи: Мултистатичен пасивен радар, Пасивен радар за йоносферни изследвания.

Резюме: Темата за пасивните радары напредва в последно време поради прогреса в суперкомпютърния хардуер и неговата по широка достъпност, мобилност и по-ниска консумация на енергия. Пасивните радары имат приложение в задачи като откриване, следене и идентификация на радио-отражателни цели, както летящи така и плавателни и наземни. Пасивните радары са полезни в науката, конкретно в дистанционните изследвания на йоносферата от повърхността на Земята. Основното им предимство пред активните радарни системи е липсата на поддръжка на радиопредаватели и всички съпровождащи ги недостатъци като лицензиране, разкриване на местонахождението, висока консумация на електроенергия и др.

Мултистатичните пасивни радары са в действителност върховото ниво на техниката в тази област. Те предлагат качество без конкуренция при откриването на цели и създаването на изображения на наблюдаваните обекти. Това се постига чрез използване на множество предаватели и/или приемници.

Настоящата статия се фокусира върху иновативен мултистатичен пасивен радар който в момента е в процес на разработка в Института за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките. Радарът използва комерсиални радиопредаватели за радио разпръскване, намиращи се в България и някои от съседните държави. Честотният обхват на радио вълните е от 87.5 до 108 MHz, а модулацията е честотна.

Нашата иновативна система разполага със защита от Патентно ведомство на Република България чрез полезен модел №3928 от 29.10.2020.

Introduction

The passive radar systems are employed in detection, identification and tracking of objects, either flying, sailing or traveling on the ground. The passive radar does not rely on purposefully created and maintained radio transmitters, but instead uses transmitters of opportunity also called non-cooperative transmitters. When the radio waves emitted by the radio transmitters of opportunity bounce back from the target, the reflected waves are received by the radio receiver of the passive radar. Direct waves from the transmitters are also received. After appropriate computations the target's parameters are found such as speed, direction of movement, etc. (see Fig. 1).

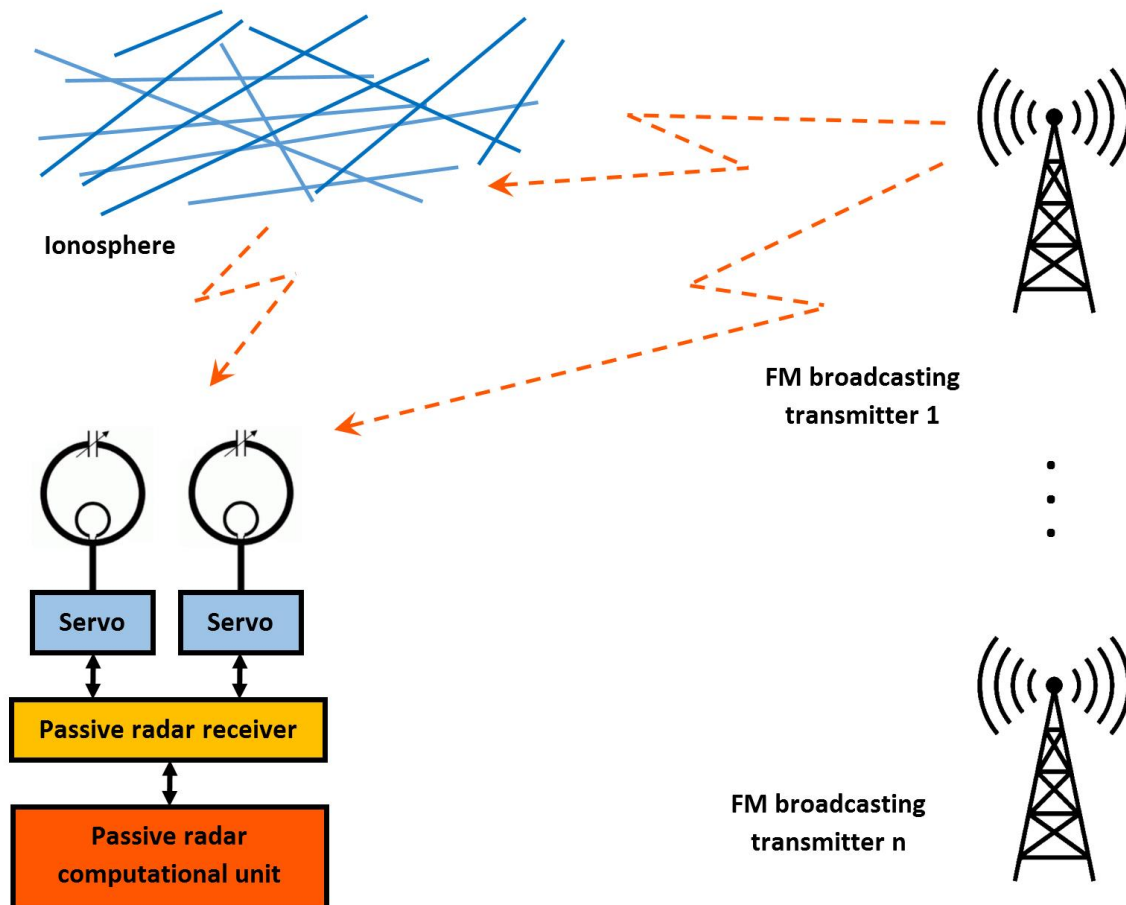


Fig. 1. The passive radar is used for ionospheric sounding. Transmitters of opportunity emit radio waves that bounce back from the ionosphere and are received by the radar equipment.

The passive radar can be used to observe small and large objects and it is suitable for observation of the ionosphere which is a large object with reflective properties in the high frequency (HF) and very high frequency (VHF) radio bands. Currently in Bulgaria there are no operational passive radars for ionospheric observations. The instrument that is sounding the ionosphere and is operational is the ionosonde station at the Geodesic Observatory "PLANA" belonging to the National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences. Due to the requirements for the transmitters to have considerable power, specific modulation and be working in the mentioned radio bands, only the frequency modulated (FM) commercial broadcasting transmitters are applicable as transmitters of opportunity for ionospheric observations.

Passive radars are of two major types: bistatic or multistatic. The bistatic variant employs one receiver and one transmitter, while multistatic passive radars use several non-cooperative transmitters and/or several receivers, all of which are located at considerable distances from each other. Multistatic passive radars offer the ability to create 3D image of the observed volume – a beneficial feature for ionosphere remote sensing.

Recently, passive radar developments have grown in number due to their alleged potential to detect stealth aircraft. This is possible only when employing non-cooperative transmitters emitting radio waves in the VHF and lower radio bands where the wavelength is long enough to counteract the stealth countermeasures of the aircraft.

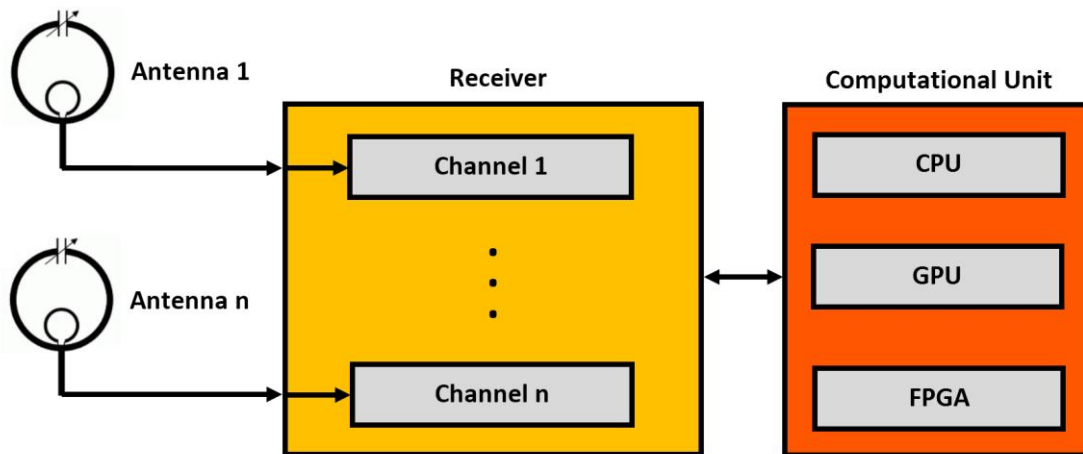


Fig. 2. Each passive radar station consists of several antennas, multichannel radio receiver and computational unit. The latter encompasses a central processing unit and auxiliary hardware for acceleration of the computations.

A novel multistatic passive radar for ionospheric observations

Our system is designed to work in the FM broadcasting commercial radio band occupying the frequencies between 87.5 and 108 MHz. A special antenna has been devised with advantageous properties (see Fig. 2) – a mechanically articulated and electronically tuned magnetic loop antenna. Our radar system is a network of stations interconnected over the Internet (see Fig. 3). Each station can work independently from all the others. Each station is essentially a standalone multistatic passive radar relying on several FM commercial broadcasting transmitters emitting at different frequencies and from different locations. The transmitters of opportunity are chosen according to the signal coverage, power and frequency through a dynamic process.

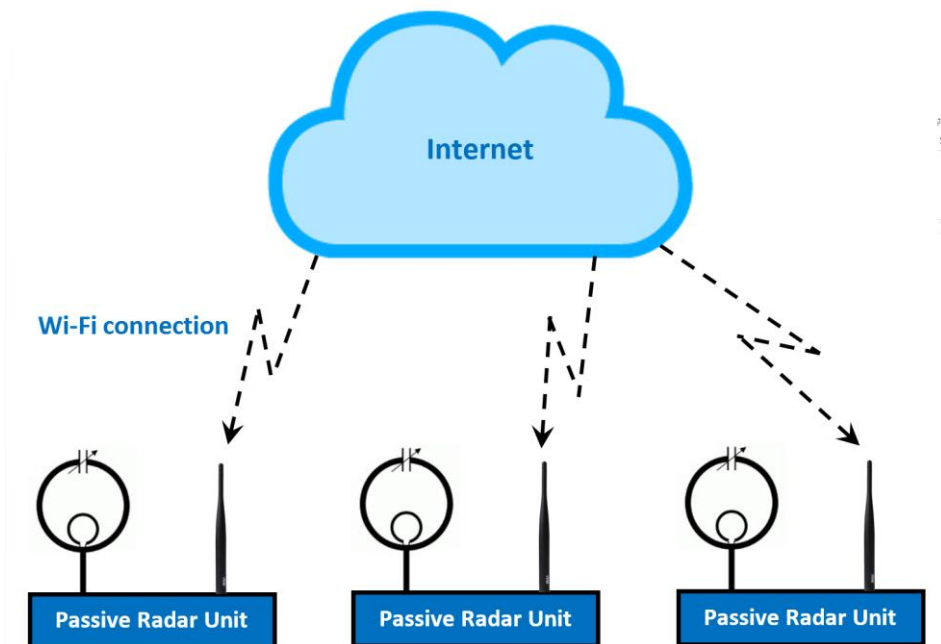


Fig. 3. The passive radar system may be organized as a network of units (stations) communicating with each other over the Internet

To be able to receive more than one transmitter signal simultaneously, each receiver employs several receiving antennas (see Fig. 2). Receivers are of a multichannel design. Magnetic loop receiving antennas are used for their superior qualities in regard to the passive radar operation. The receiver picks up both the reflected and direct signals from transmitters of opportunity. After reception the signals are digitized and processed through digital signal processing in a computational unit. Such a system exhibits enormous computational demand. The extracted information from the signal that characterizes the observed objects is related to the computational power of the system. Hence, to

realize the computational unit adequately, special hardware and software are needed. In the recent years, low cost, low weight and low power consumption supercomputing hardware started to appear on the market. It can be engaged in the radar computational unit. Such hardware, apart from fast multicore central processing units (CPUs), are the graphics processing units (GPUs) and field-programmable gate arrays (FPGAs).

Special attention should be paid to the FPGAs because their advantage is manifested when implementing large number of similar very simple operations in a parallel algorithm (see Fig. 4).

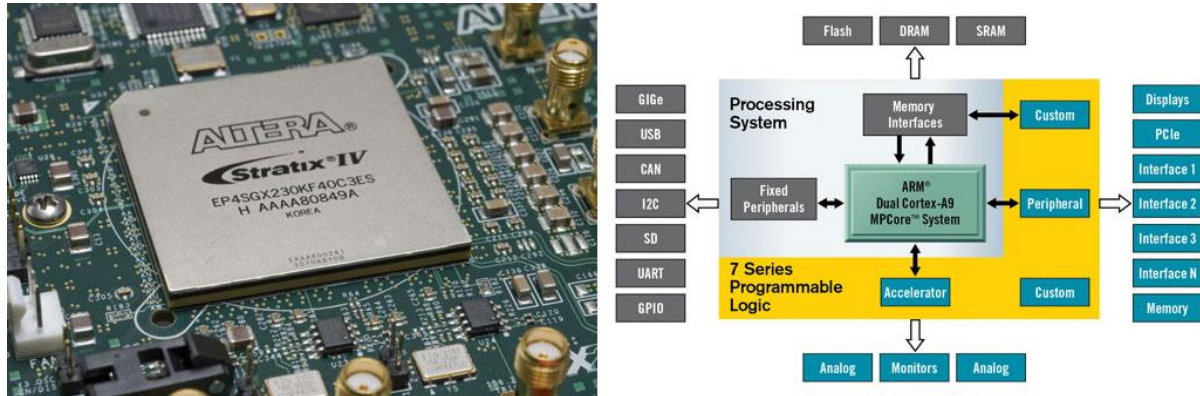


Fig. 4. FPGA hardware applicable to passive radar systems. On the left: Stratix FPGA chip from Altera – Altera Corporation, CC BY 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>>, via Wikimedia Commons; on the right: a Xilinx Zynq 7000 development board block diagram – Xilinx Inc., CC BY-SA 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons.

The employed VHF band

There are well defined criteria for choosing the working band. The FM broadcasting commercial radio band between 87.5 and 108 MHz is in the VHF range (30 to 300 MHz). There is a rule of thumb implying that for ionospheric observations the lower the frequency the better the reflection shall be. This rule is true for frequencies as low as the top of the HF band. Apart from the FM broadcasting transmitters there are no other transmitters of opportunity working in VHF or HF bands and located in the region of Bulgaria – where the first prototype shall be installed. Yet, there are a number of FM broadcasting transmitters in our country with powers of 10 kW.

Table 1. Transmitters of opportunity in the region of the city of Sofia

Transmitter	Location	Frequency	Power
Bulgarian National Radio Hristo Botev	Kalofer, radio-relay and television station – Botev Peak, Bulgaria	92.20 MHz	10 kW
Bulgarian National Radio Horizont	Kalofer, radio-relay and television station – Botev Peak, Bulgaria	100.90 MHz	10 kW
Bulgarian National Radio Hristo Botev	Vitosha Mountain TV Tower – Kopitoto Peak, Bulgaria	92.90 MHz	10 kW
Bulgarian National Radio Horizont	Vitosha Mountain TV Tower – Kopitoto Peak, Bulgaria	103.00 MHz	10 kW
Bulgarian National Radio Hristo Botev	Berkovitsa, radio-relay and television station – Petrohan Pass, Bulgaria	99.50 MHz	7 kW
Bulgarian National Radio Horizont	Berkovitsa, radio-relay and television station – Petrohan Pass, Bulgaria	101.40 MHz	10 kW
Bulgarian National Radio Horizont	Kyustendil, radio-relay and television station – Viden Peak, Bulgaria	102.10 MHz	10 kW
Radio and Television of Serbia, Radio Belgrade 1	Pirotski Crni Vrh, Serbia	98.5 MHz	15 kW
Radio and Television of Serbia, Radio Belgrade 202	Pirotski Crni Vrh, Serbia	101.0 MHz	15 kW
Radio and Television of Serbia, Radio Belgrade 1	Rosomač, Serbia	93.4 MHz	15 kW
Radio and Television of Serbia, Radio Belgrade 1	Dimitrovgrad, Serbia	94.2 MHz	15 kW
Radio and Television of Serbia, Radio Belgrade 1	Basara, Serbia	98.8 MHz	15 kW

For example these are the state owned broadcasting transmitters emitting the Bulgarian National Radio (BNR) programmes *Horizont* and *Hristo Botev*. The neighbouring countries also offer transmitters of opportunity. A good example are the transmitters in Serbia located not far away from the Bulgarian-Serbian border at high elevations. Table 1 summarizes some of the available transmitters of opportunity mostly suitable if the passive radar station is located in the area of the city of Sofia.

Conclusion

The passive radar has numerous applications of which greatest significance for us is presented by the scientific application in ionospheric remote sensing. Our novel design of a multistatic passive radar follows our knowledge and experience gained during the development of radioSolariz solar radio telescope www.radiosolariz.space. We aim at finalizing the prototype development and performing initial tests in the coming months. For the future we anticipate tests with different types of antennas and computation acceleration hardware.

References:

1. Howland, P. E. (1994) A Passive Metric Radar Using the Transmitters of Opportunity, *Int. Conf.on Radar*, Paris, France, May 1994, 251–256.
2. Malanowski, M., K. S. Kulpa, J. Kulpa, P. Samczynski, J. Misiurewicz, "Analysis of the detection range of FM-based passive radar", in *IET Radar, Sonar & Navigation*, Volume 8, Issue 2, February 2014, p. 153–159, DOI: 10.1049/iet-rsn.2013.0185.
3. Bojilova, R. and Mukhtarov, P. (2020) RELATIONSHIP BETWEEN THE CRITICAL FREQUENCIES OF THE IONOSPHERE OVER BULGARIA AND GEOMAGNETIC ACTIVITY, *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, Tome 73, No 8, pp. 1113–1122, 2020
4. Howland, P. E., D. Maksimiuk, and G. Reitsma (2005) "FM radio based bistatic radar," *Radar, Sonar and Navigation*, IEE Proceedings, Vol. 152, Issue 3, 3 June 2005 pp. 107–115.
5. Carson, S., D. Kilfoyle, M. Potter and J. Vance, "A passive, multi-static radar system," *2007 IET International Conference on Radar Systems*, Edinburgh, UK, 2007, pp. 1–4, doi: 10.1049/cp:20070497.
6. Zabunov, S., G. Mardirossian, R. Nedkov (2020) Multistatic Passive Radar, *Bulgarian Patent Office*, Utility Model #3928 / 29.10.2020, 1–3.
7. Panait, A. M. (2010) General principles of passive radar signature reducing – stealth technology and its application, *INCAS BULLETIN*, March 2010, 2(1): 49–54.
8. Oikonomou, D., P. Nomikos, G. Limnaios, K. Zikidis (2019) Passive Radars and their use in the Modern Battlefield, *Journal of Computations & Modelling*, vol.9, no.2, 2019, 37–61.
9. Pölönen, K. (2016) Signal Processing Methods for Multicarrier Passive Radar and Communication Systems, *Doctoral dissertation 69/2016, Aalto University publication series*, 13.May.2016.
10. S. Briskin, M. Moscadelli, V. Seidel and C. Schwark, "Passive radar imaging using DVB-S2", *2017 IEEE Radar Conference (RadarConf)*, Seattle, WA, 2017, pp. 0552-0556, doi: 10.1109/RADAR.2017.7944264.
11. Meyer, M. G., J. D. Sahr (2004) Passive coherent scatter radar interferometer implementation, observations, and analysis, *Radio Science*, vol. 39, RS3008, 1–10.
12. Lind F.D., P.J. Erickson, A.J. Coster, J.C. Foster, J.R. Marchese, Z. Berkowitz, J.D. Sahr (2013) Intercepted signals for ionospheric science, *Radio Science*, vol. 48, 248–264.
13. Chernogor, L. F., K. P. Garmash, Q. Guo, V. T. Rozumenko, Y. Zheng (2020) Passive Radar for Oblique-Incidence Ionospheric Sounding: Observations of Ionospheric Storms, *2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*, Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 253–258.
14. Sahr, J. D., D. M. Gidner, Chucai Zhou, F. D. Lind (2001) Passive VHF radar for ionospheric physics, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 63, issues 2–3, 2001, 117–122.
15. NATIONAL RADIO SPECTRUM DISTRIBUTION PLAN, Communications Regulation Commission, Republic of Bulgaria, 2019, https://crc.bg/files/_bg/647.pdf
16. Zabunov, S., G. Mardirossian, R. Nedkov (2020) Recent Innovations in Circularly Polarized Antennas for Drone Radio Communication, *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, vol. 73, no. 9, 1286–1290.
17. Cutsogeorge, G. (2014) *Managing Interstation Interference with Coaxial Stubs and Filters* (2nd ed.). Aptos, CA: International Radio Corporation. P. 75.
18. J. Kraus, "Antennas 2nd Ed," *MacGraw Hill*, 1988.
19. Rauch, T. (2006) *Small Magnetic Receiving Loops*, http://www.w8ji.com/magnetic_receiving_loops.htm, retrieved 20.12.2020.
20. Garry, J. L., C. J. Baker and G. E. Smith, "Evaluation of Direct Signal Suppression for Passive Radar," in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 55, no. 7, pp. 3786–3799, July 2017, doi: 10.1109/TGRS.2017.2680321.
21. Carr, J. J. (2001) *Practical Antenna Handbook*, fourth ed., McGraw-Hill, p. 625.

СТРУКТУРА НА СЪВМЕСТНИ АЕРОКОСМИЧЕСКИ И НАЗЕМНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ЗА ОЦЕНКА НА СЪСТОЯНИЕТО НА ПОЧВЕНИТЕ И РАСТИТЕЛНИ РЕСУРСИ В РЕКУЛТИВИРАНИ ЗОНИ НА ЗЕМЕДЕЛСКИ ЗЕМИ

Никола Колев¹, Мила Илиева-Обретеннова²

¹Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията
"Н. Пушкиров"

²Минногеоложки университет „Свети Иван Рилски“
e-mail: nvkolev@abv.bg; mila.ilieva@mgu.bg

Ключови думи: аерокосмически изследвания, наземни изследвания, земеделие, рекултивирани площи

Резюме: Обсъжда се структурата за получаване на данни от аерокосмическата апаратура и от апаратните модули на мобилен измервателен комплекс за наземни изследвания на рекултивирани площи от земеделски земи и открити рудници. Предлага се система за обработка на аерокосмическата и наземна информация, която включва модули за дистанционни наблюдения и сателитни изображения и за наземни агрономически наблюдения и агрофизични измервания, която осигурява данни за специализирани карти и актуални знания за състоянието на обектите. За да има сигурност за качеството на изображенията, се предлага да се провеждат целеви синхронни и квазисинхронни наземни агрономически наблюдения и агрофизични измервания в представителни участъци от тестови полигони в земеделските площи и откритите рудници на територията на България.

STRUCTURE OF COMBINED AIRSPACE AND LAND SURFACE RESEARCHES FOR ESTIMATION OF SOIL AND PLANT RESOURCES STATUS IN RECULTIVATION ZONES OF AGRICULTURAL LANDS

Nikola Kolev¹, Mila Ilieva-Obretenova²

¹Institute of Soil Science, Agrotechnology and Plant Protection "N. Poushkarov"

²The University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski"
e-mail: nvkolev@abv.bg; mila.ilieva@mgu.bg

Keywords: remote sensing, field measurements, agricultural fields, recultivated fields

Abstract: The objective of this paper is to present some remote sensing methods to estimate soil surface and root zone and vegetation canopies water content and temperature of agricultural fields and recultivated fields after open pit mining. These methods can be improved on the agricultural test polygons beyond what are achievable on big regions of the country. There is a discussion about an experience in development of collaborative contact electronic and remote sensing measurements on the field and in organisation of test areas for field measurements.

The results of these measurements are demonstrate as soil moisture and heat maps of pilot fields. They can be combined with simulated data from mathematical models for estimation and forecast of soil and plant water and heat balance.

Remote sensing and synchronous land surface estimation of soil moisture and temperature and plant fertility status is a new and prospective way of the practice.

Увод

Земеделските специалисти, учени и ръководители от различни нива нямат еднозначно мнение за приложението на аерокосмическите изследвания и ролята им в управлението на земеделското производство в България, особено това на рекултивирани земи. Скептично настроените не ги приемат за перспективни с твърдението, че те са лукс за нас при сегашното

състояние на земеделието в страната и са трудно приложими за малките територии, които обхващат отделните култури.

Оптимистично настроените, сред които сме и ние, намират аерокосмическите изследвания за необходими, особено за стратегическите цели на управлението на земеделието [1]. Още повече, с нашето съгласие или без него, космически станции от типа на Sentinel 2, с целево предназначение за изучаване на земното покритие, прелитат периодично над нашата територия.

В рамките на съвместни проекти с руски институти и с институти на Обединения европейски изследователски център (JRC) в ИСПРА, Италия резултатите от тези изследвания, включени в национална информационна система [9], могат да дават ценна информация за състоянието на основни агрофизични характеристики на земното покритие. Особено, когато се отнася за рекултивирани зони от земеделски земи, каквито са зоните на земите след рекултивация, последвала възгледобива в агломерацията „Марица-изток“.

Интерес за земеделското управление е оценката на типа на почвената покривка, влажността и температурата на почвата и на състоянието на растителната покривка в тези зони, която се различава от почвената и растителна покривка преди организирането на открития възгледобив в територията. След техническата рекултивация, която преди прехода се правеше от специализирана организация под ръководството на Министерството на земеделието, следваше биологична рекултивация под методичното ръководство на институт „Н. Пушкин“. Променената почвена покривка и променените почвени и климатични условия налагат повече грижи и внимание към растителната покривка и към земеделското производство.

Аерокосмическата технология за оценка на ресурсите, която се използва за управление на развитието на посевите и прогнозиране на добивите от основните култури в земеделието, в териториите след рекултивация е особено ценна, защото осигурява непрекъсната оценка на състоянието на почвите и на посевите, както е в страни като Германия, Холандия, Чехия, Италия, Англия, Франция и Япония [9, 12]. В тези страни земеделските площи, заети от една култура, не са по-големи от площите в България и разнообразието на култури не е по-малко [11].

Аерокосмически и наземни методи за оценка на типа и на водоосигуреността на почвата и на състоянието на земеделските култури

Аерокосмическите изследвания за земеделски цели се основават на използването на специализирана апаратура за фотографско заснемане, радиометриране, спектрометриране и радиолокация на площите, монтирана на самолети-лаборатории и космически станции в околоземна орбита.

Основният метод, използван при аерокосмическите изследвания, се основава на пасивната радиометрия и спектрометрия, при които, топлинното излъчване на повърхността на почвата и растителността в инфрачервения диапазон и в диапазона на радиочестотите се приема, записва и обработва от спектрометрична и радиометрична системи, монтирани на борда на самолет или космически кораб, като спектрален сигнал и като радиояркостна температура на обекта. Колкото влажността на обекта е по-голяма, толкова радиояркостната му температура е по-ниска, като съществува корелативна зависимост между тази температура и влажността на почвата и водоосигуреността на културата. В Института за космически изследвания при БАН беше създадена радиометрична система тип РМ-1С с дължина на вълната 4 cm, която беше монтирана на самолет-лаборатория L-410 и на космическата станция "МИР" и с която бяха проведени над 5-годишни измервания в различни краища на света [3, 11].

Друг използван метод се основава на оценка на отражателната способност на повърхността на почвата и растителността в зависимост от водното им съдържание, при който коефициентът на отражение на светлината нараства с намаление на водното съдържание на обекта [2, 3, 10]. В Института за космически изследвания и технологии при БАН беше създадена фамилия от спектрометри от типа ИСОХ и СПЕКТЪР, с която бяха проведени серии от наземни и аеродистанционни измервания за оценка на състоянието на земеделски обекти.

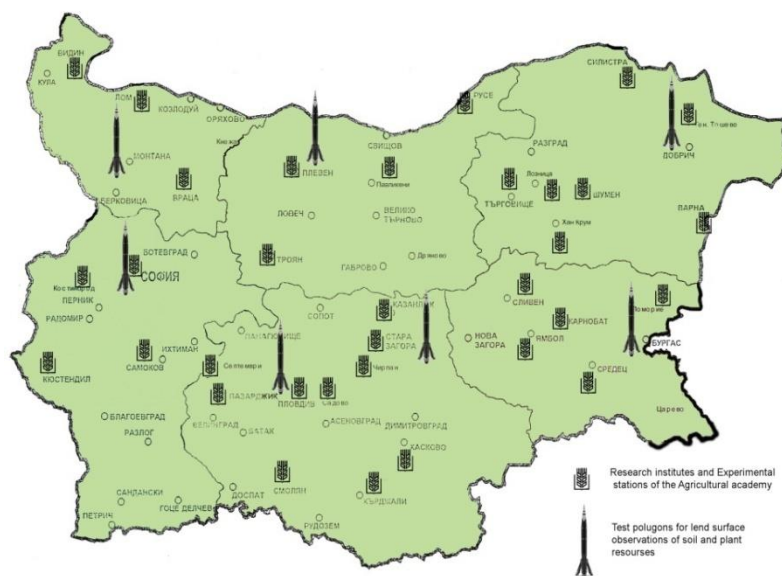
Такива и по-широки изследвания в тази област бяха проведени в Русия, САЩ, Англия, Австралия и в други развити земеделски страни. Така [8] в Австралия, [14] и [12] в Англия, предложиха модели за оценка на влажностния профил на коренообитаемия слой на почвата и по данни от аеродистанционни измервания на влажността на повърхностния почвен слой и воднобалансни изчисления с цел прогнозиране на добивите от културите.

Редица прецизни измервания с този тип апаратура в лабораторни и полски експерименти позволиха да се разкрият зависимости между коефициентите на отражение за различни честоти от слънчевия спектър и съдържанието на отделни хранителни и токсични елементи в растителността. Намерени бяха функционални връзки между спектралните характеристики и биометричните параметри на посеви от пшеница, ечемик, царевица, люцерна и др. [3, 8]. Това

позволи да се създадат диагностични критерии за оценка на храненето и на фитосанитарното състояние на растителността.

Проблем за аерокосмическите изследвания е това, че системата "почва-растителност" е сложна, динамична и представлява обект, тип "смесен клас [8, 9], което налага синхронни и квазисинхронни наземни агрофизични измервания и агрономически наблюдения за прецизна калибровка. Всяка област в дадена страна има уникален микроклимат и специфични условия за земеделско производство, които определят различни тегловни коефициенти в уравненията за връзки между измерваните параметри от аерокосмическата апаратура и контролираните характеристики на почвата и културите. Още по-отговорно е изследването на рекултивирани площи след минна дейност, каквото е положението край мини „Марица-изток“ от полигон „Стара Загора“.

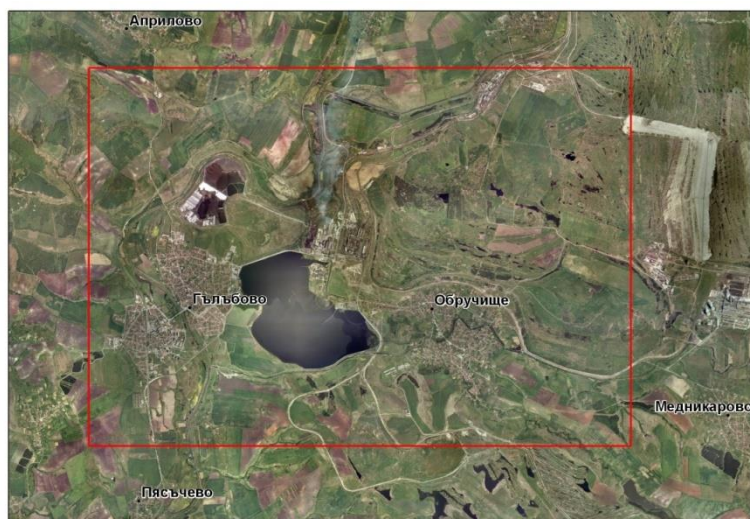
Организацията на изследванията включва определяне на териториите с рекултивирани площи, заети с основни земеделски култури, които могат да бъдат обекти на този род изследвания, в които е наложително да се изберат представителни площи, наречени тестови участъци, от които да се организират наземни измервания и наблюдения. Съгласно общата методика, използвана в страните от Европейския съюз и приложена в проекта MARS-MERA, България е включена в европейската мрежа от над 95 тестови полигона. От тях на територията на страната ни са разположени тестови полигона с размери 40 km x 40 km, в районите Плевен, Русе, Разград, София, Пловдив и Стара Загора, в близост до опитни бази на институт "Пушкаргов" и на други институти и опитни станции на Селскостопанската академия, както е показано на Фиг. 1.



Фиг. 1. Национална мрежа от тестови полигони и пространствено разпределение на научните институти и на опитните станции на СА

Тестовите участъци в полигоните притежават пълни почвени и агрохимически характеристики на площите и микроклиматични характеристики на районите, което позволява привързване на данните от аерокосмическите изследвания към специфичните условия на средата.

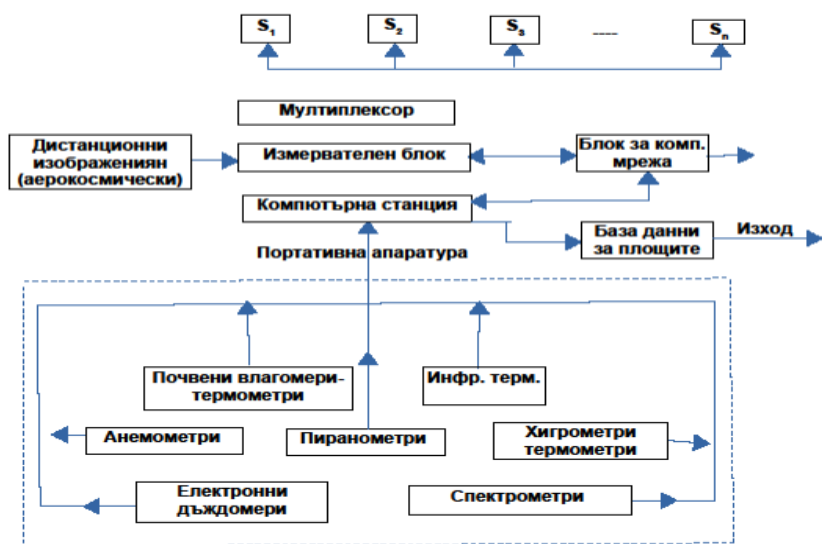
Интерес за земеделското производство представлява състоянието на рекултивирани площи след открит добив на въглища в територии със земеделски земи, както е басейнът на мини «Марица –изток», в които могат да се използват аерокосмически технологии, особено сега при наличието на фамилията Sentinel. Заедно с тях се налага да се организират и провеждат синхронни и квазисинхронни наземни тестови агрономически наблюдения и агрофизични измервания на елементи на водния и топлинния баланси на системата "почва-растителност-атмосфера" в тестовите участъци. Такъв тестов участък с рекултивирани земеделски площи сме организирали в полигон Стара Загора (Фиг. 2), за верификация на космическите изображения с данните от наземните наблюдения на околната среда [5, 7, 13].



Фиг. 2. Карта на тестов участък Гълъбово в басейна на мини „Марица-изток” от полигон „Стара Загора”

Структура на мобилен измервателен комплекс за наземни изследвания, синхронни и квазисинхронни с аерокосмическите изследвания на земното покритие

В структурата на измервателния комплекс за наземни измервания, показан на Фиг. 3, са включени специализирани сензори и измервателни устройства за оценка на основни параметри на системата „почва-растителност-приземен въздух” (влажност, температура и засоленост на почвения профил, топлинен поток в почвата, температура на листата на растенията, радиационна температура на почвената и растителна повърхност, слънчева радиация (паднала, отразена и разсеяна), температура и влажност на приземния въздух, скорост на вятъра, количество и интензивност на естествения дъжд, температурен и влажностен градиент на приземния въздух, слана и поледица). Следват блокове за мултиплексиране на сигналите от сензорите и измервателен блок с аналогови и цифрови канали.



Фиг. 3. Комплекс за приемане и обработка на космически изображения и наземни електронни измервания

В компютърната станция се регистрират измерените стойности и се изчислява интензивността на евапотранспирацията в приземния въздух и на топлинния поток в почвата, които са основни елементи на водния и топлинния режими на системата „почва-растителност-приземен въздух”.

Данните от радиометрични и спектрометрични устройства за дистанционни изображения се въвеждат в компютърната станция и по специални алгоритми се сравняват със стойностите от измервателните канали на системата за наземни и приземни измервания. С тези операции се

верифицират данните от аеродистанционните изображения за оценка на състоянието на почвената и растителна покривка в тестовия участък.

В компютърната станция са въведени и данни за историята на полетата в участъка и вегетационните календари на културите, с които са заети площите.

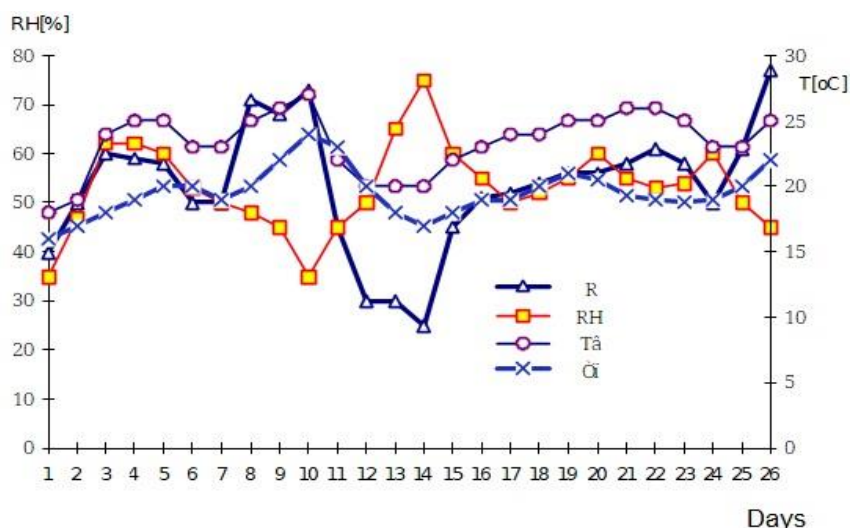
Получените данни за състоянието на влажността и температурата на приземния почвен слой имат пряко отношение към състоянието на влажността и температурата по почвения профил, което е доказано с данни от наземни измервания в представителни места на тези участъци.

Резултати от експериментални обследвания на площи

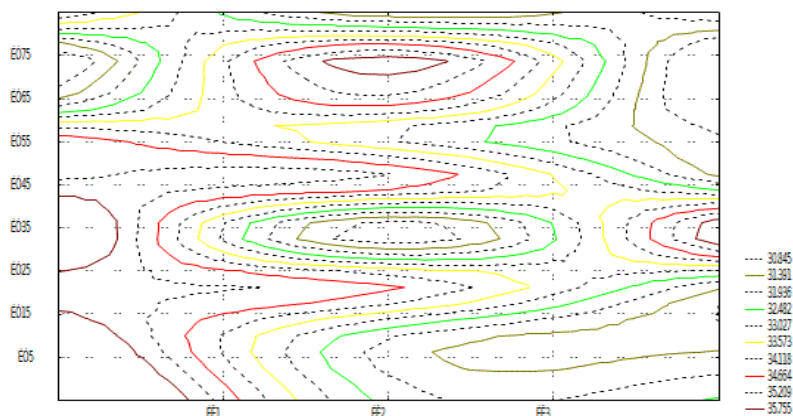
Площите в тестовите участъци притежават почвени, агрохимични и климатични характеристики, и същностни вегетационни календари на културите, с които те са заети. Блоковете в участъците, заети с еднородни култури, имат площи средно от около 500 – 700 дка.

В представителни места от участъка планираме да се проведат синхронни и квазисинхронни наземни калибровъчни измервания с този мобилен комплекс.

Ще бъдат показани само два примера на аеродистанционни изследвания на влажността и температурата на повърхността на почвата и посев, с което ще се демонстрират възможностите им за целите на земеделската практика. На Фиг. 4 е показана карта на влажността на почвата на площ с пшеница, а на Фиг. 5 – карта на топлинното поле на пшеничен посев в участък "Чирпан" от полигон Стара Загора.



Фиг. 4. Едномесечен запис на среднодневните стойности на основни елементи на топлинния и на водния режими на поле с пшеница през месец юни 2007г, където: R – радиационен баланс в полето; RH – относителна влажност на въздуха; T_a – температура на приземния въздух; Q – температура на почвената повърхност



Фиг. 5. Карта на топлинното поле на посев от пшеница на 22 юни, 2007 г в 12:00, където по оста x – измервателните линии, напярко на редовете; по оста y – измервателните линии по редовете на посева

Заклучение

В доклада се обсъждат възможностите за организиране на съвместни аерокосмически и наземни методи и средства за оценка на основни свойства на почвената и растителна покривка в рекултивирани площи, които определят водоосигуреността и храненето на посевите. Споделя се опитът, на авторите в комплексното използване на методи и специализирана електронна техника за оценка на влажността и температурата на повърхностния почвен слой и растителната покривка и на спектралните радиационни и отражателни характеристики на почвата и посевите.

Показана е националната мрежа от тестови полигони, географски разпределена из цялата страна, в които се организират наземни агрономически изследвания и агрофизични измервания, за да се получат влажностни и топлинни карти на земеделски площи.

Подчертава се, че по данни от електронноизмервателни средства и математически модели може да се определят влажностните, топлинните и солевите профили на коренообитаемия почвен слой, които обективно формират водния и топлинния режими на почвата и на хранителните режими на посевите.

Оценката на състоянието на почвените и растителни ресурси става синхронно във времето и осигурява данни и информация на заинтересовани производители, министерства и ведомства, които да им помагат при вземане на управленски решения за прецизно земеделие при отглеждането на основни земеделски култури, които заемат големи площи от територията на България.

Литература:

1. Захаринов, Б., Н. Колев, 2007. Възможности за балкански аерокосмически и наземен екологичен мониторинг на системата "почва-растителност-приземна атмосфера", Сб. Доклади на Балканска конференция, София.
2. Колев, Н., К. Каров, 1993. Електронна техника в растениевъдството. Земиздат, София, 309 стр.
3. Кънчева, Р., 1991. Спектрометрични и биометрични изследвания на зимна пшеница по време на международния експеримент "Телегео-87", Аерокосмически изследвания в България, 8, 54–59.
4. Мишев, Д., 1995. Дистанционни изследвания и приложението им в науките за земята. Списание на БАН, кн. 1, 9–55.
5. Baret, F. and Guyot, G., 1991, Potential and limits of vegetation indices for LAI and PAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, 35, 161–173.
6. Carlson, T., E. Perry and T. Schmugge, 1990. Remote estimation of soil moisture availability and fractional vegetation cover for agricultural fields. *Agric. and Forest Met.*, V. 52 (1-2), pp. 45–71.
7. Dimitrov, E., M. Kercheva. 2013. Assessment of spatial variation of soil texture fractions on field level. *Int. Soil Sci. Conference, 2013, Ulm, Germany, Book of Abstracts.* p. 283–284.
8. Foushe, P. and N. Booyesen, 1994. Moisture stress in crops evaluated with remotely piloted aircraft. *S. A. Waterbulletin*, Sept./Octob.
9. Kancheva, R., A. Krumov and V. Boycheva 1992. Crop agroecological diagnostics by remote sensing technique. *Proceedings of the Symposium of the ISYC, Munich*, 1–7.
10. Kato, Yo., 1984. A computerized soil information system for arable land in Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 30 (3), pp. 287–297.
11. Mishev, D., 1991. Spectral Characteristics of mixed classes of natural formations. *Acta Astronautica*, Vol.25, N8/9, 443–446.
12. Ragab, R., 1995. Towards a continuous operational system to estimate the root zone soil moisture from intermittent remotely sensed surface moisture. *Journal of Hydrology* 173, pp.1–25.
13. Ustin, S. L., Smith, M. O., Jacquemoud, S., Verstraete, M. and Govaerts, Y., 1999, *Geobotany: Vegetation mapping for earth sciences*. In: Rencz, A.N. (ed.) (1999), 189–248.
14. Vossen, P., 1994. An overview of methods for national crop yield forecasting. *Ispra*, 32.

ИЗМЕНЕНИЕ НА ЗЕМНОТО ПОКРИТИЕ НА АРЧАРО-ОРСОЙСКАТА НИЗИНА ЗА ПЕРИОДА 1990-2018

Георги Железов, Велимира Стоянова

*Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките
e-mail: gzhelezov@abv.bg; stoyanovavelimira@gmail.com*

Ключови думи: Дистанционни изследвания, географски информационни системи (GIS), аерофото снимка, ортофото

Резюме: Многоспектрно практическо приложение и актуалност през последните десетилетия придоби въпросът за изучаването и картографирането на земното покритие. Европейската комисия стартира първото картографиране на земното покритие за Европейския съюз през 1985 г. с програмата Координация на информацията за околната среда (CORINE). Първоначалните данни от CORINE датират от 1990 г. и имат актуализации през 2000, 2006, 2012 и 2018 г. Изследването представя промените в земното покритие за периода 1990-2018 г. в Арчаро-Орсойската низина, между селата Добри дол, Сливата и Орсоя. Трансформациите и промените са установени за нивото на системата за класификация и организация на данните CORINE Land Cover (CLC). В изследваната области са определени единадесет класа. Най-голяма площ заема класа на обработваемите земи поради плодородните почви, следван от горите и пасищата.

LAND COVER CHANGES IN THE ARCHARO-ORSOYSKA LOWLAND FOR THE PERIOD 1990-2018

Georgi Zhelezov, Velimira Stoyanova

*National Institute of Geophysics, Geodesy, and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: gzhelezov@abv.bg; stoyanovavelimira@gmail.com*

Keywords: Remote sensing, geographic information systems (GIS), aerial photographs, orthophoto

Abstract: A very topical in recent decades is the issue for studying and mapping the land cover. The European Commission launched the first land cover mapping for the European Union in 1985 with the program Coordination of Information on the Environment (CORINE). The initial data from CORINE goes back to 1990 and have updates in 2000, 2006, 2012, and 2018. The research presented the land cover changes for the period 1990-2018 in the Archaro-Orsoyska lowland between villages Dobri dol, Slivata and Orsoya. The transformations and changes are established for the level of the CORINE Land Cover (CLC) system of classification and organization of the data. Eleven classes are defined in the study area. As expected, the classes which indicate arable lands are most common in the valley's bottom due to its flat topography and fertile soils, followed by the forest and semi natural areas and built-up areas of the pastures.

Въведение

През последните десетилетия много актуален и с широка степен на приложност е въпросът за изучаването и картографирането на земното покритие. Европейската комисия стартира първото картографиране на земното покритие за Европейския съюз през 1985 г. с проекта Координация на информацията за околната среда (CORINE). Първоначалните данни от CORINE датират от 1990 г. и имат актуализации през 2000, 2006, 2012 и 2018 г.

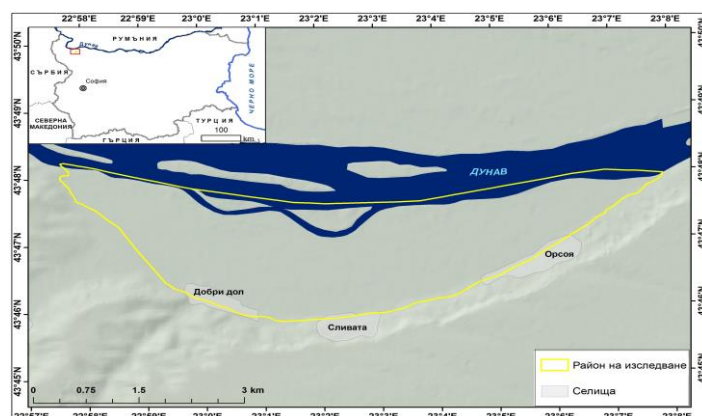
При изследването и картографиране на промените в земното покритие се използват технологии за дистанционно наблюдение и географските информационни системи (ГИС). От такъв характер са проучванията на Roumenina, et al. (2010), Vassilev and Roumenina (2011), Mare and Mihai (2016); Генчев и Вацева (2017); Erasu (2017); Balado, et al. (2018). Свързани с региона на представеното изследване – Арчаро-Орсойската низина са разработките на Железов, Бендерев, Колев и Николов (2020) и Zhelezov (2020).

Най-голямо влияние върху измененията на земното покритие има човекът и след това рисковите природни процеси и явления. Антропогенното въздействие върху земното покритие е най-голямо в равнинните ландшафти и речните долини.

Статията представя промените в земното покритие за периода 1990-2018 г. в Арчаро-Орсойската низина. Целта на изследването е да се разкрие по какъв начин икономическите промени в България след 1989 г. са повлияли на земното покритие в изследвания район, тъй като земеползването и напояването влияят върху разпространението на замърсяването с арсен и тежки метали в почвите на крайречните низини.

Регион на изследване

Арчаро-Орсойската низина (Северозападна България) е част от заливната тераса на р. Дунав ($22^{\circ}57' - 23^{\circ}8'E$ и $43^{\circ}48' - 43^{\circ}46'N$) (Фиг. 1). Дължината на низината от запад на изток е 13,7 km, а максималната ширина от север на юг е 3,5 km. Обхваща площ от 30.07 km² със средна надморска височина 30,99 m и среден наклон на склоновете около $3,59^{\circ}$.

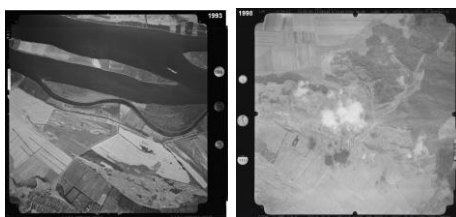


Фиг. 1. Регион на изследване

Регионът на изследване се характеризира с кватернерни алувиални пясъци, глин и чакъл и съвременни алувиални и лъсови наслаги (Balteanu et al., 2013). Релефът на низината се характеризира с няколко основни типа геоморфологички единици: активна заливна тераса, пясъчни гредове, блата и висока заливна тераса. Активната заливна равнина се характеризира с алувиални почви, предимно Eutric Fluvisols (FAO, 2006). Пясъчните гредове са покрити с пясъчливи почви - Arenosols (FAO, 2006). Климатът на района на изследване е умерено континентален със сравнително студена зима и горещо лято.

Данни и методи

Данните, използвани за анализ на земното покритие са от пет източника: 1) черно-бели аерофотоснимки от 1993 и 1998 г. от архива на Военно-географската служба на Българска армия в град Троян (Фиг. 2); 2) Топографски карти в мащаб 1: 5 000, предоставени от Агенцията по геодезия, картография и кадастър; 3) Векторни данни за третото ниво на земното покритие от европейския проект CORINE Land Cover (CLC1990, CLC2000, CLC2006, CLC2012 и CLC2018) за България; 4) Ортофото от въздушно заснемане от март 2019 г. (Фиг. 3); 5) Теренни изследвания от март 2019 г.



Фиг. 2. Аерофотоснимки на Арчаро-Орсойската низина 1993 г. и 1998 г.

Изображенията от 1993 г. са направени с камера Wild RC-10, а снимките от 1998 г. с камера Wild RC-30. Височината на полета е 3050-4000 m (1993) и 3200 m (1998), а фокусното

разстояние е приблизително 153 mm. Тези снимки са геореферирани с помощта на ArcGIS 10.6.1.

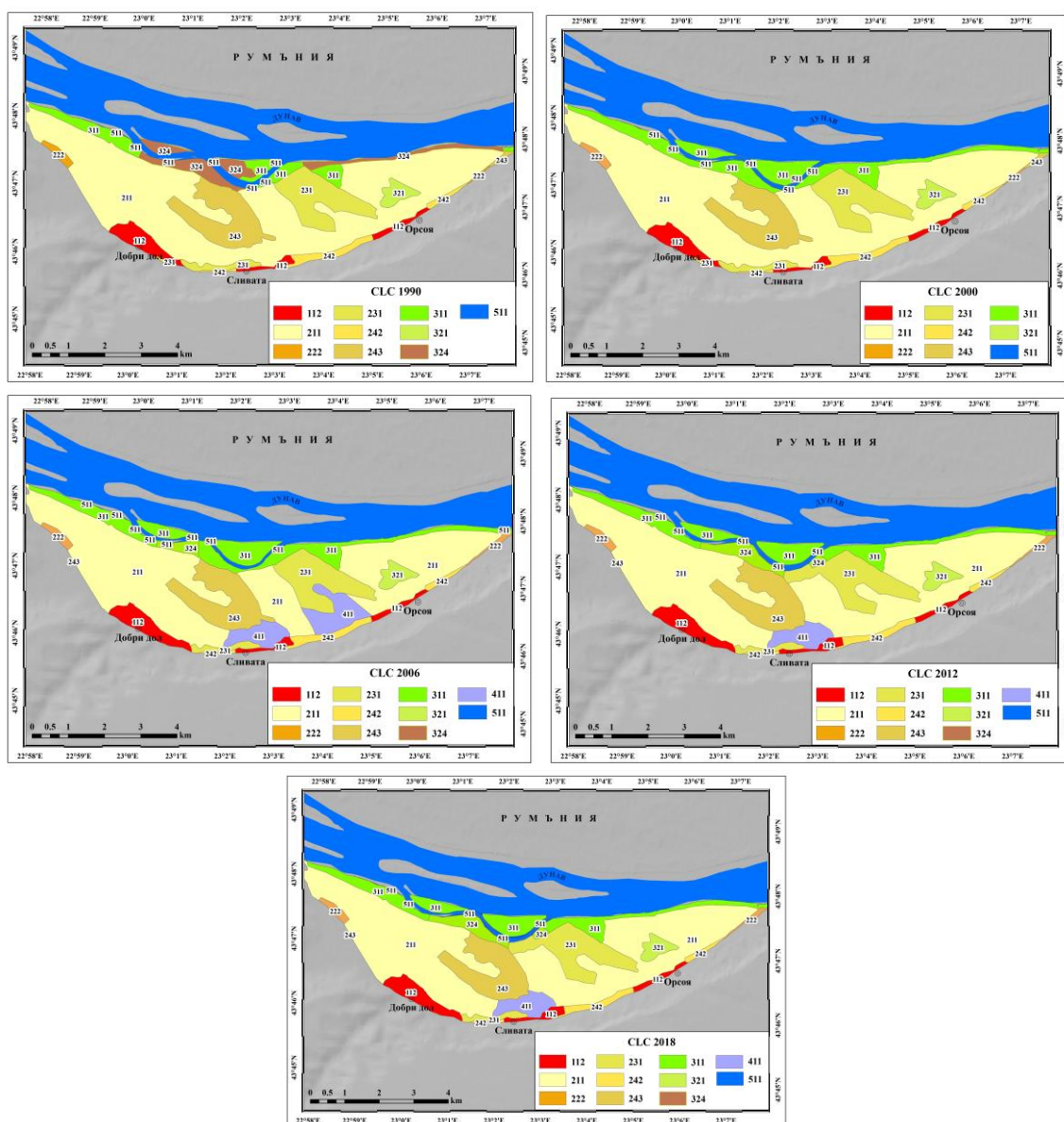


Фиг. 3. Ортофото на Арчаро-Орсоиската низина от 2019 г.

Въздушното заснемане през 2019 г. е направено с помощта на дрон WingtraOne VTOL с камера Sony 42 Mpix (DSC-RX1RM2). Височината на полета е 400 m. Размерите на сензора са 35 000 mm x 23,345 mm. Обработката на изображенията е извършена със софтуер за фотограметрия - Pix4Dmapper 4.6.4.

Резултати

Резултатите от картографирането на земното покритие (ниво 3) са показани на Фиг. 4, а имената на класовете земното покритие са представени в Таблица 1.



Фиг. 4. Земното покритие на Арчаро-Орсоиската низина за 1990, 2000, 2006, 2012 и 2018 г.

Таблица 1. Класове земно покритие за 1990, 2000, 2006, 2012 и 2018 г.

Земно покритие (CLC)	Код	1990	2000	2006	2012	2018
		%	%	%	%	%
1. Антропогенни обекти						
11 Населени места						
Населени места със свободно застрояване	112	4.0	4.0	4.4	4.6	4.6
2. Земеделски земи						
21 Обработваема земя						
Ненапооявана обработваема земя	211	59.5	59.5	52.6	56.3	56.3
22 Трайни насаждения						
Овощни и ягодови насаждения	222	0.8	0.8	0.5	1.1	1.1
23 Пасища						
Пасища	231	8.9	8.9	8.6	9.3	9.3
24 Разнородни земеделски земи						
Комплекси от раздробени земеделски земи	242	2.1	2.1	2.1	1.9	1.9
Земеделски земи със значителни участъци естествена растителност	243	8.7	8.7	8.4	8.3	8.3
3. Гори и полуестествени площи						
31 Гори						
Широколистни гори	311	6.3	13.9	13.1	10.9	10.9
32 Храстови и/или тревни растителни съобщества						
Естествени тревни площи	321	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Преходна дървесно-храстова растителност	324	7.6	0.0	1.6	2.7	2.7
4. Влажни зони						
41 Вътрешни влажни зони						
Вътрешни блата	411	0.0	0.0	6.7	2.7	2.7
5. Водни обекти						
51 Вътрешни води						
Водни течения	511	0.6	0.6	0.4	0.7	0.8

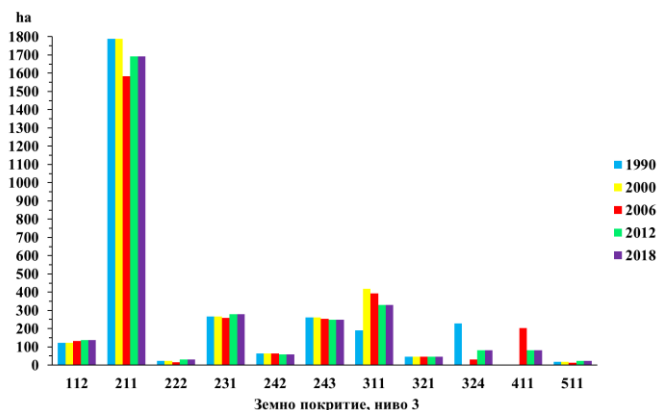
През 1990 г. ненапоояваната обработваема земя (211) заема най-голям дял – 59,5% от територията на изследвания район. Следват пасищата (231) с 8,9 % и земеделските земи със значителни участъци естествена растителност - 8,7% от територията на низината (Таблица 1 и Фиг. 5).

Анализът на картата на земното покритие за 2000 г. показва, че отново най-голям дял от площта на изучавания район има клас 211 - ненапоояваната обработваема земя с 59,5%. Но значително се е увеличил дялът на клас 311 - широколистни гори от 6,3% през 1990 г. на 13,9% за сметка на клас 324 - преходна дървесно-храстова растителност от 7,6% през 1990 г. на 0% през 2000 г. (Таблица 1 и Фиг. 5).

В периода 2000-2006 г. се наблюдава намаляване в относителния дял на почти всички класове земно покритие, за сметка на появата на нов клас 411 – вътрешни блата (6,7% от общата територия) (табл. 1 и фиг. 5). Най-голям дял заема клас 211 с 52,6%, следван от клас 311 с 13,1%, клас 231 с 8,9% и клас 243 с 8,4% (Таблица 1 и Фиг. 5).

През 2012 г. отново се увеличава относителния дял на ненапояваната обработваема земя (56,3%) и на пасищата (9,3%), но се намалява заемащата територия от широколистните гори (10,9%) и на вътрешните блата (2,7%) (Таблица 1 и Фиг. 5).

В последния разглеждан период не се наблюдават промени в класовете земно покритие. През 2018-2019 г. отново както и във всички предходни години най-голям относителен дял заема клас 211 – не напоявана обработваема земя (56,3%) (Фиг. 1), следван от клас 311 – широколистни гори (10,9%) (Фиг. 2), клас 231 – пасища (9,3%) (Фиг. 3), клас 243 - земеделски земи със значителни участъци естествена растителност (8,3%), клас 112 - населени места със свободно застрояване, клас 411 – вътрешни блата (Фиг. 4) и клас 324 - преходна дървесно-храстова растителност с по 2,7% от Арчаро-Орсойската низина (Таблица 1 и Фиг. 5).



Фиг. 5. Промени в земното покритие на 3-то ниво от номенклатурата на CLC за периода 1990-2018



Снимка 1. Ненапоявана обработваема земя - клас 211 (Сн. Велимира Стоянова)



Снимка 2. Широколистни гори - клас 311 (Сн. Велимира Стоянова)



Снимка 3. Пасища - клас 231 (Сн. Велимира Стоянова)



Снимка 4. Вътрешни блата - клас 411 (Сн. Велимира Стоянова)

Заклучение

Класовете на обработваемите земи са с най-голяма площ, поради низинния релеф на изследвания регион, характеризиращи се с високо ниво на плодородие на почвите. Следващото по степен на представеност и площно проектиране са широколистните гори и пасищата.

Промените в земното покритие на ниво 3 от европейския проект CORINE Land Cover на разглеждания район в периода 1990-2018 г. могат да се определят като незначителни. Наблюдава се незначително намаляване на площите през 2018-2019 г. в сравнение с 1990 г. на ненапомянатата обработваема земя и земеделските земи със значителни участъци естествена растителност. Увеличила се е площта на широколистните гори и вътрешните блата.

Концентрацията на микроелементи се очаква да бъде близка до фоновите нива и някои по-големи количества е по-вероятно да бъдат регистрирани само във вътрешните блата, които се характеризират с висока оценка на опасност от замърсяване с тежки метали и металоиди на почвите в Арчаро-Орсойската низина.

Благодарности

Настоящото изследване е финансирано от Фонд „Научни изследвания“, договор № КП-06-Н24/2 (08.12.2018) по проект „Връзка на пространственото разпределение на тежките метали в почвата с морфологията на замърсени заливни речни тераси (ТОПОМЕТ)“, разработван в базисна организация Национален институт по геофизика, геодезия и география, Българска академия на науките и от Министерството на образованието и науката в България в рамките на националната научна програма „Млади учени и постдокторанти“, одобрена с решение РМС № 577 от 17.08.2018 г.

Авторите изказват благодарност на колегите от екипа на проект ТОПОМЕТ (договор № КП-06-Н24/2), които са участвали в теренните изследвания и обработката на ортофотото изображенията.

Литература:

1. Генчев, Ст., Р. Вацева. Оценка и картографиране на земното покритие и земеползването в защитени зони от НАТУРА 2000 с използване на данни от дистанционни изследвания за периода 1990-2012. Проблеми на географията. Кн. 4, стр. 47–59, 2017.
2. Железов, Г., Ал. Бендерев, С. Колев, К. Николов. Връзка на пространственото разпределение на тежките метали в почвата с морфологията на замърсени заливни речни тераси (ТОПОМЕТ). Проблеми на географията. Кн. 4. С., стр. 67–80. ISSN 0204-7209, ISSN 2367-6671 (Online), <https://doi.org/10.35101/prg-2020.4.4>. 2020.
3. Balado, J., Arias, P., Diaz-Vilarino, L. & Gonzalez-deSantos L., Automatic Corine land cover classification from airborne LIDAR data. *Procedia Computer Science*, vol. 126, pp. 186–194, 2018.
4. Balteanu, D., Dogaru D., Zhelezov G., Kulov B. (Geographic characteristics of the region Calafat - Vidin - Turnu Magurele - Nikopol. In: G. Zhelezov (ed.) *Technical guide – Hazard assessment and mitigation in the Danube floodplain: Calafat-Vidin – Turnu Magurele-Nikopol sector*. Sofia: TerArt, pp 11–23, 2013.
5. Erasu, D., Remote Sensing-Based Urban Land Use/Land Cover Change Detection and Monitoring. *Remote Sensing & GIS*, vol. 2, issue 6:2, DOI: 10.4172/2469-4134.1000196, 2017.
6. FAO (2006) *World reference base for soil resources 2006*, Rome. [Online]. Available from: <http://www.fao.org/3/a-a0510e.pdf> [Accessed 2021-10-07].
7. Mare, M. and B. Mihai. Mapping land cover using remote sensing data and GIS techniques: A case study of Prahova Subcarpathians. *Procedia Environmental Sciences*, vol. 32, pp 244–255, 2016.
8. Roumenina, E., L. Filchev, V. Naydenova, P. Dimitrov, G. Jeleu. Landscape Planning of Land-Use Using High Resolution Satellite Images and Ground-Based Data. *Proceedings of 30th EARSeL Symposium - Remote Sensing for Science, Education, and Natural and Cultural Heritage*, UNESCO Headquarters, Paris, France. pp. 215–222. Published by EARSeL. 2010.
9. Vassilev, V. and E. Roumenina. Accuracy assessment comparison of per-pixel supervised and object-oriented land-cover classifications on a QuickBird image. *Proceedings of 6th Scientific Conference with International Participation “Space, Ecology and Safety” – SES 2010*, Sofia, Bulgaria. pp. 276–283. Published by SSTRI-BAS. 2011.
10. Zhelezov, G., Dynamic of Wetland System in Archaro-Orsoyska Lowland. *Problems of Geography*. Book 4. Sofia. pp. 58–66. ISSN 0204-7209, ISSN 2367-6671 (Online), <https://doi.org/10.35101/prg-2020.4.3>. 2020.

СЪЗДАВАНЕ НА НОВ АЕРОКОСМИЧЕСКИ ПОЛИГОН В БЪЛГАРИЯ ЗА МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА НА ТЕХНОГЕННОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ВЪРХУ ОКОЛНАТА СРЕДА – ПАНАГЮРСКИ РУДЕН РАЙОН

Христо Николов¹, Мила Атанасова², Деница Борисова¹

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

²Национален Институт по Геофизика, Геодезия и География – Българска академия на науките
e-mail: hristo@stil.bas.bg

Ключови думи: аерокосмически полигон, сателитни и БЛС данни, антропогенно въздействие

Резюме: В този доклад са обобщени извършените дейности за създаване на нов тестов аерокосмически полигон в България насочен към проследяване динамиката на промените в ландшафта на Панагюрския руден район, като се използват най-новите постижения на технологиите за дистанционни и полеви изследвания. По принцип полигони и тестовите участъци в тях са относително големи площи от земната повърхност съставени от обекти, които лесно се идентифицират в изображенията получавани от сателитни и/или самолетни апаратурни комплекси. В разглеждания район е очевидно техногенното въздействие причинено от предходни (обхващащи последните 40 години) и съвременни минни дейности в няколко открити рудници разположени в него. В това изследване са представени резултатите, получени от авторите при изучаване на промяната в земеползването на районите, където все още функционират минно-добивни комплекси, състоящи се от открит рудник и флотационна фабрика. Друга важна тема, която беше изследвана, са дейностите по възстановяване на качествата на почвата в зоните изложени на висок риск от замърсяване и трансформацията на бивши насипища и хвостохранилища в няколко вече затворени минни обекта в същия регион. Друг резултат от проведеното изследване е редовното наблюдение на текущите минни дейности в изследваната зона, които се считат за основен фактор за местното (река Тополница), както и за трансгранично замърсяване на посредством река Марица. От изследванията, проведени до този момент, беше създадена обширна геобаза данни, която се състои от растерни и векторни слоеве, които са готови да бъдат използвани от местните власти за по-добро регионално планиране.

INITIATING A NEW AEROSPACE TEST SITE IN BULGARIA FOR MONITORING AND ASSESSMENT THE TECHNOGENIC IMPACT ON THE ENVIRONMENT – THE PANAGYURISHTA ORE REGION

Hristo Nikolov¹, Mila Atanasova², Denitsa Borisova¹

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: spsbyte@space.bas.bg; lusy_t@yahoo.com

Keywords: aerospace test site, satellite and UAS data, anthropogenic impact

Abstract: In this paper summarized is the effort made to establish a new test site in Bulgaria to track the ongoing processes in landscape changes using the latest achievements of the satellite and UAS remote sensing and in-situ technologies. Principally the test sites are relatively large areas of the Earth's surface comprised of objects that are easily identified in the images acquired by satellite and/or UAV based instruments. The uniqueness of the area in focus is the obvious technogenic impact caused by the past (covering the last 40 years) and modern mining activities in several open pit mines located in it. In this study presented are the results obtained by the authors in studying the land use change in the areas where mining complexes consisting of open pit mine and a processing plant are still in operation.

Въведение

Минните предприятия, поради естеството тяхната дейност, са един от факторите, които оказват значително отрицателно въздействие върху района, където извършват своята дейност. В случая на Панагюрския руден район, който е разположен на южните склонове на Централна Стара планина (вж. Фиг. 1) замърсяването на околната среда се дължи на два основни източника – атмосферно замърсяване от провежданите минни дейности (взривни работи, трошачни цехове, отвали, табани и др.) и от отпадъчни води от флотационните инсталации депонирани в хвостохранилища. Тези два фактора мотивираха авторите за провеждане на настоящото изследване – за определяне на тяхното въздействие върху почвите [1, 2], растителността, както и върху подземните и повърхностните водни тела [3] в райони, разположени в съседство с минните предприятия, като се използва информация от различни източници (сателити, БЛС, in-situ и архивни данни), като по този начин се създава добре документиран аерокосмически полигон, в който е характерен с добре изразено техногенно въздействие върху околната среда.

Получените до момента резултати, както и такива, които ще се получават в следващите години, се предвижда да подпомогнат действията на широк кръг заинтересовани лица, като например учени и местна администрация, при минимизиране въздействието върху околната среда и населението, дължащо се на работещите и нефункциониращи минни изработки в споменатия район. В повечето случаи споменатите минни изработки се експлоатират по открит способ и тяхното въздействие върху ландшафта, върху видовото разнообразие на растителността и дивите животни и най-вече върху хората е неоспоримо и е основно негативно. От друга страна създаването и поддържането на актуална информация, произхождаща от различни източници, за протичането на споменатите процеси в района несъмнено ще подпомогне извършването на оценки за текущото му състояние и при изготвяне на планове за неговото развитие. Една задача пред това изследване е да се покажат добрите практики при използване на данни от дистанционни изследвания за документиране, наблюдение и оценка на въздействието както на текущите, така и на прекратените минни дейности върху околната среда. Друга важна задача от появата на този нов полигон е да покаже потенциала при интегрирано използване на свободностъпни данни и софтуер с отворен код за да отговори на нуждите на публичните власти и широката общественост.

Предпоставка за успешната реализация на поставената цел са многогодишния опит и натрупаното експертно знание на учените от направление „Дистанционни изследвания на земята и планетите“ на ИКИТ-БАН в тематичната обработка на данни постъпващи от различни източници (напр. сателити, БЛС, in-situ) и тяхното съвместно използване за създаване на качествено нови информационни продукти, които са използвани за решаване на научни и научно-приложни задачи [4]. Необходимостта от създаването на споменатия нов аерокосмически полигон за регистриране на промените по земната повърхност вследствие на техногенното въздействие в Панагюрския руден район и неговото постоянно актуализиране произтича от факта, че до момента липсват добре проучени и документираните тестови райони за такъв тип въздействие за територията на страната, прилагайки интегрирано използване на данни от различни източници насочено към получаване на качествено нов тип информация. Следва да се обърне внимание и на факта, че този подход позволява в процеса на нейното създаване да бъдат приложени и съвременни методи за обработка на данните като например такива, прилагащи методи на машинно обучение. Друг нов аспект при формирането на геобаза данни за района е съвместимостта им с т.нар. Data Cubes [5], които позволяват съхранение, анализ и визуализация на големи обеми от данни (BigData concept).

Район на изследване

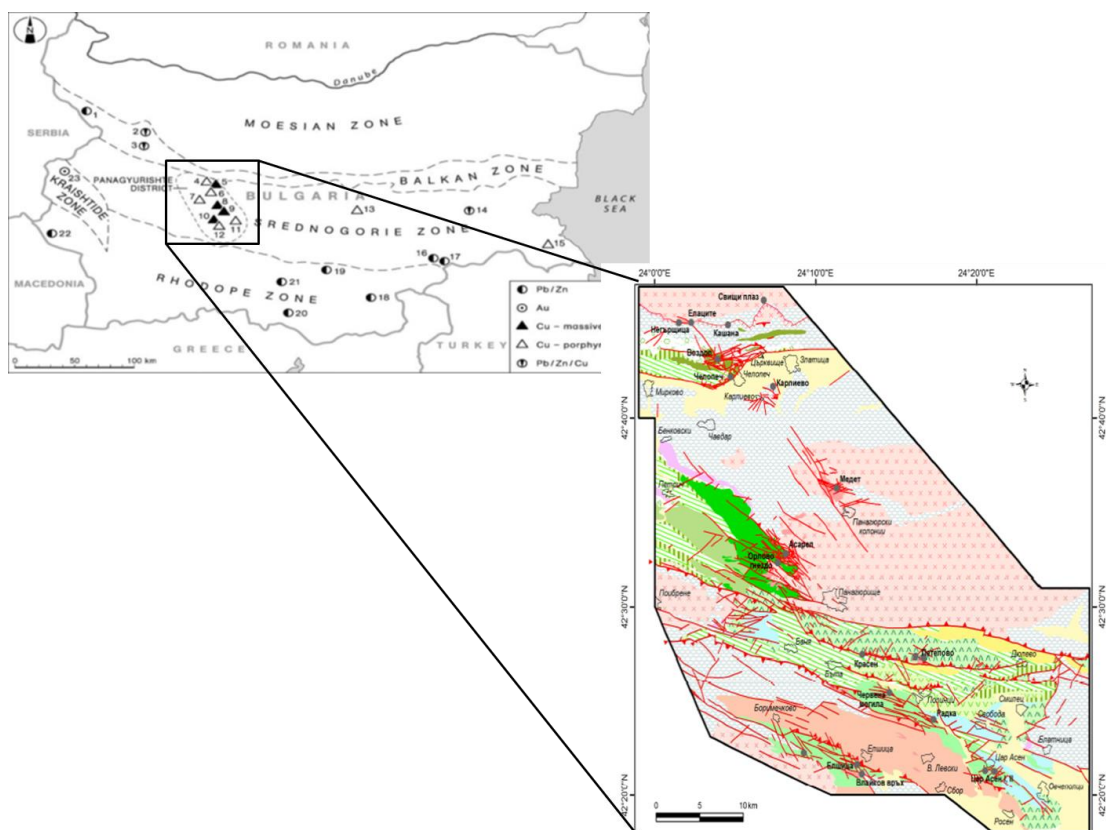
Геоложките проучвания в Панагюрския руден район, който е част от основния за Източна Европа металогенен пояс Апусени-Банат-Тимок-Средногорие започват в края на 50-те години на 20-ти век (вж. Фиг. 1 черния правоъгълник). В споменатия район са установени и документираните повече от 150 рудни находища, рудни и минерални проявления и вследствие на това в този регион се поставя началото на експлоатацията на открити рудници за добив на медна руда. Основните геоложки особености, контролиращи пространствено-времето развитие на металогенните процеси в рудния регион на Панагюрище, се определят от особеностите и еволюцията на горнокредните магматични комплекси [7].

В тази статия авторите представят изследванията си върху два от най-важните открити рудници в производството на мед за 20-годишен период за нашата страна – „Асарел-Медет“ и „Елаците“. И при двата миннодобивни комплекса се състои от открит рудник, насипища и табани и флотационна фабрика.

След прекратяване на експлоатацията на находище „Медет“, което е част от най-ранно въведените в експлоатация през 1964 г. минно-обогатителен комбинат в района, през 1994 г. беше създадена и стартирана програма за възстановяване на почвеното покритие и хидрографската мрежа (вж. Фиг. 2 за развитие на рудника през десетилетията). От последната ѝ част може да се види, че след затварянето си той има безспорно влияние върху замърсяването на водите в региона, тъй като липсваха специално предназначени дренажни съоръжения и в продължение на годините се запълваше до различни нива в зависимост от валежите. Така формирания воден басейн може да се счита за един от замърсителите на реките в района и безспорно допринася за трансграничния транспорт на разтворени тежки метали и до съседни държави. Тъй като находищата „Асарел“ и „Елациите“ все още са в активна експлоатация те определено допринасят за увеличаване на замърсяванията от различен тип в района.

Резултати

Тъй като основен обект на изследване като източник на негативно техногенно въздействие в района са минни изработки експлоатирани по открит способ важно място заемат данните от сателити и теренните измервания на различни скални образци с полевата многоканална спектрометрична апаратура (МКСА) TOMS. От редовно провежданите в последното десетилетие теренни кампании в споменатия регион бяха събрани проби от гранит, кафява почва и трева за по-нататъшен анализ на техните минерални и химични съставки с цел получаване на коректно разграничаване между тях. (вж. Фиг. 4 а). За събраните розови среднозърнести гранитни проби се установи следния състав състои от средно 50% ортоклаз, 35% кварц, 15% плагиоклаз, 1% биотит и 1% магнетит. Основният материал на пробата от кафява пясъчно-глинева почва е гранит. Почвената проба има умерена до груба призматична структура, много твърда и ронлива с неутрално рН (6,5) 1% органичен въглерод, 12% глина, 25% тиня и 62% пясък. [8, 9, 10]. В цитираните материали са получени резултати и за площите, които заемат отделните скални типове за някои от изследваните райони при използване на съвременни методи за сегментация на обекти в многоканални изображения и декомпозиция в единичен пиксел в тях (вж. Фиг. 4 б)-г).



Фиг. 1. Местоположение на откритите минни изработки за добив на медна руда и извадка от геоложка карта на Панагюрския руден район (по [6])



а) 1970 г.



б) 1980 г.



в) 1995 г.

Фиг. 2. Открит рудник „Медет“ по време на етапите на експлоатация - изграждане, в процес на експлоатация и след прекратяване на дейността му

Основен източник на многоканални спектрални растрени изображения за района, който изследвахме и предлагаме да се наблюдава редовно чрез създаване и подробно документиране на полигон за техногенни въздействия върху околната среда бяха данните от апаратурните комплекси TM/ETM+/OLI разположени на борда на сателитите от серията Landsat. Този избор бе обусловен от голямата и непрекъснатата времева серия (от началото на 80-те години на миналия век) от многоканални данни от едни и същи спектрални интервали, с една и съща пространствена разделителна способност (ПРС) от 30 m и не на последно място възможността за тяхното безвъзмездно ползване. С тяхна помощ бяха получени спектрални индекси, въз основа на които бе извършена класификация за наличните типове земно покритие по статистически и нелинейни подходи.

За по-добро проучване на изследваните обекти бяха използвани и многоканални данни в тесни спектрални канали (10 nm) от МКСА Hyperion на борда на сателита EO1 за по-добро разграничаване на миннодобивните обекти от останалите типове земни покрития. Този източник предостави данни в близкия и късовълновия обхват на инфрачервения спектър, които притежават висока информативност за минераложко и геоложко картиране на обекти от тип „голи скали“¹ (вж. Фиг. 4 а), каквито бяха предмет на изследване на базата на сателитни и теренни данни.

За този регион също така бяха използвани многоканални данни и от други МКСА източници със свободен достъп, като например:

- МКСА MSI разположена на борда на серията сателити Sentinel-2, която предоставя данни допълващи тези от Landsat и по-специално в края на червената и близката инфрачервена област на електромагнитния спектър [11]
- МКСА ASTER от сателита Terra на NASA, който разполага с 15 спектрални канала със средна ПРС, които са особено подходящи за допълване и обновяване на времевата серия от МКСА Hyperion. [12]
- МКСА AVNIR-2 от сателита ALOS на JAXA, която е с ПРС 10 m (сходна с тази на Sentinel-2) за допълване на МКСА слоевете с растрени данни в геобазата.

Друг важен източник на данни за геобазата характеризираща полигона са сензорите с висока ПРС с 1 m и по-малка, както и сателитни и аеро изображения от кампании за ортофото заснемане провеждани от Министерство на земеделието, храните и горите [13], които обхващат периода 2003 – 2021 г. Тяхното основно предназначение беше да се повиши пространствената разделителна способност на многоканалните данни посредством процедура за паншарпенинг за по-добро онагледяване на настъпилите промени в земното покритие дължащи се на техногенно въздействие. На първо място в нея сме включили данни от сателита Orbview-3, както растрери от ортофото заснеманията.

Друг важен тип данни, които са включени в геобазата са тези от радари със синтезирана апертура (РСА), които предоставят информация независимо от метеорологичните условия и лесно се интегрират с многоканални данни. С тяхна помощ се проследяват промени в растителната покривка с помощта на т.нар. радарни вегетационни индекси или посредством поляризационни индекси. На базата на отразения радарен сигнал е възможно лесно да се проследи времевото развитие на постоянни водни площи или такива със сезонен характер [14] (за конкретно изследвания район е от особена важност да се установи динамиката на площите

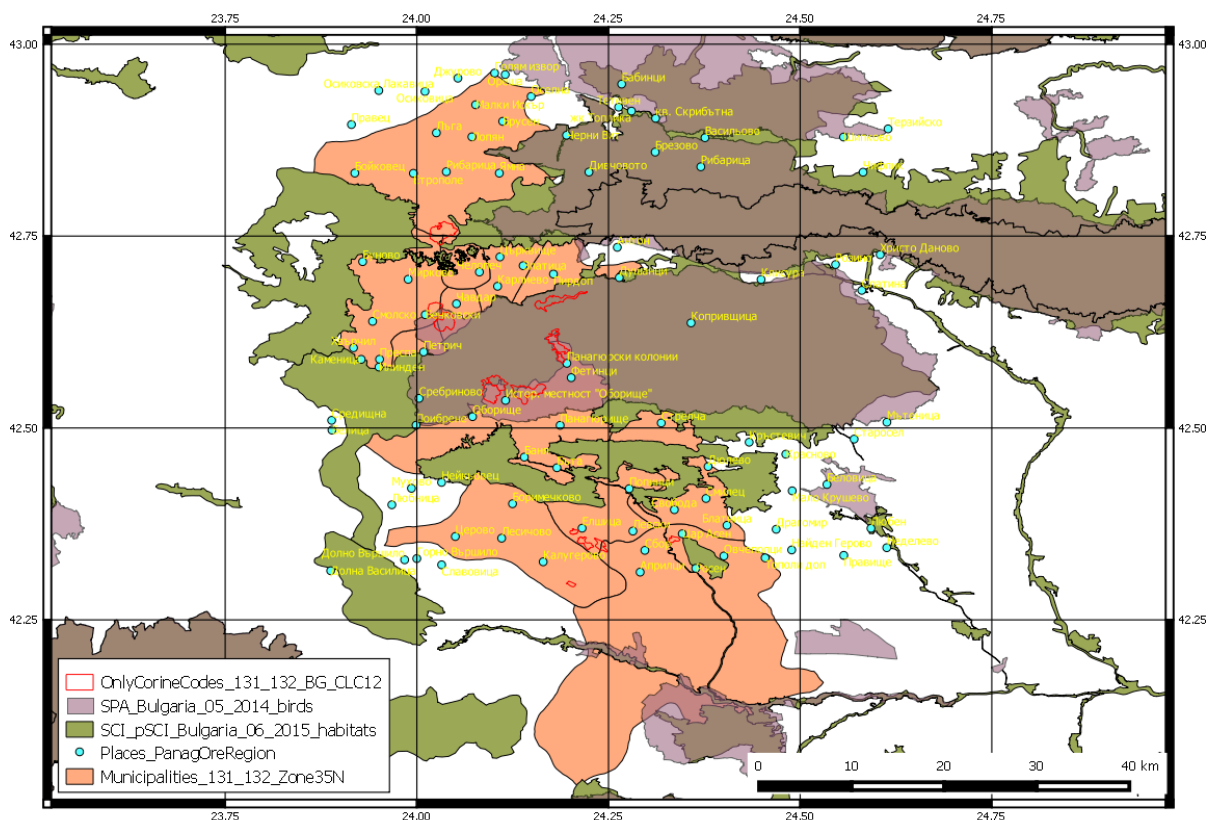
¹Съгласно по номенклатурата на КОРИНЕ Земно покритие

на хвостохранилищата, тъй като те са един от основните източници на прахово замърсяване на въздуха и почвите). Още един информационен ресурс, който се получава от РСА данни е в резултат на тяхната обработка по DInSAR метод – данни за малки премествания на земната повърхност, които биха могли да се използват като прекурсор на възможни срутвания или слягания в открити минни изработки или по табани/насипища, както е показано в [15].

За визуализация като отделен растерен слой за създаване на 3D модели на терена, така и в процеса на тематична обработка на данните от МКСА и РСА, бяха необходими и бяха използвани свободностъпни растерни цифрови модели на релефа (ЦМР) със средна ПРС, като например данни от проектите SRTM (NASA) [16] 30 m и EU-DEM разработен по програма „Коперник“ на ЕК [17] 25 m, които също бяха включени в геобазата. При възможност за създаване на ЦМР с по-добра ПРС от кампании с безпилотни летателни системи те биха подобрили качеството на част от продуктите, които се получават при моделиране (напр. формиране на водосбори на реки), използвайки другите налични в геобазата слоеве.

Изхождайки от факта, че ще се формира полигон насочен към отчитане влиянието на техногенни дейности е необходимо да се вземат предвид и наличието на защитени територии и зони от всякакъв тип (напр. национални паркове) с оглед извършване на актуални анализи относно споменатото влияние.[18] Благодарение на наличните и достъпни на страницата на ИАОС² данни за споменатите обекти [19] е възможно към геобазата документираща полигона да се създадат векторни слоеве, които осигуряват тази възможност. Пример за прилагане на този тип данни е показан на Фиг. 3.

Друг източник на информация за земеползването в района са изпълняваните от началото на 90-те години на 20-ти век поредица проекти „Корине Земно Покритие“, които предоставя векторни слоеве за земното покритие и промените в него съгласно номенклатура от три нива, както и допълнителни пет тематични растерни слоя за важни от екологична гледна точка типове земно покритие получени от данни с висока ПРС [13]. От особена важност за геобазата са слоевете, отразяващи промените в земното покритие, тъй като те ще покажат тенденциите в развитието на техногенното въздействие в региона. Това става проследявайки динамиката на класовете включващи компонентите на съответното миннодобивно предприятие и радиус около него 10 km.



Фиг. 3. Пример за съвместно използване на данни разположението на минните предприятия и данни за защитени територии

²Изпълнителната агенция по околна среда

3. Borisova, D., H. Nikolov H., D. Petkov D., Lubenov T., Remotely Sensed Data for Water Volume Assessment in Inoperative Mines, Conference Proceedings, 7th Congress of the Balkan Geophysical Society, Oct 2013.
4. Руменина, Е., Желев Г., Развитие на дистанционните изследвания, провеждани на аерокосмическите полигони в България, Sixteenth International Scientific Conference SPACE, ECOLOGY, SAFETY – SES 2020, 4 – 6 November 2020.
5. Appel, M.; Pebesma, E. On-Demand Processing of Data Cubes from Satellite Image Collections with the gdalcubes Library. *Data* 2019, 4, 92. <https://doi.org/10.3390/data4030092>.
6. Popov, K. Lithostratigraphy of the Late Cretaceous rocks in the Panagyurishte ore region. - *Ann. Univ. Min. Geol.*, 48, 1; 101–114 2005.
7. Попов, Р., S. Strashimirov, K. Попов, R. Petrunov, M. Kanazirski, D. Tzonev. Main features in geology and metallogeny of the Panagyurishte ore region, *Annual of University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski"*, 46, Part I: Geology and Geophysics, 119–125 2003.
8. Борисова, Д., Хр. Николов, Б. Банушев. Полеви и лабораторни измервания на магмени, седиментни и метаморфни скали за попълване на база данни при дистанционни изследвания, *Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“*, ISSN 1312-1820, vol. 52, , pp.137–140, 2009.
9. Borisova, D., H. Nikolov, B. Banushev, D. Petkov. Techniques for segmentation of open pit and stone mines. *Annual of UMG "St. Ivan Rilski"*, ISSN 1312-1820, vol. 53, Sofia, Publishing House "St. Ivan Rilski", pp.139–142, 2010.
10. Borisova, D., H. Nikolov. Improvements of the segmentation of multispectral images by means of LSMA. Conference with International Participation "Space, Ecology, Safety" (SES'2010), Sofia, Bulgaria, 2-4 November 2010, pp. 232–236.
11. Borisova, D., Banushev B., Petkov D., Nedkov R., Avetisyan D., Optical hyperspectral measurements of rocks and soils in Central Srednogorie, Bulgaria, *Proc. SPIE 10444*, Fifth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2017), 104441O (6 September 2017).
12. Bakardjiev, D., Popov K., ASTER spectral band ratios for detection of hydrothermal alterations and ore deposits in the Panagyurishte Ore Region, Central Srednogorie, Bulgaria, *Rev Bulg Geol Soc* vol 76 1 2015 79 88.
13. Dimitrov, V., Koleva, R., Tepeliev, Y., Kroumova, Y., Lubenov, T., Ilieva, N., Satellite mapping of Bulgarian land cover – CORINE 2018 project, (2019) *Forestry Ideas*, 25 (2), pp. 237–250.
14. Nikolov, H., Atanasova M., Using Information Obtained from SAR Data to Assess Flood Affected Areas in the Area of Bregovo, Bulgaria, *Proceedings of FIG working Week*, June 20-25th 2021, Netherlands.
15. Atanasova-Zlatareva, M., Nikolov H., Applying the DInSAR Method for Surface Deformations Detection in Pernik Valley, Source: Conference Proceedings, 11th Congress of the Balkan Geophysical Society, Oct 2021, Volume 2021, p.1 – 5, DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202149BGS12>.
16. NASA JPL,. NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second,. 2013, distributed by NASA EOSDIS Land Processes DAAC, <https://doi.org/10.5067/MEaSUREs/SRTM/SRTMGL1.003>.
17. EU-DEM v1.1. Available online: <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1?tab=metadata> (accessed on 30 June 2021).
18. Nikolov, H., D. Borisova, Tracing landscape changes near open pit mines, Third SCGIS conference "Geoinformation technologies for natural and cultural heritage conservation", 2016, ISSN 1314-7749, p 54–63.
19. Регистър на защитените територии и защитените зони в България, <http://eea.government.bg/zpo/bg/> (accessed on 28 September 2021).

ДОБРИ ПРАКТИКИ ЗА СИНХРОНИЗИРАНЕ НА ХИПЕРСПЕКТРАЛНИ ДАННИ ОТ КОСМИЧЕСКИ СЕНЗОРИ ЗА МОНИТОРИНГ НА ЕКОБИОЛОГИЧНИЯ СТАТУС НА РАЗЛИЧНИ КУЛТУРИ И КОМБИНИРАНЕТО ИМ С ДРУГИ ДАННИ ЗА ЦЕЛИТЕ НА РАСТИТЕЛНАТА ФЕНОМИКА

Лъчезар Филчев, Десислава Ганева

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

Ключови думи: хиперспектрални (спектрометрични) данни, екобиологичен статус, състояние на посеви, наблюдение на земята

Резюме: Разгледано е използването на хиперспектрални данни за определяне на параметри на посев и посев/почва. В доклада са дадени данни за хиперспектралните спътникови мисии, които са достъпни за използване в българското растениевъдство, както и някои съвременни приложения на хиперспектралните данни в растениевъдството. В заключение са изведени предложения и препоръки, и е направен опит за предлагане на методика за определяне на тестови полета и наземни изследвания синхронизирани с дистанционни наблюдения на посевите. За тази цел е използван международният опит на програми и проекти като METEOC, VALERIE, и SPARC (Barax).

GOOD PRACTICES FOR SYNCHRONIZING HYPERSPECTRAL DATA FROM SPACE SENSORS WITH ANCILLARY DATA TO MONITOR THE ECOBIOLOGICAL STATUS OF DIFFERENT CROPS FOR PLANT PHENOMICS PURPOSES

Lachezar Filchev, Desislava Ganeva

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

Keywords: hyperspectral data, ecobiological status, crop status, Earth Observation

Abstract: The use of hyperspectral data to retrieve crop and crop/soil parameters has been considered. The report provides information on hyperspectral satellite missions, which are available to the Bulgarian agriculture, as well as some modern applications of hyperspectral data in agriculture. In conclusion, suggestions and recommendations have been drawn up, and an attempt has been made to propose a methodology for choosing test fields and ground-based observations synchronised with remote sensing measurements of crops. For this purpose, the international experience of programmes and projects such as METEOC, VALERIE, and SPARC (Barax) has been used.

Въведение

Има различни приети дефиниции за хиперспектралните дистанционни изследвания или още известни като образна (спътникова) спектроскопия/спектрометрия (двата термина се използват взаимнозамениемо), но всички те могат да бъдат стеснени до следните две определения [1]. Образната спектрометрия се определя като: "едновременно заснемане/регистрация на пространствено корегистрирани изображения в множество спектрално съседни области". При това определение хиперспектралният сензор може да бъде един сензор с 20 последователни спектрални канала всеки с ширина от 10 nm. Второто определение за хиперспектралното заснемане гласи, че една система е хиперспектрална, ако заснема 40 или повече тесни съседни спектрални канала/области (10÷20 nm) едновременно [2]. Едва след появата на новите сателитни платформи, разработени по линия на Новата програма на хилядолетието (NMP) на НАСА, като например Earth Observer-1 (NMP/EO-1), със

спектрометъра Hyperion, и PProject for OnBoard Authonomy (PROBA), с инструмента Compact High Resolution Imaging Спектрометър (CHRIS) на борда, разработен от Европейската космическа агенция (ESA), изведени в орбита през 1999 г. и 2001 г. съответно, сателитната образна спектрометрия за граждански и научни приложения стана възможна. Към момента на изготвяне на доклада може да се провери наличността на данните от различните разглеждани сензори и спътникови платформи в съответните архиви за територията на България използвайки свободния каталог стандартизиран от CEOS [3].

В настоящия доклад е приета дефиницията от Националната научна програма „Интелигентно земеделие“ за екобиологичен статус, който е контрол на основните химико-физични параметри на почвата. Почвата е един от основните ресурси в земеделието. Поддържането и управлението на плодородието на почвата е от основно значение за развитието на устойчиво земеделие [4]. Основните химико-физични параметри на почвата пряко влияят върху посевите, както на тяхната фенология, така и на тяхното състояние и продуктивност. Разгледано е използването на хиперспектрални данни за определяне на параметри на посев и посев/почва. В заключение са изведени предложения и препоръки, и е направен опит за предлагане на методика за определяне на тестови полета и на ход на наземни изследвания синхронизиране с дистанционни наблюдения на посевите. За тази цел е използван международния опит на програми и проекти като METEOC, VALERIE, и SPARC (Barax).

Материали и методи

В настоящия доклад е направена литературна справка за изготвяне на препоръки и представяне на добри практики при синхронизиране на хиперспектрални данни (спътникови и аеро) с наземни изследвания за мониторинг на еко биологичния статус на различни култури. Справката е направена в наличните в Интернет реферативни бази данни и бази данни с научна литература – Google Scholar, Scopus, ResearchGate. Запитванията са направени на основа на логически въпроси (заявки) по ключови думи в англезичната литература. Получените резултати от литературната справка са представени по хронологичен ред за хиперспектралните спътникови мисии. Използването на хиперспектралните данни в растениевъдството е дадено по основни приложни области обособени в резултат на прегледа на научната литература по ключови думи.

Хиперспектрални данни от ново поколение космически сензори

а. Минали спътникови хиперспектрални мисии

NMP/EO-1 – Мисията NMP/EO-1 носи на борда три радиометъра: 1) Advanced Land Imager (ALI) - мултиспектрален pushbroom радиометър с 1 панхроматичен канал и 9 мултиспектрални канала; 2) Хиперион – спекторрадиометър и 3) Линеен еталонен спектрометър (LEISA) - Атмосферни Коректор (LAC). EO-1/Hyperion е решетъчен спектрометър с 30m (GSD) и 7.7 km ширина на сцената. Той осигурява 10 nm (интервал на семплиране) непрекъснати канали в $\lambda=400\div 500\text{nm}$. LAC е спектрометър, работещ в спектралния диапазон $\lambda=900\div 1600\text{ nm}$, който е подходящ за екипа за валидиране на продуктите на EO-1 за корекция на атмосферните ефекти в многоспективните устройства през първата година от мисията [5–7]. Мисията на NMP/EO-1 приключи на 22.02.2017 г. след планирано извеждане от орбита [8].

ENVISAT/MERIS – Европейският аналог на MODIS, но ориентиран основно към изследвания на океаните, е образния спектрометър със средна разделителна способност (MERIS) на борда на ENVISAT. MERIS предоставяше редовни заснемания до 09.05.2012 г. когато ENVISAT прекрати предаването на данни. Инструмента се състои от 15-канална система, работеща във видимия и близкия инфрачервен диапазон ($\lambda=390\div 1040\text{ }\mu\text{m}$) с $300\div 1200\text{ m}$ (GSD) [9].

б. Настоящи спътникови хиперспектрални мисии

PROBA-1/CHRIS – Компактният инструмент за изображения с висока разделителна способност (CHRIS) е качен на борда на спътника PROBA-1 през 2001 г. CHRIS има 18 спектрални канала в режими на заснемане 2, 3 и 4 и 37 спектрални канала в Режим 5 в диапазона на VNIR ($\lambda = 415\div 1050\text{ nm}$) при 17 m GSD. Инструментът може да бъде програмирани до 63 спектрални канала (CHRIS е напълно програмируем до 150 канала) при около 34 m GSD в Режим 1 (PROBA-1/CHRIS, 2014). Основната цел на спътниковия образен спектрометър CHRIS/Proba е събирането на данни за реконструиране на функцията за разпределение на отражението (BRDF) за по-добро разбиране на спектралните отражателни характеристики на обектите и явленията на земната повърхност, (PROBA instruments, 2014).

Мисията PROBA носи на борда и панхроматична камера с висока пространствена разделителна способност (HRC), миниатюрен телескоп от с размер на отвора 115 mm и фокусно разстояние 2 296 mm, което регистрира изображения с площ 25 km² с 5/8 m GSD. Всяко

номинално CHRIS/Proba изображение формира сцена с квадратен размер (13 km × 13 km) в перигея. Всяко сканиране се извършва при различни ъгли на видимост (-55°, -36°, 0°, 36°, и 55°) [10]. Мисията е вече в разширен режим (работи след планираният край на мисията) и предлага само за регистрирани потребители, от Категория 1 – предимно за научни цели, използващи данни от мисиите на трети страни (TPM), заснемане на нови и архивирани изображения от архива на изображения на ЕКА.

EOS-AM1/MODIS – В рамките на програмата EOS, която предвижда разработването на няколко сателита EOS, предназначени за 15 години работа, инструментът MODIS стартира на борда на сателита EOS-AM1. Той започва работа през февруари 2000 г. Ширината на сцената от MODIS е 2 300 km (GSD), с почти ежедневно заснемане, в 36 спектрални канала в диапазона $\lambda=0.4\div14.4\ \mu\text{m}$. Два канала са с 250 m (VNIR), пет ленти с 500 m, а останалите 1 000 m (GSD) [11]. Планираният край на мисията е в декември 2025 г. [12].

PRISMA – Най-новата PRISMA (PRecursive IperSpettrale of the application mission), разработена от Италианската космическа агенция (ASI), е в експлоатация от 21.03.2019 г. [13]. Данните, подобно на данните от CHRIS/Proba, могат да бъдат заявени за научни цели след направена регистрация и малък проект на <https://prismauserregistration.asi.it/>.

VENμS – Мисията VENμS, за мониторинг на растителността и околна среда на нов микро-сателит [14], е разработена съвместно от CNES и Израелската космическа агенция (ISA). Камерата на борда на спътника, изведен в орбита на 01.08.2017 г., заснема в 12 тесни спектрални канала. Научната цел VENμS е предоставяне на данни за научни изследвания, свързани с мониторинга, анализа и моделирането на земната повърхност, функционираща под влияние на фактори на околната среда, както и човешки дейности [15]. Спътника е в крайната си фаза на експлоатация и ще бъде изведен от орбита през 2022 г.

Международната космическа станция (МКС)/DESI – На борда на Международната космическа станция (МКС) има няколко хиперспектрални инструмента работещи в момента и предоставящи данни за научни цели. Един от тях е DESIS разработен от DLR [16]. Могат да се поръчат три вида продукти от 2018 г. досега, които са ниво 1B (системно и радиометрично коригирани), ниво 1C (геометрично коригирани) и ниво 2A (атмосферно коригирани). Пространствената разделителна способност е около 30 m. DESIS е чувствителен между 400 nm и 1 000 nm с разделителна способност около 3.3 nm. Данните DESIS се доставят в отделни изображения от около 30 × 30 km.

Международната космическа станция (МКС)/HISUI – Hyperspectral Imager Suite (HISUI) е спътникова хиперспектрална система за изображения, разработена от японското Министерство на икономиката, търговията и промишлеността (METI). Това е четвъртата оптична мисия на METI, след оптичния сензор (OPS) на борда японския спътник за изследване на земните ресурси JERS-1 (1992 – 1998), Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) на борда спътника Terra на НАСА, и Advanced Satellite with New system Architecture for Observation 1 (ASARO-1), (2014). През 2015 г. METI решава разгръщането на HISUI на Международната космическа станция (МКС), а не специален орбитален спътник на околополярна слънчево-синхронна орбита. Данните от HISUI се предлагат от ниво 0 (сурови данни) до ниво 2G (атмосферно коригиран продукт - невалидиран). Политиката за данни на HISUI е в процес на разглеждане и насоките за обсъждане са както следва. За сътрудници и коопериращи изследователи, проектът на HISUI ще бъде с приоритет, приоритетно получаване на данните и разпространение за поисканите от тях площи безплатно. За всички останали научни ползватели, проектът на HISUI разпространява архивни данни [17].

WorldView – Не на последно място, важно е да се отбележи появата на някои смесени комерсиални системи, като например WorldView-2, -3, и -4 които носят някои от характеристиките на хиперспектралните системи, като тесни канали, предназначени за специфични приложения, като например канали за оценка на цвета на океанската вода и изследвания на растителния стрес [18, 19]. Изображения – архивни и по заявка – могат да се поръчат от сайта на Махат [20] или някой от техните представители за източна Европа и България.

с. Бъдещи спътникови хиперспектрални мисии

EnMap/HSI – В рамките на Програмата за екологично картографиране и анализ (EnMap) се подготвя инструментът HyperSpectral Imager (HSI). Създаден да регистрира биофизични, биохимични и геохимически променливи на глобално ниво и по този начин да подобри разбирането на биосферните/геосферни процеси [21]. Той е и ново поколение хиперспектрален инструмент, който предлага многогълни заснемания в $\pm 30^\circ$ от надира.

HyspIRI – Мисията на сателита Hyperspectral Infrared Imager (HyspIRI), ще изучава световните екосистеми и ще предоставя важна информация за природни бедствия като вулкани, горски пожари и суша, т.е. подобно на това, което изследва EO-1/Hyperion в неговата разширена мисия. Спектрометърът ще заснема изображения в спектралния диапазон $\lambda=380\div2\ 500\ \text{nm}$ в

10 nm тесни съседни канали заедно с мултиспектрално изображение, който заснема от 3 до 12 μm в средната и топлинната-инфрачервена (ТИР) област на спектъра [22].

CHIME – Хиперспектралната мисия на програма "Коперник" (CHIME, или още познат като Sentinel-10) ще носи на борда си уникален инфрачервен спектрометър, който ще осигури оперативни хиперспектрални наблюдения в подкрепа на нови и подобрени услуги за устойчиво управление на селското стопанство и биологичното разнообразие, както и характеризиране на поземлените имоти. Мисията ще допълни "Сентинел-2" за приложения като картографиране на земната покривка след извеждането и в орбита през 2029 г. [23]. Мисията е част от плановите за разширяване на програма „Коперник“ с допълващи мисии към семейството на Sentinel [24].

EMIT – EMIT (Earth Surface Mineral Dust Source Investigation) е прикрепен към МКС, (EVI4) мисия за определяне на минералния състав на природни обекти, които произвеждат прахови аерозоли по целия свят [25]. Мисията ще картографира повърхностната минералогия на регионите с източници на сух прах чрез образна спектроскопия във видимата и къса инфрачервена област на спектъра (VSWIR). Картите на регионите източници на прах ще бъдат използвани за подобряване на прогнозите за ролята на минералния прах в радиационния баланс (затопляне или охлаждане) на атмосферата. Чрез измерване в детайли кои минерали съставят праха, EMIT ще помогне да се отговори на важния въпрос дали конкретния вид аерозол затопля или охлажда атмосферата. Хиперспектралният инструмент EMIT ще измерва различните дължини на вълните на светлината, излъчвана от минералите на повърхността на пустини и други източници на прах, за да се определи техният състав. Сензорът EMIT се основава отчасти на Лунния инструмент на НАСА "Moon Mineralogy Mapper" на борда на спътника Chandrayaan-1 на Индийската организация за космически изследвания. EMIT ще бъде транспортиран с товарен кораб до Международната космическа станция (МКС) през 2022 г.

Satellologic-NuSat – Една от оперативните съвременни хиперспектрални мисии с развитие в близко бъдеще е аргентинската Satellologic-NuSat EO (Earth Observation) Microsatellite Constellation (<https://satellologic.com>). Камерата на борда на микро-сателитните платформи, изведени през 10.2020 г. в орбита, могат да заснемат до от 29 (под-метрова разделителна способност) до 600 спектрални канала с ширина до 5 nm с 30 m GSD, в спектралната област $\lambda = 400\text{--}900\text{ nm}$ [26].

Използвани хиперспектрални данни в земеделието

а. Вегетационни индекси (ВИ)

Хиперспектрални вегетационни индекси са използвани в редица изследвания в земеделието, от които за разпознаването на ябълкова краста по овощни дървета [28], за оценка на относителната вариация на добива от хиперспектрални изображения [29], за определяне на добива от посев от ориз [30] или добива на селекционните експерименти на зимна пшеница [31], [32].

б. Определяне на фенологични етапи и класификация

Хиперспектрални данни са в състояние да предскажат фенологичните етапи, по скалата ВВСН, на ечемика [33] и на зимна пшеница [34]. В процеса на фенологично развитие на растенията редица от техните биохимично-биофизични показатели се променят и те могат да бъдат подробно записани с помощта на хиперспектрална технология за дистанционно наблюдение.

Хиперспектралните данни могат да се използва за навременна и точна оценка на физико-химичните свойства на посеви от ориз; обаче несъответствията, свързани с видимата почвата и водата, усложняват оценката на състоянието на азотния статус на културата, използвайки спектрално отражение на посева [35].

Хиперспектралните данни с дължини на вълните в SWIR1 и SWIR2 във връзка с тези от VIS и NIR могат да осигурят диференциация между фенологии на различни посеви и посев спрямо плевел [36].

Хиперспектралните данни и PLS-DA (partial least squares-discriminant analysis) са ефективни при различаването на сортовете царевица [37]. Значимите дължини на вълната са разположени в синьо (400 и 455 nm), зелено (545 nm), червено и червено (625, 680, 705 и 720 nm) и близко инфрачервено (765, 840 и 895 nm) обхвати на спектъра. Цъфтежът и настъпването на стареенето са определени като най-добрите фенологични етапи за точна сортова дискриминация на царевицата.

Хиперспектрална отражателна способност на ниво лист може да разграничи соевите генотипове [38]. Анализът на основните компоненти (Principal component analysis), приложен като индикатор за дисперсия на отражателните спектри сред генотипите, обяснява над 94% от спектралната дисперсия в първите три основни компонента. Линейният дискриминантен анализ (Linear discriminant analysis), използван за получаване на модел на класификация на всеки

спектр на отражение на соевите листа във всеки соев генотип, постигна точност между 61% и 100% в етапа на калибриране и между 50% и 100% в етапа на валидиране. Погрешна класификация се наблюдава само между генотипове от същия генетичен произход.

Хиперспектралните данни се използват успешно за проследяване на инвазивни видове растения [39, 40] или за класифициране на различните растителни видове [41, 42]. От изследователски интерес е проучването на възможността за използването на хиперспектрални данни със свръхвисока разделителна способност за разграничаване на растения, които не са от вида засят в парцелката.

с. Алгоритми за машинно обучение (ML)

Добива от посеви засети с картофи е определен с $r^2 = 0.81$ използвайки Partial Least Squares регресионен модел и пълния набор от спектрална информация получена от хиперспектрална камера монтирана на БЛА [43].

Три често срещани алгоритми за машинно обучение (ML): многослоен персептрон (MLP), поддържаща векторна машина (SVM) и произволна гора (RF) са използвани за прогнозиране на добива на посеви от соя (Glycine max), използвайки хиперспектрални данни [44].

Техники за спектрално демиксиране на хиперспектрални данни могат да се използват за картографиране на вариацията в добива на посеви [45], [46].

Използването на данните от всички хиперспектрални канали повишава точността на прогнозиране спрямо използването само на ВИ. Моделите Splines и Fourier имат най-добрата точност на прогнозиране на добива от селекционни опити със зимна пшеница [47].

Заклучения и препоръки

Хиперспектрални спътникови данни, подобно на всички данни от спътникови дистанционни изследвания, трябва да се калибрират и валидират преди прякото им използване в практиката. Този процес е регулиран на международно ниво от групата по калибрация и валидация към Комитета по спътниците за наблюдение на Земята [48]. Проектът VALERI [49], който има за цел да валидира продукти, получени от сателитни сензори със средна пространствена разделителна способност, описва подробно методология за синхронизиране на спътникови данни с данни от наземни изследвания. Източник на много информация са инициативите “Метрология за наблюдение на Земята и климат – METEOC” [50], и “ESA SPectra bARrax Campaign (SPARC)” от 2003-2004 [51].

Въпреки широката международна мрежа предоставяща данни за различни видове земна повърхност за територията на България е необходима допълнителна калибрация и валидация за различните повърхности и по-специално растителни видове и почвени типове. Основен проблем при събирането на наземна хиперспектрална информация са ефектите на поглъщане породени от различни газове и прахови съставки в атмосферата, но най-вече съдържанието на водни пари, които правят значителни части от спектъра неизползваеми. За тази цел се използва инверсно моделиране на спектъра на основата на физико-математически модели на атмосферата или на отражателните характеристики на ниво листо, или корона. След продължително и консистентно събиране (достатъчен набор от полеви хиперспектрални данни) на наземна спектрометрична информация може да се използват данните с достатъчна достоверност и да се снижи процента грешка при интерпретацията на спектралните отражателни характеристики. Не малък проблем при обработката и синхронизирането на данните е различията в наземния и спътниковия сензор – по-специално ширината на спектралните канали – която не винаги съвпада поради различните инженерни решения на различните сензори изведени в орбита. Това налага често да се използват самолетни аналози на тези сензори, които са честа практика в страните от Западна Европа, САЩ и Канада. Именно на тези самолетни аналози до голяма степен се калибрират инструментите преди извеждането им в орбита и след извеждане в орбита. Полевите спектрометрични кампании със спектрометри са задължителни в случай, че самолетни такива не могат да бъдат организирани.

Комбинирането на полеви, самолетни или спътникови хиперспектрални данни с други наземни данни за целите на растителната феномика става едва след първоначалното калибриране и валидиране на първите. При удостоверяване на спектралните отражателни характеристики за всеки канал, стабилността на сигнала, както и корекционните коефициенти за конвертиране на цифровите стойности в отражателни характеристики – което понякога отнема години – данните от хиперспектралните мисии могат да се използват уверено, при условие че се прави проверка за тяхната достоверност периодически.

За да се определят параметрите на посева се използват качествени и количествени методи [52]. Качествените използват класификация с правила за определяне на всеки пиксел в съответен клас. Количествените се разделят на три големи групи: емпирични [52], физични [53],

[54] или хибридни [55]. Емпиричните, от своя страна, се разделят на две подгрупи: тези, които използват параметрични функции с една променлива, която е обикновено вегетационен индекс (ВИ), и непараметрични алгоритми, които използват цялата налична спектрална информация. В България добри резултати дават непараметричните алгоритми за определяне на параметри на посеви от зимна пшеница и рапица [56–58].

Особено внимание за синхронизиране на хиперспектрални спътникови данни с данни от наземни изследвания трябва да се даде на избора на тестови полета и методологията на изследване.

а. Избор на тестови полета

Избраните тестови полета (ТП) трябва да отговарят на редица критерии, за да позволят точното валидиране на биофизичните параметри от наземните измервания.

- Размер на ТП. То трябва да бъде съобразено с пространствената разделителна способност на сензора, който се изучава.
- Хомогенност. Наземните измервания се правят на елементарни площадки (ЕП). ЕП трябва да бъде относително хомогенна, т.е. стойността на биофизичния параметър, както и съответните радиометрични стойности, могат да се променят само незначително, когато се измести позицията от площта на ЕП към площта на един пиксел от сензора, който се изучава.
- Топография. ТП трябва да се намира в относително равна местност, за да се опрости интерпретацията както на наземните измервания, така и на сателитните данни.
- Тип култура. Изборът на ТП е направен така, че позволява да се вземат проби от променливостта на изучаваната култура и условията, срещани в България, или един район от страната, за съответната култура.
- Местоположение на ТП спрямо полосата на спътника. Може да се избере място, което попада на застъпващи се полоси на изучавания спътник. По този начин се увеличава времевата разделителна способност почти два пъти.

б. Методология

При разработване на методологията за синхронизиране на хиперспектрални спътникови данни с данни от наземни изследвания трябва да се вземат предвид следните стратегии:

- Стратегия за пробовземане.
 - Трябва да се определи размера на ЕП в съответствие с пространствената разделителна способност на сензора, който се валидира.
 - Броят на ЕП и тяхното оптимално местоположение е важен избор, за да се получи добро представяне на променливостта на изучаваната култура и на условията.
 - Геореферирането на ЕП трябва да се направи с GPS с голяма точност, съобразена с размера на ЕП и пространствената разделителна способност на изучавания сензор.
- Измервания на биофизичните параметри в ЕП.
 - Описва се подробно методът на измерване, който обикновено е локален, и свързаната с него стратегия за пространствено вземане на проби в рамките на ЕП.
 - Спазват се изискванията за метеорологична обстановка на съответния наземен уред и правилната му калибровка спрямо тези условия.
 - Датите на наземните измервания трябва да са възможно синхронизирани с датите на преминаването на изучавания спътник.
 - Може да се направи избор между точкови измервания и непрекъснати измервания, когато уреда го позволява.
 - При повече от един измерван параметър, трябва да се определи последователността на измерванията в зависимост от тяхната продължителност и изисквания към метеорологична обстановка.
- Мащабиране (scaling-up) от пробовземането, през мащаба на ЕП, до размера на пиксела на сензора, който се изучава. Трябва да се изготви стратегия и обработка за описаното мащабиране.
- Избор на първоначална обработка на измерените наземни данни, между които изследване за наличие на нехарактерни стойности, осредняване, различия в повторенията и т.н.
- Избор на алгоритъм за определяне на изучаваните параметри.

Благодарности

Настоящото изследване е резултат от задача 1: Изследване на възможностите за синхронизиране на хиперспектралните данни (спътникови и аеро) с наземните изследвания за

мониторинг на еко биологичния статус (контрол на основните химико-физични параметри на почвата) на различни култури по Национална научна програма „Интелигентно Растениевъдство“, финансирана от МОН, одобрена с решение на МС № 866/26.11.2020 г. Компонент 2. Диагностика и прогноза чрез изкуствен интелект. РП 2.2. „Използване на данни от наблюдения на земята (RST-ТТО)“.

Литература:

1. Filchev, L. Hyperspectral Satellite Earth Observation Missions - A Review, *Aerosp. Res. Bulg.*, vol. 26, pp. 191–206, 2014.
2. Van Der Meer F. and S. M. de Jong, *Imaging Spectrometry: Basic Principles and Prospective Applications*, Springer, 2006.
3. EO portal. [Online]. Available: <https://eoportal.org/web/eoportal/fedeo#>. [Accessed: 29-Jun-2021].
4. Papendick R. I. and J. F. Parr, Soil Quality—The Key to a Sustainable Agriculture., *Am. J. Altern. Agric.*, vol. 7, no. 1/2, pp. 2–3, 1992.
5. Beck, R. EO-1 User Guide, 2003.
6. EO-1, Enhanced Formation Flying (EFF). [Online]. Available: <http://eo1.gsfc.nasa.gov/new/Technology/FormFly.html>. [Accessed: 10-Jun-2021].
7. Earth Observing 1 (EO-1) Sensors. [Online]. Available: <http://eo1.usgs.gov/sensors>. [Accessed: 10-Jun-2021].
8. Earth Observing 1 (EO-1), USGS, EROS Data Center. [Online]. Available: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/earth-observing-1-eo-1?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects. [Accessed: 10-Jun-2021].
9. MERIS instrument. [Online]. Available: <https://earth.esa.int/eogateway/instruments/meris>. [Accessed: 10-Jun-2021].
10. PROBA, Instruments. [Online]. Available: <https://earth.esa.int/eogateway/instruments/chris?text=chris+proba>. [Accessed: 10-Jun-2021].
11. Kramer, H. *Observation of the Earth and its Environment*, 4th edition. Springer Verlag, 2002.
12. Upcoming Terra Constellation Exit, MODIS, NASA. [Online]. Available: https://modis.gsfc.nasa.gov/news/individual.php?news_id=100378. [Accessed: 10-Jun-2021].
13. Prisma mission. [Online]. Available: <http://prisma-i.it/index.php/en/>. [Accessed: 10-Jun-2021].
14. Venus mission. [Online]. Available: <https://venus.cnes.fr/en/VENUS/index.htm>. [Accessed: 10-Jun-2021].
15. France-Israel space cooperation. Upcoming launch of the french-israeli Venus satellite CNES and ISA leading the way on climate action electric propulsion. [Online]. Available: <https://presse.cnes.fr/en/france-israel-space-cooperation-upcoming-launch-french-israeli-venus-satellite-cnes-and-isa-leading>. [Accessed: 24-Jun-2021].
16. DESIS instrument. [Online]. Available: <https://www.dlr.de/eoc/en/desktopdefault.aspx/tabid-13614/>. [Accessed: 10-Jun-2021].
17. HISUI: Hyper-spectral Imager SUite. Jspacecsystems. [Online]. Available: https://ssl.jspacesystems.or.jp/en_project_hisui/?doing_wp_cron=1625031349.7019279003143310546875. [Accessed: 10-Jun-2021].
18. WorldView-2. [Online]. Available: <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/v-w-x-y-z/worldview-2>. [Accessed: 24-Jun-2021].
19. WorldView-3. [Online]. Available: <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/v-w-x-y-z/worldview-3>. [Accessed: 24-Jun-2021].
20. Maxar. [Online]. Available: <https://www.maxar.com/constellation>; <https://discover.digitalglobe.com/>. [Accessed: 24-Jun-2021].
21. EnMap. [Online]. Available: <http://www.enmap.org/>. [Accessed: 24-Jun-2021].
22. HypSIRI Homepage. [Online]. Available: <http://hyspiri.jpl.nasa.gov/>. [Accessed: 24-Jun-2021].
23. CHIME. [Online]. Available: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/11/CHIME. [Accessed: 24-Jun-2021].
24. Copernicus expansion missions, ESA. [Online]. Available: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Copernicus_expansion_missions. [Accessed: 24-Jun-2021].
25. Earth Surface Mineral Dust Source Investigation (EVI-4) (EMIT on ISS). EOS, NASA. [Online]. Available: <https://eospsa.nasa.gov/missions/earth-surface-mineral-dust-source-investigation-evi-4>. [Accessed: 24-Jun-2021].
26. Satellogic-NuSat EO (Earth Observation) Microsatellite Constellation, eoPortal Directory. [Online]. Available: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/satellog-1>. [Accessed: 24-Jun-2021].
27. Ward, S. *The Earth Observation Handbook*, ESA, SP-1325. CEOS, 2012.
28. Delalieux, S. B. Somers, W. W. Verstraeten, J. A. N. van Aardt, W. Keulemans, and P. Coppin, Hyperspectral indices to diagnose leaf biotic stress of apple plants, considering leaf phenology, *Int. J. Remote Sens.*, vol. 30, no. 8, pp. 1887–1912, Apr. 2009.
29. Yang, C. and J. H. Everitt, Using spectral distance, spectral angle and plant abundance derived from hyperspectral imagery to characterize crop yield variation, *Precis. Agric.*, vol. 13, no. 1, pp. 62–75, Feb. 2012.
30. Wang, F., F. Wang, Y. Zhang, J. Hu, J. Huang, and J. Xie, Rice Yield Estimation Using Parcel-Level Relative Spectral Variables From UAV-Based Hyperspectral Imagery, *Front. Plant Sci.*, vol. 10, Apr. 2019.

31. Gonzalez-Dugo, V., P. Hernandez, I. Solis, and P. Zarco-Tejada, Using High-Resolution Hyperspectral and Thermal Airborne Imagery to Assess Physiological Condition in the Context of Wheat Phenotyping, *Remote Sens.*, vol. 7, no. 10, pp. 13586–13605, Oct. 2015.
32. Zhang, X. et al., Establishment of Plot-Yield Prediction Models in Soybean Breeding Programs Using UAV-Based Hyperspectral Remote Sensing, *Remote Sens.*, vol. 11, no. 23, p. 2752, Nov. 2019.
33. Lausch, A., C. Salbach, A. Schmidt, D. Doktor, I. Merbach, and M. Pause, Deriving phenology of barley with imaging hyperspectral remote sensing, *Ecol. Modell.*, vol. 295, pp. 123–135, Jan. 2015.
34. Zhang, Z. Y. Lou, O. Moses. A, R. Li, L. Ma, and J. Li, Hyperspectral remote sensing to quantify the flowering phenology of winter wheat, *Spectrosc. Lett.*, vol. 52, no. 7, pp. 389–397, Aug. 2019.
35. Din, M. et al., Estimation of Dynamic Canopy Variables Using Hyperspectral Derived Vegetation Indices Under Varying N Rates at Diverse Phenological Stages of Rice, *Front. Plant Sci.*, vol. 9, Jan. 2019.
36. Basinger, N. T. K. M. Jennings, E. L. Hestir, D. W. Monks, D. L. Jordan, and W. J. Everman, Phenology affects differentiation of crop and weed species using hyperspectral remote sensing, *Weed Technol.*, vol. 34, no. 6, pp. 897–908, Dec. 2020.
37. Chivasa, W. O. Mutanga, and C. Biradar, Phenology-based discrimination of maize (*Zea mays* L.) varieties using multitemporal hyperspectral data, *J. Appl. Remote Sens.*, vol. 13, no. 01, p. 1, Mar. 2019.
38. Crusiol, L. G. T. et al., Classification of Soybean Genotypes Assessed Under Different Water Availability and at Different Phenological Stages Using Leaf-Based Hyperspectral Reflectance, *Remote Sens.*, vol. 13, no. 2, p. 172, Jan. 2021.
39. He, K. S., D. Rocchini, M. Neteler, and H. Nagendra, Benefits of hyperspectral remote sensing for tracking plant invasions, *Divers. Distrib.*, vol. 17, no. 3, pp. 381–392, May 2011.
40. Somers, B. and G. P. Asner, Multi-temporal hyperspectral mixture analysis and feature selection for invasive species mapping in rainforests, *Remote Sens. Environ.*, vol. 136, pp. 14–27, Sep. 2013.
41. Meerdink, S. K., D. A. Roberts, K. L. Roth, J. Y. King, P. D. Gader, and A. Koltunov, Classifying California plant species temporally using airborne hyperspectral imagery, *Remote Sens. Environ.*, vol. 232, p. 111308, Oct. 2019.
42. Wilson, J., C. Zhang, and J. Kovacs, Separating Crop Species in Northeastern Ontario Using Hyperspectral Data, *Remote Sens.*, vol. 6, no. 2, pp. 925–945, Jan. 2014.
43. Li, B. et al., 'Above-ground biomass estimation and yield prediction in potato by using UAV-based RGB and hyperspectral imaging', *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 162, pp. 161–172, Apr. 2020.
44. Yoosefzadeh-Najafabadi, M., H. J. Earl, D. Tulpan, J. Sulik, and M. Eskandari, Application of Machine Learning Algorithms in Plant Breeding: Predicting Yield From Hyperspectral Reflectance in Soybean, *Front. Plant Sci.*, vol. 11, Jan. 2021.
45. Yang, C., J. H. Everitt, and J. M. Bradford, Airborne hyperspectral imagery and linear spectral unmixing for mapping variation in crop yield, *Precis. Agric.*, vol. 8, no. 6, pp. 279–296, Dec. 2007.
46. Luo, B., C. Yang, J. Chanussot, and L. Zhang, Crop Yield Estimation Based on Unsupervised Linear Unmixing of Multidate Hyperspectral Imagery, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 51, no. 1, pp. 162–173, Jan. 2013.
47. Montesinos-López, O. A. et al., 'Predicting grain yield using canopy hyperspectral reflectance in wheat breeding data', *Plant Methods*, vol. 13, no. 1, p. 4, Dec. 2017.
48. Комитета по спътниците за наблюдение на Земята. [Online]. Available: <http://calvalportal.ceos.org/>. [Accessed: 29-Jun-2021].
49. S. G. Frédéric Baret, Marie Weiss, Denis Allard et al., 'VALERI : a network of sites and a methodology for the validation of medium spatial resolution land satellite products', *Remote Sens. Environ.*, vol. 76, no. 3, 2000.
50. Метрология за наблюдение на Земята и климат. [Online]. Available: <http://www.meteoc.org/>. [Accessed: 29-Jun-2021].
51. ESA SPectra bARrax Campaign (SPARC). [Online]. Available: <https://earth.esa.int/eogateway/campaigns/sparc>. [Accessed: 29-Jun-2021].
52. Homolová, L., Z. Malenovsky, J. G. P. W. Clevers, G. García-Santos, and M. E. Schaepman, Review of optical-based remote sensing for plant trait mapping, *Ecol. Complex.*, vol. 15, pp. 1–16, 2013.
53. Hatfield, J. L., A. A. Gitelson, J. S. Schepers, and C. L. Walthall, Application of spectral remote sensing for agronomic decisions, *Agron. J.*, vol. 100, no. 3 SUPPL., 2008.
54. Baret, F. and S. Buis, Estimating Canopy Characteristics from Remote Sensing Observations: Review of Methods and Associated Problems, in: *Advances in Land Remote Sensing: System, Modeling, Inversion and Application*, 2008, pp. 173–201.
55. Verrelst, J. et al., Optical remote sensing and the retrieval of terrestrial vegetation bio-geophysical properties - A review', *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 108, pp. 273–290, 2015.
56. Ganeva, D., E. Roumenina, G. Jeleu, M. Banov, V. Krasteva, and V. Kolchakov, Applicability of parametric and nonparametric regression models for retrieval of crop canopy parameters for winter rapeseed and wheat crops using Sentinel-2 multispectral data', in: *Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2019)*, 2019, no. June, p. 44.
57. Ganeva, D. and E. Roumenina, Remote estimation of crop canopy parameters by statistical regression algorithms for winter rapeseed using Sentinel-2 multispectral images, *Aerosp. Res. Bulg.*, vol. 30, pp. 75–95, 2018.
58. Ganeva, D. Semiautomatic retrieval of biomass based on Vegetation Index optimization and learning machine methods for winter rapeseed crops, in: *SES 2018 - Fourteenth International Scientific Conference - SPACE, ECOLOGY, SAFETY*, 2018, no. November 2018, pp. 299–305.

ДОБРИ ПРАКТИКИ И ПРЕПОРЪКИ ЗА ОПЕРАТИВНИТЕ УСЛУГИ „КОПЕРНИК“ НА ЕС ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ЗЕМЯТА ОТ КОСМОСА, С ЦЕЛ ИНТЕГРИРАНЕТО ИМ В БЪЛГАРСКОТО РАСТЕНИЕВЪДСТВО

Десислава Ганева, Лъчезар Филчев, Златомир Димитров

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: dganeva@space.bas.bg; lachezarhf@space.bas.bg; zlatomir.dimitrov@space.bas.bg*

Ключови думи: данни и услуги на програма „Коперник“, растениевъдство, наблюдение на Земята

Резюме: Разгледани са сайтовете и услугите предоставящи данните: 1) Copernicus hub; 2) RUS; 3) DIAS. Предложени са добри практики и препоръки за използването им в българското растениевъдство. Също така са разгледани услугите на програма „Коперник“ започвайки с Atmosphere (CAMS); Land (CLMS) – (глобален, паневропейски, и локален компонент); Глобален компонент; Общоевропейски компонент; Местен компонент; Климатични промени - Climate Change (C3S); бедствия и аварии - Emergency (EMS) – и по-специално наводнения, суша. След всяка услуга са изведени предложения и препоръки/добри практики.

GOOD PRACTICES AND RECOMMENDATIONS FOR EU EU OPERATIONAL SERVICES OF "COPERNICUS" OF EU FOR MONITORING THE EARTH FROM SPACE, WITH THE PURPOSE OF THEIR INTEGRATION IN BULGARIAN PLANT PRODUCTION

Desislava Ganeva, Lachezar Filchev, Zlatomir Dimitrov

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: dganeva@space.bas.bg; lachezarhf@space.bas.bg; zlatomir.dimitrov@space.bas.bg*

Keywords: Data and products programme “Copernicus”, plant production, Earth Observation

Abstract: The sites and services providing the data has been considered: 1) Copernicus hub; 2) RUS; 3) DIAS. Good practices and recommendations are suggested for their use in Bulgarian crop production. In addition, Copernicus services are also discussed, starting with Atmosphere (CAMS); Land (CLMS) - (global, pan-European, and local component); Global component; Pan-European component; Local component; Climate Change (C3S); disasters and accidents - Emergency (EMS) - and in particular floods, droughts. After each service, suggestions and recommendations / good practices are derived.

Въведение

Програмата "Коперник" е програма за наблюдение на Земята, реализирана от Европейския съюз като продължение на програмата за глобален мониторинг на околната среда и сигурността (ГМОСС), ръководена от Европейската комисия (ЕК). Тя се основава на специални мисии и допринасящи спътници, както и на in situ наблюдения. Семейството Sentinel на ESA от специални спътници ще наброява почти 20 спътника до 2030 г. Реализацията на програмата започна през 2014 г. със стартирането на спътника Sentinel-1A и в момента осем спътника са в орбита. Текущото състояние на предоставянето на данни от услугите на "Коперник" е напълно регистрирано на уебсайта на ЕКА в "Коперник" [1]. Благодарение на постоянното заснемане на земната и акваториална повърхност, данните от Sentinel се архивират в архив на ЕКА. Някои от данните се архивират в USGS, Google и Amazon cloud услуги. За Югоизточна Европа има комплексен наземен сегмент със Сентинел архивни данни,

намиращи се в Националната обсерватория на Атина (NOA), Гърция [2]. Огледалото се захранва от инфраструктурата на EU GEANT.

Настоящия доклад има за цел на базата на литературен обзор да формулира и даде препоръки (добри практики) за оперативни услуги на програма „Коперник“ на ЕС за наблюдение на Земята от космоса, с цел интегрирането им в българското растениевъдство. Структурата на настоящия доклад може да бъде поделена на три части:

В първата част се разглеждат различни типове спътникови данни разпространявани от програма „Коперник“: 1) Радарни данни и файлови формати (Sentinel-1); 2) Оптични данни и файлови формати (Sentinel-2, -3); 3) Допринасящи мисии към програма „Коперник“. След всяка част следва част с предложения и препоръки.

Във втората част от доклада се разглеждат сайтовете и услугите предоставящи данните: 1) Copernicus hub; 2) RUS; 3) DIAS следвани от предложения, добри практики и препоръки за използването им в българското растениевъдство.

В третата част са разгледани услугите на програма „Коперник“ започвайки с Atmosphere (CAMS); Land (CLMS) – (глобален, паневропейски, и локален компонент); Глобален компонент; Общоевропейски компонент; Местен компонент; Климатични промени - Climate Change (C3S); бедствия и аварии - Emergency (EMS) – и по-специално наводнения, суша. След всяка услуга са изведени предложения и препоръки/добри практики.

Материали и методи

Радарни данни и файлови формати (Sentinel-1)

Методите базирани на радари със синтезирана апертура (SAR) са активни методи, използващи микровълново кохерентно лъчение с фиксирана дължина на вълната, с възможност за отчитане на поляризацията на обратно разсеяния сигнал [4]. По линия на Европейската програма – „Коперник“, се предлага свободен достъп до сателитна система - Sentinel-1, която предоставя радиолокационни снимки с работна честота 5.5 GHz, в микровълнов канал „С“. Освен това, системата отчита състоянието на поляризация на обратно разсеяния сигнал, в поляризационни канали – VH и VV. Периодът на повторно заснемане (времева разделителна способност) след Октомври 2016-та година е от 6 дни [5]. За целите на изследване на селскостопански култури чрез радарни методи, спътниковата система Sentinel-1 предоставя отлични възможности за проследяване фенологичния статус на земеделските култури, както и техния био-физичен статус [6]. Данните от радарните заснемания от Sentinel-1 се предоставят в структурирани каталози съгласно SENTINEL-SAFE format, включвайки разнородна информация от метаданни, както и за калибрирането на измерването [7]. Радарните изображения са поместени в 32-битов GeoTIFF, по един за всяка поляризация. Въпреки приложената ZIP-компресия на каталога, размерът му варира в зависимост от нивото на обработка на предоставяните данни в различни типове продукти. Основно, това са два типа:

- Slant Range Complex (SLC) – в геометрия на радара, като чрез комплексни числа е изразен вектора на обратно разсейване, с неговите характеристики – фаза и амплитуда. Тук Пространствената разделителна способност (ПРС) по обхват (range) и азимут (azimuth) е съответно – 5m и 10m, или сумарно максимална ПРС възлиза на ~ 10m.
- Ground Range Detected (GRD) – където вектора на обратно разсейване е проектиран чрез ъгъла на падане, съответно информацията за неговата фаза липсва и се предоставят само амплитудите. Тук, ПРС е фиксирана точно на 10m и в двете посоки на радарното изображение.

Размерът на SLC-продуктите е ~ 4 GB, докато GRD-продуктите имат обем от ~ 1GB. Обикновен потребител може да отвори и обработва продуктите от Sentinel-1 в разработвания и дистрибутиран от ЕКА за това софтуер – SNAP, където текущата му версия е 7.0.

Препоръки: Приложението в прецизното земеделие широко приложение намират различни поляриметрични дескриптори, базирани на ко-поляризираните (VV) и кръстно-поляризираните е.м. сигнали (VH), които могат да се изчислят от радарните изображения от системата Sentinel-1 [8]. От друга страна, могат да бъдат прилагани методи базирани на времева серия от данни, използвайки GRD-продуктите [9]. Може да се каже, че всякакъв вид продукт разработван на базата на радарни заснемания от Sentinel-1 предоставяни по програма „Коперник“, за целите на изследване на земеделски култури, се основава на – поляриметричните заснемания във VH и VV, ползвайки едно от двете нива на обработка на данните, а именно – SLC, или GRD. Тук

изходната ПРС в зависимост от продукта може да варира от 10m до 50m, в зависимост от степента на обработка на радарното изображение и нужната степен на филтриране на характеристикният шум в измерването.

Добри практики: В следната таблица са дадени примери за добри практики, които могат да бъдат приложени в изследването на селскостопански култури, и/или в прецизното земеделие. Достъпът до продуктите се осъществява през уеб-портала за данни по програма Коперник - Copernicus Open-Access Hub, (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). Един такъв пример за добра практика е приложението на Радарния индекс на растителността в двойна поляризация (Dual-pol Radar Vegetation Index) в мониторинга на растежа на различни видове селскостопански култури [10]. Друг пример за добра практика е, както бе споменато по-горе използването на времева серия от радарни изображения за проследяването на фенологичния статус на различни видове земеделски култури [11]. От друга страна, в подобен пример е използвана комбинация между радарни и оптични изображения от спътникови данни по програма „Коперник“, именно от Sentinel-1 и Sentinel-2. Тук, методът базиран на радарните данни се основава на отношението на радарната отражаемост – backscatter ratio VV/VH [12].

Таблица 1. Видове продукти получени от радарни данни от спътникови данни (Sentinel-1), предоставяни от хъб за данни на програма «Коперник»

Вид продукт	Методи базирани на този продукт - „добри практики“	Приложим към изследване на - вид култура:	ПРС в [m]
IW-GRD	<ul style="list-style-type: none"> - Времева серия - Polarization ratio - Dual-pol RVI. 	<ul style="list-style-type: none"> - Земеделски култури – полски - Зеленчукови градини - Мониторинг на култури 	10
IW-SLC	<ul style="list-style-type: none"> - Поляриметрични дескриптори – от където да се изчислят и: dual-pol Shannon Entropy, Entropy, polarization ratio, dual-pol RVI, други. - Dual-pol POL-SAR поляриметрични декомпозиции 	<ul style="list-style-type: none"> - Овощки и дървесни - Зеленчукови градини - Земеделски култури - Проследяване на фенология на земеделски култури 	20

Оптични данни и файлови формати (Sentinel-2, -3)

Продуктите на изображенията от Sentinel-2, се разпространяват на четири нива на обработка: ниво 0 - необработени компресирани данни (ограничени до целите на вътрешното калибриране); Ниво-1A - некомпресирани данни (ограничени до вътрешни цели на калибриране); Ниво-1B - първи публичен продукт: включва радиометрични корекции (тъмен сигнал, нееднородност на пикселите, кростолк, дефектни пиксели, възстановяване и бининг за 60m канали); и усъвършенстван физически геометричен модел, приложен към продукта, но не приложен; Ниво-1C - осигурява орторектифицирани отражателни характеристики с под-пикселна многоспектрална и многодневно регистрация; към продукта се свързва маска за облаци и земя/вода. Маската за облаци също така предоставя индикация за цируси (висока переста облачност). Всяка плочка/ гранула е ~ 600 MB по размер; Ниво-2A - осигурява отражение на долната част на атмосферата в картографска геометрия. Всяка плочка / гранула е ~ 800 MB по размер.

Допринасящи мисии към програма „Коперник“

Съществуват около 30 допринасящи мисии към програма "Коперник". Те попадат в следните категории: 1) радар със синтезирана апертура (SAR) да наблюдава ден и нощ земята и океана; 2) Оптични сензори за наблюдение на наземните дейности и динамиката на океана; 3) Системи за алтеметизъм за измерване на морското равнище; 4) радиометри за наблюдение на температурата на сушата и океаните; 5) Спектрометри за измерване на качеството на въздуха [13]. Пълният списък на настоящите мисии, допринасящи за "Коперник", е предоставен на уебсайта на Европейската космическа агенция - ЕКА [14].

Понастоящем повечето от данните за допринасящите мисии по програмата "Коперник" се разпространяват чрез уебсайта на мисията на третата страна на ESA, който съдържа архив със сателитни данни със следните мисии: ALOS, Gosat (GOSAT CAI, GOSAT FTS), IKONOS,

JERS-1 (JERS-1 SAR 1 Прецизно изображение, JERS-1 OPS Very Near Infrared Radiometer, JERS-1 SAR ниво 1 Single Look Complex Image), Kompsat-2, Landsat (Landsat 5, Landsat 7, Landsat 5/7 Cloud Free, Landsat 8 NRT данни), OCEANSAT-2 (OCEANSAT-2 NRT), Pleiades, PROBA-1 (PROBA-1 CHRIS и HRC), RapidEye (RapidEye динамични редове за Сентинел-2), SEASAT, SPOT (Spot 1-5; Spot 6-7), WORLDVIEW-2 и Специални колекции (Image 2006 и Тропфорест данни) [15]. Всички набори от данни от основни услуги на "Коперник" и мисиите са достъпни от самостоятелния софтуер на ESA EOLI-SA като упълномощен ползвател по програмата "Коперник" [16].

Препоръки: За приложения в прецизното земеделие препоръчителни са мисиите с пространствена разделителна способност по-висока от 300 m и тези, които са все още оперативни. Списък на тези мисии е даден в Таблица 2.

Таблица 1. Списък на действащи към юни 2021, допринасящи мисии към програмата "Коперник" с по-висока пространствена разделителна способност от 300 m

Наименование	Данни от	Пространствена разделителна способност (m)
Proba-1 CHRIS	2002	18
Pleiades	2011	0.5 - 2
SPOT-6/7	2012	1.5 - 6
Landsat 8 OLI-TIRS European Coverage	2013	30
Planet Lab/SkySat	2013	0.5 - 5
DigitalGlobe	2007	0.25 -1.84
TerraSAR-X (2008, 1m-16m)	2008	1 - 16
COSMO-SkyMed	2007	1 - 100

Достъп до данни от програма Коперник

Copernicus Sci-hub

Достъпът до данни и услуги по програма „Коперник“, базирани на спътникова информация от сателитни платформи от фамилията Sentinel, е отворен за регистрирани потребители, чрез уеб-базирани платформи и програмни приложения (API). Платформата *Copernicus Open Access Hub* на Европейската Космическа Агенция (ЕКА), предоставя точно такъв уеб-базиран онлайн каталог за достъп до спътникова информация придобивана от сателитните системи – Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 и Sentinel-5 [17]. Последните три сателитни системи не са приложими за изследване на селскостопански култури чрез дистанционни методи и следователно не се разглеждат в доклада.

За директен достъп до наличните изображения и услуги е нужна регистрация в портала. Порталът предлага търсене по критерий използвайки типизиран уеб-интерфейс, както и чрез текстови заявки позовавайки се на различни параметри към спецификациите на конкретния продукт, или сателитно заснемане. Тук, за векторните граници на района на търсене се ползва WKT-формат. Търсенето в портала може да се осъществи и посредством скриптове, използвайки приложният програмен интерфейс на платформата – *API-Hub*, чрез експониране на протокола Open Data (*OData*) и ползвайки REST върху HTTPS [18]. По този начин, използвайки софтуерните програми – *cURL* и *wget* в скриптове, е възможно автоматизиране на процесите по сваляне на продуктите от портала.

Препоръки: За целите на изследване на селскостопански култури при използването на Отвореният Хъб за данни по програма Коперник – Copernicus Open-Access Hub, изборът се съсредоточава до радарни изображения и продукти от SAR, предоставяни от Sentinel-1, както и от оптични такива предоставяни от Sentinel-2. При Sentinel-1 изборът на данни за споменатата цел се отнася както до ниво на обработка на изображенията – Level-1 – с тип на продукти SLC и GRD, така и до ниво Level-2 – за готови продукти от различен характер за директна интерпретация, с приложени географски координати [21]. Тук, за района на България режимът на заснемане е *Interferometric Wide Swath (IWS)*. В оптичния сегмент представен от Sentinel-2, се предоставят множество мулти-спектрални продукти, с различни ниво на обработка – L0, L-1A, L-1B и L-1C. Тук, най-подходящи за потребителите са продуктите от ниво Level-2A, които са с орторектифицирани към земния геоид, с

приложени атмосферни и радиометрични корекции, където всички спектрални канали са корегистрирани [22]. Към тези продукти се предоставят и различни полезни класификации, като маски на облаците и сенките, класификация на растителността и др. От тези продукти е възможно да бъдат пресметнати различни спектрални индекси (пр. NDVI), полезни при изследване на селскостопанските култури. В зависимост от целта на научно-приложната задача, препоръчително е да се ползва уеб-портала Copernicus Open Access Hub (SCI-Hub) – от където може да се изтеглят различни видове данни и продукти от сателитните платформи – Sentinel-1 и 2, имащи сензори използващи различни спектрални характеристики [24, 25], подходящи при изследване, или мониторинг на селскостопански култури, където ГПС на продуктите и/или данните варира от 10 m до към 25 m.

RUS

Онлайн платформата Research and User Support (RUS - <https://rus-copernicus.eu/portal/>) е изцяло насочена към потребителите на данните по програма *Коперник*, като целта на нейното разработване е да подпомага потребителите в изпълнението на техните проекти, включващи данни по програмата. Платформата има за цел да насърчава изследователската дейност и обучението в областта на космическите технологии за наблюдение на Земята. Обученията включват уеб-семинари, видео уроци и обширна литература, с конкретна насоченост. Платформата е достъпна от Септември 2017-та година, като е отворена единствено към Европейските граждани, като част от административни научни звена, или към частни неправителствени организации, отново заети в научния сектор. Това, автоматично изключва достъпът на RUS до всякакви юридически структури с комерсиални цели [19]. Услугите RUS се ръководят от консорциума – CS Group, включващ компании от Франция, Италия и Румъния. Ползвайки наличните софтуери с отворен код във виртуалната среда, могат да се прилагат различни видове данни и услуги предоставени от облака, по конкретна задача, примерно в изследване на селскостопански култури.

Препоръки: Платформата RUS би могла успешно да се използва от учените в научно-приложни задачи ориентирани към изследване състоянието на селскостопански култури. Платформата е с отворен достъп и предоставя различни видове обучения – групови, или индивидуални, както отнесени към използването на данните по програма *Коперник*, така и по специфични тематики отнесени към петте сегмента на програмата – в това число, към задачите отнесени към земното покритие. Възползвайки се от платформата RUS, за целите на селското стопанство от наличните в списъка курсове, примерно следния може да бъде полезен: RUS Training Session – Burned area mapping using Sentinel-3 SLSTR – 22 June 2021 (<https://rus-copernicus.eu/portal/rus-training-session-burned-area-mapping-using-sentinel-3-slstr/>). От друга страна, всякакви други курсове могат да бъдат намерени в разделът с курсове за съответната обучителна сесия – пр. RUS Training Session - TAT2021 (<https://rus-copernicus.eu/portal/category/events/conferences-workshops/>).

DIAS

С цел да се улесни и стандартизира достъпът до данни, Европейската Комисия е финансирала изграждането на пет платформи базирани в „облак“, от които да се предоставя централизиран достъп до данни, услуги и инструменти по програма *Коперник*. Тези пет платформи се наричат – DIAS (Data and Information Access Services) [20].

Всичките платформи предоставят достъп до спътниковите данни от всички Сентинели (Sentinels-1,2,3,4,5), както и до информационните продукти по линия на петте сегмента на програма *Коперник*. Във връзка с казаното, се предоставя и достъп до инструменти с отворен код и такива срещу заплащане на дневна база.

Препоръки: Платформите DIAS могат да бъдат от голяма полза при разработване на дадена научно-приложна задача във връзка с изследване на селскостопанските култури, тъй като се предоставя централизиран достъп до голям информационен обем от различни видове спътникови информация със различни спектрални характеристики, както и разнородни инструменти за тяхното обработване. Цялата работа по дадената задача се запазва в „облак“, което предоставя свобода при организацията на работния процес, като работните данни могат да бъдат сваляни локално при необходимост. Петте платформи DIAS, са както следва: CREODIAS (www.creodias.eu), Sobloo (www.sobloo.eu), Mundi Web Services (www.mundiwebservices.eu), ONDA (www.onda-dias.eu) и WEkEO (www.wekeo.eu) [23]. Добра практика относно използване на платформата DIAS е имплементирането на достъпът до данни и услуги през платформите на Институционално ниво, от страна на Полския Институт по Геодезия и Картография – IGIK, които ползват тези услуги за да провеждат мониторинг и

регулярни изследвания на селскостопански култури посредством данни по програма Коперник. Инициативата се казва - Common System and Platform, Based on Copernicus Data and Services, for Agricultural Agencies in Poland [26].

Услуги на програма Коперник

Atmosphere (CAMS)

Услугата „Атмосфера“ (CAMS) по програма „Коперник“ е първата от шестте родови услуги (<https://atmosphere.copernicus.eu/>), която се отнася до услуги за мониторинг на атмосферните параметри и качеството на въздуха [20]. Също така, се предоставя полезна информация за слънчевия поток (solar radiation), радиационен трансфер земя-атмосфера, състав на въздуха, състояние на озонов слой и UV-лъчение, състояние на парникови газове, както и проблеми в климата [28]. За прогнозиране на атмосферните параметри се ползва числения модел на Европейския център за средносрочни прогнози – ECMWF, който ползва масиви от спътникови и наземни данни за района на Европа, предоставяни от EUMETSAT и ESA. Услугата CAMS е в оперативност от 1-ви Юли 2015 г., агрегирайки масиви от данни с измервания за състоянието на атмосферата в конкретни под-услуги. Тази услуга пряко е свързана с изследване на селскостопански култури, тъй като подава три важни атмосферни параметъра, пряко отнесени към фенологичния статус на културите, а именно – (1) влага и валежи, (2) слънчево греење (в това число и облачност), както и (3) температура и вятър при земята. Услугата CAMS предоставя данни освен за мониторинг на тези три категории атмосферни параметри, но също и така прогноза за тяхното състояние, изчислявани от прогностичния модел на ECMWF.

Общата схема на целият процес от предоставянето на данните до изходните продукти, подавани чрез под-услугите на CAMS, е следния [29]. Първо, се набират наземни данни относно качеството и състоянието на атмосферния въздух, в това число и от самолетни заснемания и сателитни измервания. После, се извършва числено моделиране на атмосферните параметри, спрямо съответната специфика – градска среда, селско стопанство, изгаряне на биомаса, океан, индустрия и пустинен прах. Като изходни продукти, се получават следните три типа продукти:

- Мониторинг на текущото състояние – тук се включват вече горе изброените продукти, относно качеството на въздуха, Слънчевата радиация, парникови газове и др.;
- Прогностични карти за следващите дни – с Паневропейски мащаб, или със Световен [30];
- Инструменти за изследване – тук влизат споменатите инструменти по линия на CAMS, като такива предоставящи информация за вредни емисии, източници на замърсяване, както и годишни оценки за качеството на въздуха.

Достъпът до услугите по CAMS е безплатен и отворен за всички регистрирани потребители. Относно самият достъпът, са разработени няколко мобилни приложения, от които могат да се достъпват различните видове данни и прогнози на атмосферни параметри.

Препоръки и добри практики: Препоръчително е използването на данните и услугите предоставяни от CAMS, особено при числено моделиране на фенологичното развитие на селскостопанските култури. Примерно, при изчисляването на азотния индекс на листната маса, е нужно знание за азота в растенията. Такова измерване се предоставя от услугата на CAMS за мониторинг и оценка на текущия състав на газовете в атмосферата. Тук е важно да се отбележи, че услугата за мониторинг предоставя данни както в реално време, така и за отминал период.

Като пример за добра практика е използване на разработените към сегмента мобилни приложения, от които могат да се зареждат данни за текущото състояние на въздуха в даден географски район, както и прогностични карти на параметрите на атмосферата. Примерно, в под-услугата „свободни данни за #SmartDecisions“, където се предоставят различни видове карти и данни за прогнози качеството на въздуха, слоеве с данни за оценка на замърсители във въздуха, полени и др., са приложенията – *BreezoMeter*, *Meteo Pollen*, *Windy* [30]. В последното приложение могат да се зареждат множество динамични карти за прогноза на времето, вятъра, валежа и др., което може да бъде доста полезно при разработване на научно-приложни задачи свързани с мониторинга и моделирането на фенологичния статус на земеделски култури. В тази секция има и доста други полезни услуги, но ориентирани предимно към градска среда, които могат да бъдат в голяма полза при управленски решения, от страна на различни институции.

В сайта на FPCUP, в категория - „Атмосфера“ (<https://www.copernicus-user-uptake.eu/resources/presentations>), може да се намерят още полезна информация във формата на презентации, свързана с добри практики по използване на услугите и данните по CAMS, в научно-приложни задачи. От друга страна, в сайта на Nereus (<https://www.nereus-regions.eu/publications/>) се публикуват резултати и интересни приложения на данните по програма Коперник и в частност по CAMS, което може да бъде полезен пример за използването на данните в приложения и изследвания в българското земеделие.

Land (CLMS) – (глобален, паневропейски, и местен компонент)

Службата за мониторинг на Земята по програма "Коперник" (CLMS) предоставя географски данни и продукти, базирани на сателитни изображения и наземни данни (in situ), които подкрепят теми като селското стопанство, продоволствената сигурност, управлението на горите и управлението на водите. CLMS има четири компонента: глобален, общеевропейски, местен и сателитни изображения и референтни данни. Общеевропейският и местен компонент са координирани от Европейската агенция за околна среда (ЕАОС).

Службата за мониторинг на Земята по програма "Коперник" (CLMS) се нуждаят както от сателитни изображения, така и от наземни данни, за да създадат надеждни продукти и услуги. Тези сателитни изображения и референтни данни се генерират и управляват от четвъртия компонент. Подробно са разгледани само глобалния, общеевропейския и местния компонент.

Препоръки и добри практики: За приложения в прецизното земеделие препоръчителни са продуктите с пространствена разделителна способност по-висока от 300m. От глобалните продукти, това е Глобалното Динамично Земно Покритие (Global Dynamic Land Cover), което е с пространствена разделителна способност от 100m, актуализира се ежегодно и се базира на данни от PROBA-V. Последната актуализация е с референтните данни от 2019.

От общеевропейските продукти особено внимание може да се отдели на тези, които са базирани на изображения от Sentinel-2 A/B, и са предвидени да бъдат оперативни през август 2021.

Три са продуктите, които се отнасят към темата за "Фенология и производителност на растителността с висока пространствена разделителна способност". Първият е продукт, наричан Вегетационен Индекс ще се генерира в почти реално време, и ще предлага статус на растителността за всеки пиксел. Статусът се предоставя по четири начина: *Leaf Area Index (LAI)*, *Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (FAPAR)*, *Normalised Difference Vegetation Index (NDVI)* и *Plant Phenology Index (PPI)*. Вторият продукт, фенологични показатели на растителността, ще се генерира ежегодно и ще предоставя показатели за до два вегетационни сезона, показатели като начало на сезона, край на сезона, сезонна производителност и т.н. Третият продукт, сезонна промяна, ще се предоставя непрекъснато на всеки 10 дни, ще произтича от обработката на годишните времеви серии на *Plant Phenology Index*.

Други продукт, който също е базиран на изображения от Sentinel-2, и е предвиден да бъде оперативен през август 2021. Той е свързан с наличието на снежна покривка. Продуктът се нарича частична снежна покривка и ще се генерира в почти реално време. Този продукт дава за всеки пиксел частта от повърхността му покрита със сняг.

Climate Change (C3S)

Услугата „Климатични промени“ (C3S) по програма *Коперник*, е четвъртата от шестте родови услуги, която предоставя информация за миналото, настоящето и бъдещето на климата (<https://climate.copernicus.eu/>). Услугите предоставяни от C3S спомагат за по-добър мониторинг на промените в климата, както и адаптиране на стратегии свързани с климата, от страна на административни тела и бизнеси. Основните продукти представляват климатични бюлетини, масиви от данни свързани с климата и каталог с дейности и проекти свързани с климата.

Климатичните бюлетини се изготвят на месечна база и представят картографска информация и анализ на състоянието на климата, позовавайки се на различни индикатори за климатичните промени. Бюлетините обхващат целият Европейски континент и включват картографски слоеве с данни и статистически анализи за голям времеви период, като представляват следните продукти – *Температура при земята, Морета и лед, Хидроложки променливи и Наземен мониторинг (in-situ) за Европа* [31].

В секцията услуги – *Data in action*, се предоставя информация за конкретни разработки, демонстрационни и пилотни проекти, относно ключови за индустрията и бизнеса теми свързани

с климата в конкретни географски райони от Света. Демонстрационни проекти показват добър пример как може да се подходи при решаването на проблеми свързани с климата. Към всеки един проект се разработват софтуерни решения, които могат да бъдат полезни в подобни задачи.

В секцията - *Sectoral specific challenges*, се предоставя достъп до инструменти и информация, която може да помогне при вземане на решения свързани с климата. Информацията е категоризирана по сектори, като - *Управление на водите, Земеделие и гори, Туризм и др.*

Препоръки и добри практики: В хидроложият бюлетин към C3S, е включена и информация за почвената влага (soil moisture), което е от голяма полза при изследване на земеделски култури. Разглеждайки информацията в - *Precipitation, relative humidity and soil moisture for May 2021*, може да се направи заключение за количеството паднали валежи за конкретен период в mm/day, за температурата на въздуха за същия период, както и за относителната влажност и за почвената влага изразени в % [32]. От друга страна, ако се разгледа бюлетина - *Surface air temperature for March 2021*, може да се придобие информация за температурната аномалия през м. Март на 2021г, спрямо осреднената такава за периоди 1991-2020, или 1981-2010 години [33]. Относно климатичните индикатори и техни специфики при смяната на сезоните, като екстремни температури, замръзване, условия за слана и други такива, касаещи земеделието, полезна информация може да се получи от бюлетините за Наземен мониторинг (in-situ) за Европа. Тук, конкретен пример е *State-of-the-European-climate: March 2021*, където показват синоптичната обстановка и причините за метеорологичното време през Март, специфични температурни аномалии, които могат да са причина за слани, аномалии на валежа, сумарна Слънчева радиация за месеца, както и друга полезна информация [34]. Друга полезна информация относно климата в Европа за отминалата 2020-та година е поместена в секцията - *European State of the Climate* (<https://climate.copernicus.eu/ESOTC/2020>), където отново има информация за - валежи, почвена влага, горски пожари, облачност и радиационен трансфер. Тук, продукта за Почвена влага подава полезна информация за аномалията на влагата изразена в - % за отминал период.

Относно секцията *Data in action* към C3S, интересна добра практика е демонстрационния проект - *Decadal predictions for agriculture* [35]. Прототипа на услугата подава важни параметри за климата и прогностични карти нужни в земеделието, при прогнозиране на добива, управление на земеделските култури, планиране на акции за пръскане против болести по растенията, обезпаразитяване и други.

В секцията *Sectoral specific challenges*, в направление *Agriculture and forestry* – отново е представена информация, която да подпомага земеделието, прогнози на климатични параметри с цел прогнозиране на добива, аномалии на въпросните параметри и др. [36]. В секцията се включват различни демонстрационни проекти свързани със земеделието, както и конкретни примери разработени за конкретни земеделски култури – примерно, влияние на климата в отглеждането на памук (<https://climate.copernicus.eu/impact-climate-change-cotton-industry>).

Както при CAMS, така и при C3S в сайта на FPCUP, в категория - „Климат“ (<https://www.copernicus-user-uptake.eu/resources/presentations>), може да се намерят още полезна информация във формата на презентации, свързана с добри практики по използване на услугите и данните по C3S, в научно-приложни задачи. В сайта на eShape (<https://e-shape.eu/>) следвайки тема - „Climate action“ има външни препратки към дейности и семинари свързани с акцент върху добрите практики за управление на климата, включвайки данни и услуги по програма Коперник. Тук могат да се открият видео-конференции от водещи научни институции, представящи резултати от научно – приложни задачи, като полезен пример при прилагането на този вид услуги в българското земеделие.

Emergency (EMS) - наводнения, суша

Услугите за управление при извънредни ситуации предоставят информация за реагиране при извънредни ситуации и управление на риска от бедствия. Услугите са от два типа: картографиране при поискване и ранно предупреждение и наблюдение. Картографиране при поискване подробна информация за избрани извънредни ситуации, които възникват от природни или причинени от човека бедствия навсякъде по света. Ранно предупреждение и наблюдение предлага критична геопространствена информация на европейско и световно ниво чрез непрекъснати наблюдения и прогнози за наводнения, суши и горски пожари.

Препоръки и добри практики: В сайта на Коперник EMS могат да се открият серия от активации свързани със растениевъдството и по-специално последствията от бедствията и

авариите върху него. Най-честите активации да свързани с наводнения, пожари и оценка а добивите в райони засегнати от конфликти (въоръжени) свързани с продоволствената сигурност. Редно е да се отбележи че в България оторизираната институция за активация на EMS е MBP и по-специално – Център за аерокосмическо наблюдение. Активациите следва да се правят пестеливо само в случай че националните компетентни органи не могат да дадат необходимата ситуационна обстановка съобразно нуждите на растениевъдството. В повечето случаи такива анализи – по-детайлни – се изготвят от консултантски организации свързани със застрахователни компании. В заключение следва да се отбележи, че е необходима по-нататъшна координация на компетентните органи в България във връзка с по-ефективно използване на активациите по EMS и включване на българското растениевъдство в приоритетните области в случай на бедствие, авария или природни катастрофи.

Заключения и препоръки

В резултат от направения обзор и представените предложения и препоръки могат да бъдат направени следните изводи:

Различните типове спътникови данни и продукти разпространявани свободно от програма „Коперник“ на ЕС в т.ч.: 1) Радарни данни и файлови формати (Sentinel-1); 2) Оптични данни и файлови формати (Sentinel-2, -3); 3) Допринасящи мисии към програма „Коперник“. След всяка част следва част с предложения и препоръки предоставят възможност на изследователя да допълни с навременна и надеждна спътникова информация своите растениевъдни анализи и модели. Това се улеснява, както от отворения достъп до данните така и от наличните софтуерни продукти разработени от ЕКА за работа с тях, които съ също така свободно достъпни.

Сайтовете и услугите на програма „Коперник“ предоставящи достъп до данните и продуктите вкл.: 1) Copernicus hub; 2) RUS; 3) DIAS – дават възможност в зависимост от естеството и мащаба на научната задача да се използват изчислителните ресурси на Европейската общност за нуждите на българското растениевъдство. Наличието на различни видове свободни обучителни ресурси в Интернет улеснява използването на продуктите и услугите на програма „Коперник“. Все още остава проблем езиковата бариера и техническата грамотност за пълно усвояване на ресурсите.

От разгледаните услуги на програма „Коперник“, започвайки с Atmosphere (CAMS); Land (CLMS) – (глобален, паневропейски, и локален компонент); Глобален компонент; Общоевропейски компонент; Местен компонент; Климатични промени - Climate Change (C3S); и завършвайки с бедствията и авариите, които оценява EMS – и по-специално наводнения, суша става ясно, че за почти всеки компонент от системата почва растителност има налични данни – макар и с различна пространствена и времева разделителна способност, които подпомагат изучаването на растителността – респ. растениевъдните култури - на национално, регионално и местно ниво. Направена е селекция на продукти и услуги за целите на българското растениевъдство на основата на обстоен анализ на продуктите и услугите на програма „Коперник“ направен по проект CURE (FP7, EC)

Благодарности

Настоящото изследване е резултат от задача 1: Изследване на възможностите за синхронизиране на хиперспектралните данни (спътникови и аеро) с наземните изследвания за мониторинг на еко биологичния статус (контрол на основните химико-физични параметри на почвата) на различни култури; Дейност 2: Анализ на оперативните услуги на програма „Коперник“ на ЕС за наблюдение на Земята от космоса, с цел интегрирането им в българското растениевъдство и подпомагане участието членовете на консорциума в европейските програми за прецизно земеделие (GEOGLAM, CAP2020+, SOCAP, EO4SD и др.) по Национална научна програма „Интелигентно Растениевъдство“, финансирана от МОН, одобрена с решение на МС № 866/26.11.2020 г. Компонент 2. Диагностика и прогноза чрез изкуствен интелект. РП 2.2. „Използване на данни от наблюдения на земята (RST-ТТО)“.

Литература:

1. ESA (2021) Data Provision Status. <https://spacedata.copernicus.eu/web/cscda/data-provision-status>
2. HNSDMS (2021). Hellenic National Sentinel Data Mirror Site. <https://sentinels.space.noa.gr/>
3. CNES (2017). Sentinel: Satellites, <https://copernicus.cnes.fr/en/satellites>
4. Richards, J.A., *Remote Sensing with Imaging Radar*, 2.10. Polarization, p.28, DOI 10.1007/978-3-642-02020-9, Springer, 2009.
5. ESA, Sentinel-1, *Sentinel-1 Observation Scenario*, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/observation-scenario>

6. Banque X., J.M. Lopez-Sanchez, et.al., *Polarimetry-based land cover classification with Sentinel-1 data*, Altamira Information S.L., Barcelona, Spain and Universidad de Alicante, Alicante, Spain, 2018.
7. SAR Formats, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/data-formats/sar-formats>.
8. Pottier E., (2013) *SAR polarimetry Basics Concepts, Advanced Concepts and Applications*, 2nd Advanced Course on Radar Polarimetry, ESA-ESRIN. (https://earth.esa.int/documents/10174/669747/PolSARBasic_Concepts.pdf)
9. Cremer F., et al., (2018) *An Image Transform Based on Temporal Decomposition*, Friedrich-Schiller Universität JENA, IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS, VOL. 15, NO. 4.
10. Mandal D. et al., (2020) *Dual polarimetric radar vegetation index for crop growth monitoring using sentinel-1 SAR data*, Remote Sensing of Environment 247-111954.
11. Bargiel D., (2017) *A new method for crop classification combining time series of radar images and crop phenology information*, Remote Sensing of Environment 198, 369–383.
12. Meroni M., et al., (2021) *Comparing land surface phenology of major European crops as derived from SAR and multispectral data of Sentinel-1 and -2*, Remote Sensing of Environment 253, 112232.
13. Copernicus (2021) Copernicus Contributing Missions, <http://www.copernicus.eu/main/contributing-missions>.
14. ESA (2021) Space Component Data Access, Contributing Missions. <https://spacedata.copernicus.eu/web/cscda/missions>
15. ESA (2021) Third Party Missions Online Access List. <https://tpm-ds.eo.esa.int/collections>
16. ESA (2021) EOLi-Sa 'ESA link to Earth Observation'. <https://earth.esa.int/web/guest/eoli>
17. Copernicus Open-Access Hub (2021), <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.
18. Copernicus Open-Access Hub, *APIs Overview*, (2021) <https://scihub.copernicus.eu/userguide/APIsOverview>
19. Copernicus, *Research and User Support (RUS)*, (2021) <https://rus-copernicus.eu/portal/>
20. Copernicus, *Data and Information Access Services (DIAS)*, (2021) <https://www.copernicus.eu/en/access-data/dias>
21. ESA. Sentinel-1, *Product Types and Processing Levels*, (2021) <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/product-types-processing-levels/>
22. ESA. Sentinel-2, *Processing Levels*, (2021) <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/processing-levels>
23. ESA-Copernicus, *Copernicus DIAS Fact Sheet*, (2018) https://www.copernicus.eu/sites/default/files/Copernicus_DIAS_Factsheet_June2018.pdf
24. ESA. Missions, Sentinel-1, (2021) <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>
25. ESA. Missions, Sentinel-2 MSI, *Overview*, (2021) <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/overview>
26. IGIK Poland, *Common System and Platform, Based on Copernicus Data and Services, for Agricultural Agencies in Poland*, <https://www.copernicus-user-uptake.eu/user-uptake/details/common-system-and-platform-based-on-copernicus-data-and-services-for-agricultural-agencies-in-poland-269>
27. Copernicus, Atmosphere, *About CAMS*, <https://atmosphere.copernicus.eu/about-us>
28. Copernicus, CAMS, *Free data for smart decisions*, <https://atmosphere.copernicus.eu/smart-decisions>
29. Copernicus Atmosphere Monitoring Service, *Tap into a world of environmental information*, <https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/2019-10/CAMS%20General%20Brochure.pdf>
30. Copernicus, CAMS, *Data*, <https://atmosphere.copernicus.eu/data>
31. Copernicus, C3S, *Climate bulletins*, <https://climate.copernicus.eu/climate-bulletins>
32. Copernicus, C3S, *Precipitation, relative humidity and soil moisture for May 2021*, <https://climate.copernicus.eu/precipitation-relative-humidity-and-soil-moisture-may-2021>
33. Copernicus, C3S, *Surface air temperature for March 2021*, <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-march-2021>
34. Copernicus, C3S, *State-of-the-European-climate: March 2021*, <https://surfobs.climate.copernicus.eu/stateoftheclimate/march2021.php>
35. Copernicus, C3S, *Decadal predictions for agriculture*, <https://climate.copernicus.eu/decadal-predictions-agriculture>
36. Copernicus, C3S, *Agriculture and forestry*, <https://climate.copernicus.eu/agriculture-and-forestry>

REQUIREMENTS FOR NEAR-SURFACE REMOTE SENSING DATA ACQUISITION AND PROCESSING AS AN ALTERNATIVE TO TRADITIONAL IN-SITU PHENOLOGY OBSERVATIONS OF CROPS IN BULGARIA

Dessislava Ganeva, Milen Chanev, Lachezar Filchev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: dganeva@space.bas.bg; m_apiaster@abv.bg; lachezarhf@space.bas.bg

Keywords: *PhenoCams, phenology, agriculture*

Abstract: *PhenoCams networks have been operating for more than a decade over vegetated areas to estimate phenology. They apply digital repeat photography that continuously capture images of a given area with an RGB or/and near-infrared enabled cameras. For the first time in Bulgaria, as part of Pheno-Sense project, a PhenoCam will be installed and connected to the PhenoCam cooperative network (<https://phenocam.sr.unh.edu/webcam/>) that archives and distributes imagery and derived data products from digital cameras deployed at research sites across North America and around the world. The goal of this research is to identify the requirements for near-surface remote sensing data acquisition and processing as an alternative to traditional in-situ phenology observations for crops in Bulgaria.*

ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ЗАСНЕМАНЕ И ОБРАБОТКАТА НА БЛИЗКИТЕ ДО ПОВЪРХНОСТТА ИЗОБРАЖЕНИЯ КАТО АЛТЕРНАТИВА НА IN-SITU ФЕНОЛОГИЧНИ НАБЛЮДЕНИЯ НА ЗЕМЕДЕЛСКИ ПОСЕВИ В БЪЛГАРИЯ

Десислава Ганева, Милен Чанев, Лъчезар Филчев

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

Ключови думи: *Фенокамери, фенология на растителността, земеделие*

Резюме: *Фенокамери работещи в мрежи, повече от десетилетие, наблюдават растителност за оценка на фенологията. Те използват цифрова повтаряема фотография, която непрекъснато заснема с камера в RGB и/или близкия инфрачервен диапазон на електромагнитния спектър. За първи път в България, като част от проекта Pheno-Sense съфинансиран по програма COST, ще бъде инсталирана фенокамера и свързана към кооперативната мрежа на PhenoCam (<https://phenocam.sr.unh.edu/webcam/>), която архивира и разпространява изображения и продукти от данни от цифрови фотоапарати, разположени на изследователски терени в Северна Америка и по света. Целта на това изследване е да идентифицира изискванията за събиране и обработка на данни за дистанционни наблюдения в близост до земната повърхност като алтернатива на традиционните наземни фенологични наблюдения на посеви в България.*

Introduction

Satellite data has been used to estimate phenological indicators in vegetation, such as Start of Season (SoS), End of Season (EoS) and Length of Season (LoS). Traditionally satellite-measured land surface phenology (LSP) is compared to in-situ observations. However, long term field phenological observations, often by volunteers and amateur naturalists, are limited in spatial coverage and ecosystems. The CEOS (Committee on Earth Observation Satellites) LPV (Land Product Validation) subgroup is currently involved in the preparation of a good practice protocol for the use and validation of satellite derived phenological products [1]. The phenology sub-group

(<https://lpvs.gsfc.nasa.gov/>) is working to establish a core set of phenology cameras, PhenoCams, sites.

PhenoCams, digital repeat photography that continuously capture images of a given area with an RGB and near-infrared enabled cameras, networks have been operating for more than a decade over vegetated areas to monitor phenology. The phenological research community have adopted near-surface remote sensing as an alternative to traditional in-situ observations for different natural ecosystems with regard to carbon cycles (e.g., productivity, CO₂ flux) [2], [3], management of natural resources in arid ecosystems [4], forest phenology [5–9] rangelands [10]. Some of the studies report relatively good agreement between the satellite-retrieved and PhenoCam-retrieved phenological indicators, others find no correlation between the two data sources. The non-alignment between the two data sources are linked to the differences in the scale of observation, some of the PhenoCams do not acquire images in the NIR wavelengths [10], the choice of the VI used to monitor phenological indicators or the representation of the site by the ROI [11]. However, different PhenoCam (StarDot NetCam SC) sensors had similar response functions, regardless of sensor age and previous deployment conditions [12]. This finding support our hypothesis that, even if very few studies have considered monitoring phenological indicators with PhenoCams for cropland areas [13–15], we could develop a methodology that uses PhenoCam data as proxy for traditional in-situ phenological observations.

The goal of our research is to assess the near-surface remote sensing data and its alternative to traditional in-situ observations for time-series analysis of satellite-measured land surface phenological indicators for crops. For this purpose, for the first time in Bulgaria, a PhenoCam will be installed and connected to the PhenoCam cooperative network (<https://phenocam.sr.unh.edu/webcam/>) that archives and distributes imagery and derived data products from digital cameras deployed at research sites across North America and around the world. The PhenoCam will monitor crop fields in Bulgaria.

In this study, we examined the literature to answer the following questions:

- What are the requirements for the near-surface remote sensing data acquisition for crop canopy in Bulgaria?
- What are the requirements for the near-surface remote sensing data processing for crop phenology estimation?
- How strong is the agreement between the near-surface remote sensing and satellite derived phenological events?

Comparison of Satellite and PhenoCam data

PhenoCam data is often used in studies to compare satellite and PhenoCam measurement. Richardson [16] has made one of the recent reviews on PhenoCam network and its specific applications varying from close-up observation of individual organisms; long-term canopy-level monitoring at individual sites; automated phenological monitoring in regional-to-continental scale observatory networks; and tracking responses to experimental treatments to name but a few. A year later, a team led by Seyednasrollah et al. [17] but from the same team of Richardson covers the newly released PhenoCam 2.0 data for vegetation phenology studies.

One of it utilizes the Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES-16 and GOES-17) data which can monitor NDVI at temporal scales comparable to that of PhenoCam. The study is applicable for the western hemisphere as GOES satellites “hang over” it. The Wheeler and Dietze [18] study the phenology of deciduous broadleaf forests for the first 2 full calendar years of data (2018 and 2019) by fitting double-logistic Bayesian models and comparing the transition dates of the start, middle, and end of the season to those obtained from PhenoCam and MODIS 16 d NDVI and enhanced vegetation index (EVI) products. Compared to these MODIS products, GOES has a better correlation with PhenoCam at the start and middle of spring but had a larger bias at the end of spring. Similarly,

Thapa et al. [19], utilize a time series of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Green Chromatic Coordinate (GCC), and Normalized Difference of Green & Red (Vgreen) indices from MODIS, Sentinel-2 to assess Forest Phenology. Phenophase transition dates were estimated and validated against visual inspection of the PhenoCam data and the Start of Spring and End of Spring could be predicted with an accuracy of <3 days with GCC, while these metrics from Vgreen and NDVI resulted in a slightly higher bias of (3–10) days. The observed agreement between UAV_{NDVI} vs. satellite NDVI and PhenoCamGCC vs. satellite GCC suggested it is feasible to use PhenoCams and UAVs for satellite data validation and upscaling. For the deciduous forest phenology PhenoCam was benchmarked against the use of MODIS and Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) satellite data by the team of Klosterman et al. [20]. The authors emphasize that dates derived from analysis of high-frequency PhenoCam imagery have smaller uncertainties than satellite

remote sensing metrics of phenology. They continue also that dates derived from the remotely sensed enhanced vegetation index (EVI) have smaller uncertainty than those derived from the normalized difference vegetation index (NDVI).

Wang et al. [21] in their proof of concept multi-scale observations of dry-season green-up in an Amazon tropical evergreen forest use a cross-calibrated PlanetScope data using BRDF-adjusted MODIS data on a set of 22 dates in 2018 and 16 in 2019, all from the six drier months of the year. They point out that the PlanetScope data accurately assessed seasonal changes in ecosystem-scale and crown-scale spectral reflectance; are consistent with local PhenoCam observations with R^2 around 0.8.

An interesting find is the study of Norris and Walker [22], who found that PhenoCam data confirm warm-season peaks in a pinyon-juniper system in Arizona, USA. However, notably solar-sensor geometry explains >80% of variability in pinyon-juniper satellite NDVI and shadowing is the likely cause of false winter increases in NDVI. This makes NDVI an inappropriate phenological tool across widespread western ecosystems. Probably this can be confirmed also for the Eastern hemisphere.

Bornez et al. [23] assess the VEGETATION and PROBA-V Phenology Using PhenoCam and Eddy Covariance Data. They validated the LSP estimates with near-surface PhenoCam and eddy covariance FLUXNET data over 80 sites of deciduous forests. Their results showed a strong correlation ($R^2 > 0.7$) between the satellite LSP and ground-based observations from both PhenoCam and FLUXNET for the timing of the SoS and $R^2 > 0.5$ for the EoS. Liu and Wu [24] have used a combination of large regional satellite indices from MODIS, 676 site-year local data (FLUXDATA) covering seven vegetation types, and 57 site-year regional data (PhenoCam) to get insight for the temporal and spatial variability of net ecosystem productivity (NEP) which is considered critical for coupling ecosystem carbon (C) cycle and climate system. Yan et al. [25] compared vegetation greenness indices from PhenoCam and satellite (Landsat and MODIS) observations against GPP estimates from the eddy covariance technique, across three representative ecosystem types – mainly drylands - of the southwestern USA. Their study is focused more on the VI-GPP relationships which concluded that the VI well captures the changes in GPP in a longer run, whereas other ways of tracking of GPP changes should be found in a shorter term.

For Australian ecosystems the team led by Moore et al. [26], make a comprehensive review of the joint use of satellite and PhenoCam data. In effect, the authors claim that overall, PhenoCams are useful for understanding ecosystem-scale Australian vegetation phenology. Watson et al. [27] studied temperate grasslands phenology through multi-scale approach involving PhenoCam. They used MODIS/Landsat satellite products to assess paddock-to-landscape functioning of twelve grassland areas dominated by cool season and warm season, native or exotic grasses near Canberra, Australia. However, similarly to other teams they conclude that, the higher temporal fidelity of the cameras captured changes in vegetation not observed in the coarser satellite or field results. The PhenoCam data shows consistent periods of increasing and decreasing greenness over as little as 5 days which is typically not the case of satellite observations.

For North America grasslands this is done by the team of Cui et al. [28]. In this study, they used PhenoCam green chromatic coordinate (GCC) to evaluate grassland phenology derived from three types of MODIS vegetation indices: NDVI, enhanced vegetation index (EVI), and a per-pixel GCC (GCCpp) which was computed to describe the average vegetation color at the pixel level. Similarly to other teams, they conclude that GCCpp can be more suitable than NDVI and EVI at estimating dynamics in grassland greenness during senescence.

In Europe, Luo et al. [29] evaluated the consistency between structural (VIs) and physiological (GPP) phenology for tree-grass ecosystem at four Mediterranean sites. Where the VIs are computed from PhenoCam data and GPP is derived from eddy covariance flux tower measurement. They suggest using multiple VIs to better represent the variation of GPP.

PhenoCam Data acquisition

To minimize shadowing and bidirectional reflectance distribution function (BRDF) effects caused by variations in illumination geometry, some studies [30], [31] recommend to acquire near-noon images. However other studies [9] argue that acquiring data during all daytime further minimize the influence of changes in scene illumination. Very interesting approach is described by Sakamoto et al. [14], where images are acquired during daytime and nighttime. The nighttime images are for calibrating the DN for the camera derived VI calculation.

Because the FOV of the digital camera often contained non-canopy features, manually defined regions of interest (ROIs) incorporating only the vegetation canopy is usually analyzed. Brown et al. [30] restricted the ROIs to the foreground of the image to minimize the effects of atmospheric aerosols and low-lying cloud. Petach et al. [32] draw attention to the mismatch between the camera

field of view and the satellite pixel when comparison between the two sensor is studied. He also concludes that high-quality data on the seasonal variation in canopy NDVI is possible to obtain without reference panel for calibration of the PhenoCam images. This is confirmed by the experience from Richardson A. (personal communication), when the camera is configured with fixed white balance. Brown et al. [33] emphasize the importance to maintain the same camera FOV during the whole measuring period.

PhenoCam Data processing

Near-surface remote sensing data are subject to minimal atmospheric effects because of the short atmospheric path associated with them. Nevertheless, noise may be introduced by external conditions and variations in scene illumination. To suppress such noise several statistical approaches are described in the literature. One approach [31, 34] uses the original images, by averaging into a single daily scene the collected data each day. These daily averages then are filtered using a mean kernel to reduce data volumes and the effects of plants moving and a VI is calculated. Another approach is to first calculate the VI and then apply either averaging or 90th percentile of all daytime values [9]. Different spectral indices, Table 1, exists to extract indicative for the vegetation activity.

Table 1. List of vegetation indices effective in detecting vegetation phenophases from PhenoCam and satellite data. Where Nir, Green, Red and Blue are mean digital number (DN) values in the bands of the PhenoCam image or the spectral reflectance values for the satellite bands

Vegetation index	Reference PhenoCam	Studied Satellite	Reference Satellite
$GCC = \frac{Green}{Red + Green + Blue}$	[2], [9], [12], [15], [19], [20], [24], [30]	Sentinel-2	[2], [19]
$ExG = 2 * Green - Red - Blue$	[9], [14], [31]		
$VARI_1 = \frac{Green - Red}{Green + Red - Blue}$	[35]		
$VARI_2 = \frac{Green - Red}{Green + Red}$	[14]	MODIS	[14]
$VI_{green} = \frac{Green - Red}{Green + Red}$	[19], [36]	Sentinel-2	[19]
		MODIS	[19]
$NDVI = \frac{Nir - Red}{Nir + Red}$	[14], [18], [22]	Sentinel-2	[2][19]
		MERIS	[30]
		MODIS	[14], [18]–[20], [22], [24]
		GEOS	[18]
$CI_{green} = \frac{Nir}{Green}$	[14]	MODIS	[14]
$MGCC = \frac{Green}{Blue + Green + Nir}$		MERIS	[30]
$EVI = G * \frac{Nir - Red}{Nir + C1 * Red - C2 * Blue + L}$ with $G = 2.5$, $C1 = 6$, $C2 = 7.5$ and $L = 1$	[18]	Landsat TM	[31]
		Landsat ETM+	[15], [31]
		MODIS	[18], [20], [24]
		EPIC	[15]
$OSAVI = Y * \frac{Nir - Red}{Nir + Red + Y}$ with $Y = 0.16$		MODIS	[24]
$SR = \frac{Nir}{Red}$		MODIS	[14]

Richardson et al. [12] recommend to use the changes in the position of the horizon line of each image to diagnose camera field of view shifts and to account for each shift before further processing the data.

Many PhenoCam data processing tools, in MATLAB, Python and R, are listed in the “Image Analysis Tools” section by PhenoCam project page (<https://phenocam.sr.unh.edu/webcam/tools/>) or from the corresponding author [37].

In camera-based phenology detection, the half-max is commonly used to detect the dates of start and end of season [34].

Conclusions

The agreement between the near-surface remote sensing and satellite derived phenological indicators is still on-going research area. When scaling from camera plot to landscape plot, the agreement between satellite and camera derived estimates of key phenological events was stronger for green-up than for senescence [2], [31]. Satellite-driven phenology tends to predict an earlier start of growing season and later end of growing season than camera-driven [36]. Homogeneous vegetation sites have higher correlation between the satellite derived and camera derived phenology [36] than the mixed canopy sites.

The requirements for the near-surface remote sensing data acquisition for crop canopy in Bulgaria are:

- The images will be acquired between every hour day and night
- ROI will best represent the studied crop field
- No reference panel will be installed
- The camera will not be moved during the whole crop growing season
- The camera will be configured according to all “Camera Setup and Installation” section by PhenoCam project page (<https://phenocam.sr.unh.edu/webcam/tools/>)

In addition to the PhenoCam data, in-situ phenological data will be recorded following the protocol defined by Denny et al. [38].

The requirements for the near-surface remote sensing data processing for crop phenology estimation:

- All VI from Table 1 will be tested
- For each channel, the mean and standard deviation, as well as the 5th, 10th, 25th, 50th (median), 75th, 90th, and 95th percentile values, of the DN distribution across all pixels in the ROI will be determined [12]
- For each channel a 3-day moving window will be tested
- The phenological indicators will be computed with DATimeS [39]

Acknowledgements

The project Pheno-Sense is nationally co-funded SENSECO COST Action CA17134, by the Bulgarian National Science Fund (KП-06-KOCT/3 18.08.2021).

References:

1. Caparros-Santiago, J. A., Rodriguez-Galiano, V. & Dash, J. Land surface phenology as indicator of global terrestrial ecosystem dynamics: A systematic review. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 171, 330–347 (2021).
2. Vrieling, A. et al. Vegetation phenology from Sentinel-2 and field cameras for a Dutch barrier island. *Remote Sens. Environ.* 215, 517–529 (2018).
3. Migliavacca, M. et al. Using digital repeat photography and eddy covariance data to model grassland phenology and photosynthetic CO₂ uptake. *Agric. For. Meteorol.* 151, 1325–1337 (2011).
4. Browning, D., Karl, J., Morin, D., Richardson, A. & Tweedie, C. Phenocams Bridge the Gap between Field and Satellite Observations in an Arid Grassland Ecosystem. *Remote Sens.* 9, 1071 (2017).
5. Vrieling, A. et al. Spatially detailed retrievals of spring phenology from single-season high-resolution image time series. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 59, 19–30 (2017).
6. Berra, E. F. & Gaulton, R. Remote sensing of temperate and boreal forest phenology: A review of progress, challenges and opportunities in the intercomparison of in-situ and satellite phenological metrics. *For. Ecol. Manage.* 480, 118663 (2021).
7. Ide, R. & Oguma, H. Use of digital cameras for phenological observations. *Ecol. Inform.* 5, 339–347 (2010).

8. Ahrends, H. et al. Tree phenology and carbon dioxide fluxes: use of digital photography for process-based interpretation at the ecosystem scale. *Clim. Res.* 39, 261–274 (2009).
9. Sonnentag, O. et al. Digital repeat photography for phenological research in forest ecosystems. *Agric. For. Meteorol.* 152, 159–177 (2012).
10. Matongera, T. N., Mutanga, O., Sibanda, M. & Odindi, J. Estimating and Monitoring Land Surface Phenology in Rangelands: A Review of Progress and Challenges. *Remote Sens.* 13, 2060 (2021).
11. Hufkens, K. et al. Linking near-surface and satellite remote sensing measurements of deciduous broadleaf forest phenology. *Remote Sens. Environ.* 117, 307–321 (2012).
12. Richardson, A. D. et al. Tracking vegetation phenology across diverse North American biomes using PhenoCam imagery. *Sci. Data* 5, 1–24 (2018).
13. Aasen, H., Kirchgessner, N., Walter, A. & Liebisch, F. PhenoCams for Field Phenotyping: Using Very High Temporal Resolution Digital Repeated Photography to Investigate Interactions of Growth, Phenology, and Harvest Traits. *Front. Plant Sci.* 11, 1–16 (2020).
14. Sakamoto, T. et al. An alternative method using digital cameras for continuous monitoring of crop status. *Agric. For. Meteorol.* 154–155, 113–126 (2012).
15. Weber, M. et al. Exploring the Use of DSCOVR/EPIC Satellite Observations to Monitor Vegetation Phenology. *Remote Sens.* 12, 2384 (2020).
16. Richardson, A. D. Tracking seasonal rhythms of plants in diverse ecosystems with digital camera imagery. *New Phytol.* 222, 1742–1750 (2019).
17. Seyednasrollah, B. et al. Tracking vegetation phenology across diverse biomes using Version 2.0 of the PhenoCam Dataset. *Sci. Data* 6, 222 (2019).
18. Wheeler, K. I. & Dietze, M. C. Improving the monitoring of deciduous broadleaf phenology using the Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) 16 and 17. *Biogeosciences* 18, 1971–1985 (2021).
19. Thapa, S., Garcia Millan, V. E. & Eklundh, L. Assessing Forest Phenology: A Multi-Scale Comparison of Near-Surface (UAV, Spectral Reflectance Sensor, PhenoCam) and Satellite (MODIS, Sentinel-2) Remote Sensing. *Remote Sens.* 13, 1597 (2021).
20. Klosterman, S. T. et al. Evaluating remote sensing of deciduous forest phenology at multiple spatial scales using PhenoCam imagery. *Biogeosciences* 11, 4305–4320 (2014).
21. Wang, J. et al. Multi-scale integration of satellite remote sensing improves characterization of dry-season green-up in an Amazon tropical evergreen forest. *Remote Sens. Environ.* 246, 111865 (2020).
22. Norris, J. R. & Walker, J. J. Solar and sensor geometry, not vegetation response, drive satellite NDVI phenology in widespread ecosystems of the western United States. *Remote Sens. Environ.* 249, 112013 (2020).
23. Bórnez, K., Richardson, A. D., Verger, A., Descals, A. & Peñuelas, J. Evaluation of VEGETATION and PROBA-V Phenology Using PhenoCam and Eddy Covariance Data. *Remote Sens.* 12, 3077 (2020).
24. Liu, Y. & Wu, C. Understanding the role of phenology and summer physiology in controlling net ecosystem production: a multiscale comparison of satellite, PhenoCam and eddy covariance data. *Environ. Res. Lett.* 15, 104086 (2020).
25. Yan, D., Scott, R. L., Moore, D. J. P., Biederman, J. A. & Smith, W. K. Understanding the relationship between vegetation greenness and productivity across dryland ecosystems through the integration of PhenoCam, satellite, and eddy covariance data. *Remote Sens. Environ.* 223, 50–62 (2019).
26. Moore, C. E. et al. Reviews and syntheses: Australian vegetation phenology: new insights from satellite remote sensing and digital repeat photography. *Biogeosciences* 13, 5085–5102 (2016).
27. Watson, C. J., Restrepo-Coupe, N. & Huete, A. R. Multi-Scale Phenology of Temperate Grasslands: Improving Monitoring and Management With Near-Surface Phenocams. *Front. Environ. Sci.* 7, (2019).
28. Cui, T., Martz, L., Lamb, E. G., Zhao, L. & Guo, X. Comparison of Grassland Phenology Derived from MODIS Satellite and PhenoCam Near-Surface Remote Sensing in North America. *Can. J. Remote Sens.* 45, 707–722 (2019).
29. Luo, Y. et al. Using Near-Infrared-Enabled Digital Repeat Photography to Track Structural and Physiological Phenology in Mediterranean Tree–Grass Ecosystems. *Remote Sens.* 10, 1293 (2018).
30. Brown, L. A., Dash, J., Ogutu, B. O. & Richardson, A. D. On the relationship between continuous measures of canopy greenness derived using near-surface remote sensing and satellite-derived vegetation products. *Agric. For. Meteorol.* 247, 280–292 (2017).
31. Nijland, W., Bolton, D. K., Coops, N. C. & Stenhouse, G. Imaging phenology; scaling from camera plots to landscapes. *Remote Sens. Environ.* 177, 13–20 (2016).
32. Petach, A. R., Toomey, M., Aubrecht, D. M. & Richardson, A. D. Monitoring vegetation phenology using an infrared-enabled security camera. *Agric. For. Meteorol.* 195–196, 143–151 (2014).
33. Brown, T. B. et al. Using phenocams to monitor our changing earth: Toward a global phenocam network. *Front. Ecol. Environ.* 14, 84–93 (2016).
34. Nijland, W. et al. Vegetation phenology can be captured with digital repeat photography and linked to variability of root nutrition in *Hedysarum alpinum*. *Appl. Veg. Sci.* 16, 317–324 (2013).
35. Nijland, W., Bolton, D. K., Coops, N. C. & Stenhouse, G. Imaging phenology; scaling from camera plots to landscapes. *Remote Sens. Environ.* 177, 13–20 (2016).
36. Vrieling, A. et al. Vegetation phenology from Sentinel-2 and field cameras for a Dutch barrier island. *Remote Sens. Environ.* 215, 517–529 (2018).
37. Richardson, A. D. et al. Tracking vegetation phenology across diverse North American biomes using PhenoCam imagery. *Sci. Data* 5, 180028 (2018).

38. Liu, Y. & Wu, C. Understanding the role of phenology and summer physiology in controlling net ecosystem production: a multiscale comparison of satellite, PhenoCam and eddy covariance data. *Environ. Res. Lett.* 15, 104086 (2020).
39. Koide, D., Ide, R. & Oguma, H. Detection of autumn leaf phenology and color brightness from repeat photography: Accurate, robust, and sensitive indexes and modeling under unstable field observations. *Ecol. Indic.* 106, 105482 (2019).
40. St. Peter, J. et al. Linking Phenological Indices from Digital Cameras in Idaho and Montana to MODIS NDVI. *Remote Sens.* 10, 1612 (2018).
41. Filippa, G. et al. Phenopix: A R package for image-based vegetation phenology. *Agric. For. Meteorol.* 220, 141–150 (2016).
42. Denny, E. G. et al. Standardized phenology monitoring methods to track plant and animal activity for science and resource management applications. *Int. J. Biometeorol.* 58, 591–601 (2014).
43. Belda, S. et al. DATimeS: A machine learning time series GUI toolbox for gap-filling and vegetation phenology trends detection. *Environ. Model. Softw.* 127, 104666 (2020).

ПРИЛОЖЕНИЕ НА TASSELED CAP TRANSFORMATION НА ДАННИ ОТ SENTINEL 2 – MSI ЗА МОНИТОРИНГ НА ГОРСКАТА РАСТИТЕЛНОСТ ОТ ТЕРИТОРИЯТА НА ПП „СИНИТЕ КАМЪНИ“

Андрей Стоянов

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

Ключови думи: горска растителност, Ортогонална трансформация, TCT- greenness, NDGI

Резюме: Целта на проведеното изследване е извършването на мониторинг на горската вегетация, в чиито територии преобладава защитеният подвид на Обикновения бук (*Fagus sylvatica* L.) - Източен Мизийски бук (*Fagus orientalis* Lipsky.), чрез приложение методите на Аерокосмическите изследвания и използването на различни вегетационни индекси (NDVI, NDGI). Приложена е Ортогонална Трансформация за избрани сателитни изображения, генерираща 3 основни компонента на TCT - "brightness", "wetness" и "greenness". В настоящето изследване е използван TCT- компонента "greenness", който дава по-прецизна информация за моментното състояние на горската растителност. Направен е сравнителен анализ на получените обработени данни от използваните методи и вегетационни индекси, с оглед подбора на по-представителни и прецизни данни нужни за анализ и оценка на състоянието на горската растителност от територията на ПП „Сините камъни“ за годините 2020 и 2021.

APPLICATION OF TASSELED CAP TRANSFORMATION OF SENTINEL 2 – MSI DATA FOR FOREST MONITORING ON TERRITORY OF NATURAL PARK “BLUE STONES”

Andrey Stoyanov

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
Technical University – Sofia
e-mail: AndreilKIT@space.bas.bg;*

Keywords: forest vegetation, Tasseled Cap Transformation, TCT- greenness, NDGI

Abstract: The aim of the study is to monitor the vegetation's condition of the forest areas in which territories the predominantly forest species of the plantations is Eastern Mysian beech (*Fagus orientalis*), by combinative approach of Remote Sensing's methods and generation of different vegetation indices (NDVI, NDGI). Tasseled Cap Orthogonal Transformation is applied to the selected images, resulting in three components - TCT component of the "brightness", TCT component of the "wetness" and the TCT component of the "greenness". In the present research, the TCT component of the "greenness" was used, which is giving more accurate and precise data on the current state of the forest vegetation. A comparative analysis of the processed data obtained from the applied different methods and vegetation indices has been made, in order to select the higher quality and more precise results with purpose the analysis and assessment of the state of forest vegetation on the territory of the Natural Park for the years 2020 and 2021.

Въведение

Изследваният обект в настоящото изследване е горската растителност разположена на територията на Природен парк „Сините камъни“. Той се намира в югоизточната част на България в Сливенска планина, Стидовска планина и възвишението Гребенец, които са част от южното било на Източна Стара планина. Намира се между географските координати: 26°10' и 26°60' източна дължина по Гринуич и 42°30' и 42°50' северна ширина [1].

В територията на парка, горските съобщества са представени от широколистна и иглолистна горска растителност, и такива заети от смесен тип горска растителност. Мониторингът на горската растителност и контролирането на състоянието на горите е от първостепенно значение за изпълнението на горското планиране, управление и съхранение. Данните, които се използват от ДИ, допринасят за подобряването на информацията за териториалното разпределение на горската растителност и нейните граници. Ежегодно нарастващата пространствена, спектрална и радиометрична способност на сателитните сензори са от особено значение в някои области на изучаване на околната среда, съответно и при горския мониторинг.

Методика за мониторинг и анализ динамиката на горската растителност

За да се проследи и оцени разпространението на горската растителност, от територията на ПП „Сините Камъни“ на база моментните ѝ състояния от избран времеви период е приложена следната разработена методика:

- Избор на аерокосмически данни съобразени със задачите на изследването от избрани времеви рамки
- Обработка на данни - георефериране и калибриране на спътниковите данни;
- Генериране на композитни растерни изображения в оптичен диапазон;
- Генериране на Normalized Differential Vegetation Index (NDVI) вегетационни индекс от оптични сателитни изображения от инструмента MSI, Sentinel 2
- прилагането на *Orthogonal Tasseled Cap Transformation (TCT)* на оптични сателитни изображения от инструмента MSI, Sentinel 2
- генерирането на нормиран разливов индекс Normalized Differential Greenness Index (NDGI) на базата на компонента „зеленост“,
- Визуална интерпретация, верификация и анализ на резултатите получени от приложената методика;

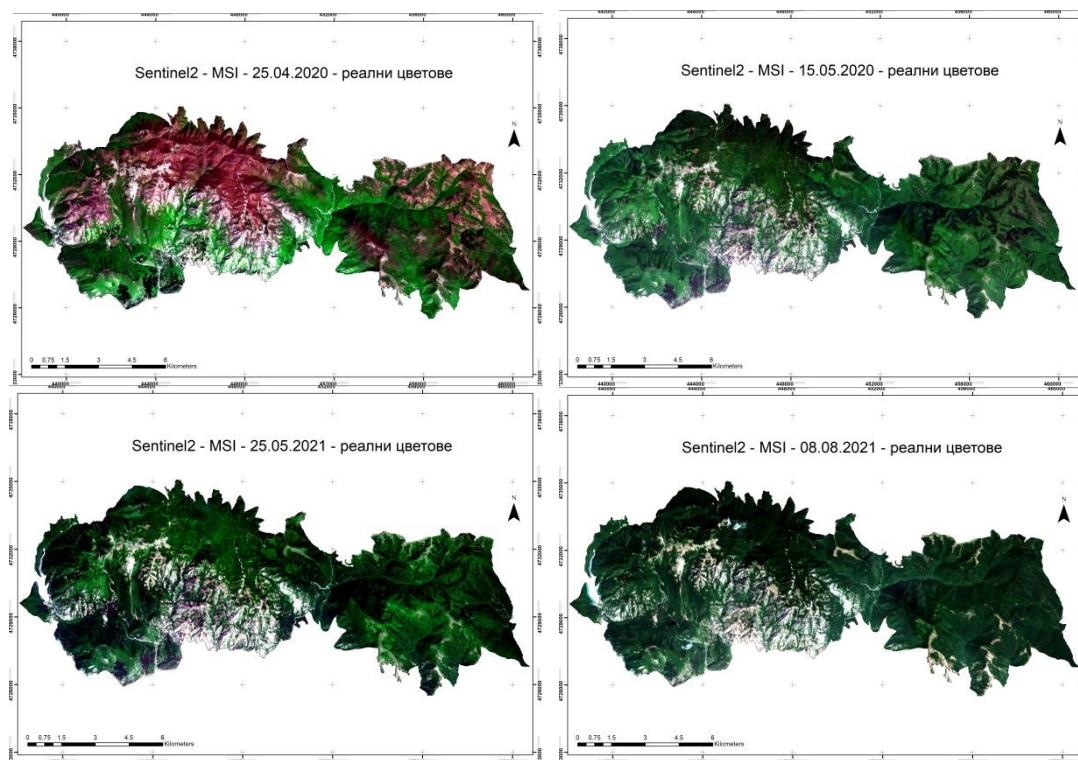
Избор на данни. Вегетационни индекси. ТСТ

В настоящото изследване са използвани сателитни изображения от Sentinel-2 MSI (ЕКА)(табл.1). Мултиспектралният инструмент (MSI), се състои от 13 спектрални канала и регистрира данните в оптичния диапазон с различни пространствена и спектрална разделителна способност от видимия диапазон, БИЧ и КВИЧ на ЕМС.

Таблица 1. Използвани сателитни данни

Сателит, сензор	Дата на заснемане	Спектрални канали	GSD (m)
Sentinel-2 MSI	25.04.2020	Всички спектрални канали	10x10
	15.05.2020		20x20
	25.05.2021		60x60
	08.08.2021		

На Фиг. 1 са визуализирани в реални цветове използваните като входни данни сателитни изображения от 25.04.2020, 15.05.2020, 25.05.2021 и 08.08.2021, служещи като референтна рамка за: визуализация на горската покривка; нейното териториално разпространение; извършването на анализ и верификация точността на получените резултати. Данните от 2020 г., обхващат краткосрочен период от 20 дни от пролетния сезон, през който ясно проличава прорасналата нова листна маса при надморска височина над 600-700м. Данните от 2021 г., обхващат дългосрочна времева рамка, включваща активния период от фенофазата на горската растителност.



Фиг. 1

Най-често използваният вегетационен индекс за оценка и анализ на вегетация е Normalized Differential Vegetative Index (NDVI)(1), разработен от Deering [2]. При генерирането му се използват отражателните характеристики от получените сателитни данни, и отнасящите се към тях съответно представени данни за биомасата от дадена територия като се прилага следното уравнение:

$$(1) \quad NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{red})$$

където: ρ_{NIR} е спектралното отражение от БИЧ диапазон от EMC
 ρ_{red} е спектралното отражение от диапазона на червеното от EMC

Получените резултати от NDVI са реални стойности вариращи между -1 и +1, където позитивните стойности показват нарастването на биомасата или растителността.

Използваният, от Kauth and Thomas [3] модел на TCT за ортогонализация на сателитни изображения е ефикасен метод за интерпретация, класификация и анализ на събития и процеси, свързани с динамиката и изменението на основните компоненти от земната повърхност: почва, вегетация и вода.

Приложеният модел за ортогонална трансформация на сателитни изображения от сензора MSI, в настоящото изследване е синтезиран в софтуерът на ERDAS Imagine, разработен от Hexagon, чрез използването на Spatial Model Editor.

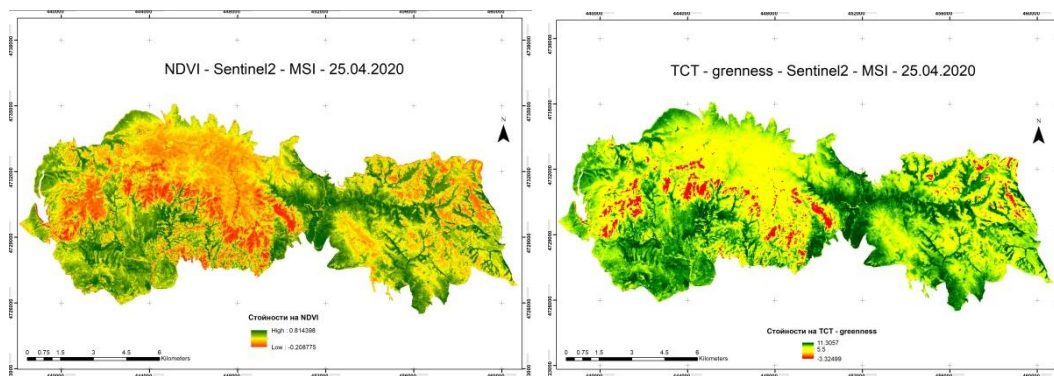
Нормираният разликов индекс на зелеността (NDGI)(2), е формиран на основата на компонента *зеленост* (*greenness*), получен чрез сегментацията (декомпозирането) от приложената Ортогонална Трансформация (TCT), за избраните оптични изображения от инструмента MSI. Този индекс отразява настъпилите промени в динамиката на растителността за избрания времеви период. Получените стойности варират между -1 и +1, като те съответстват и съвпадат с негативните и позитивни промени настъпили във вегетацията [4]. Методът за определянето на NDGI се базира на приложената ортогонализация на сателитни изображения, използвайки компонента *зеленост*, и спектралните отражателни характеристики на растителността.

$$(2) \quad NDGI = \frac{GR_n(t_2) - GR_n(t_1)}{|GR_n(t_2)| + |GR_n(t_1)|}$$

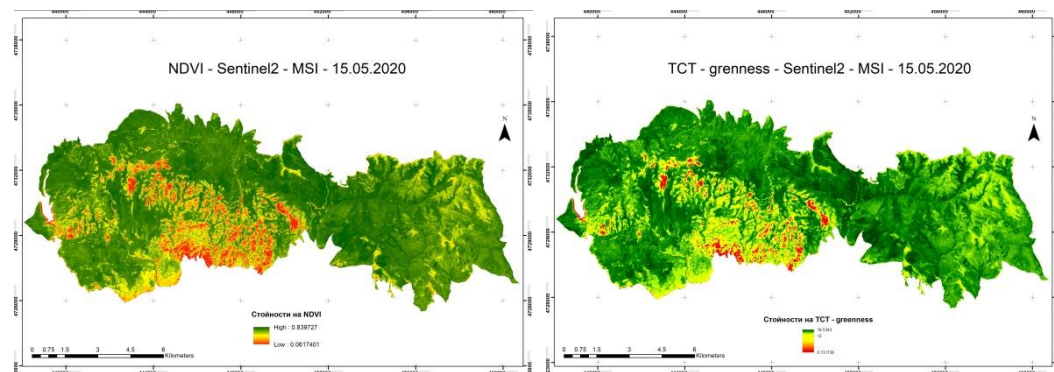
където: $GR_n(t_1)$ и $GR_n(t_2)$ представляват нормираните стойности на компонента *зеленост* (*greenness*) във времеви точки t_1 и t_2 , а $|GR_n(t_1)|$ and $|GR_n(t_2)|$ представят абсолютните стойности на същия компонент.

Резултати

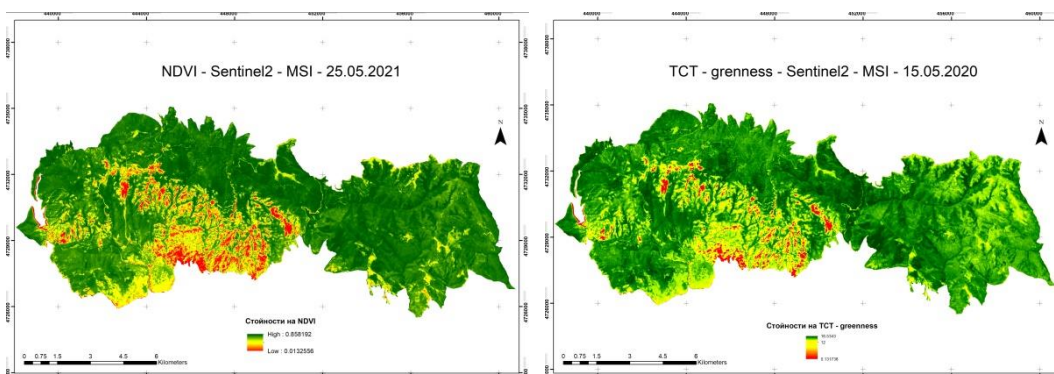
За да се извлече информацията, нужна за интерпретация и анализ, изображенията са декомпозирани (brightness, wetness, greenness), след приложението на TCT, и компонента *зеленост* (greenness), е отделен, изолиран и визуализиран. На Фиг. 2 и Фиг. 3 са съпоставени и визуализирани количествените стойности на NDVI и TCT-greenness, за първия времеви период (20 дни), които силно си корелират с пространственото разпределение на горската растителност. Областите изобразени със зелен цвят съвпадат с тези заети от растителността, която към 25.04.2020 още не е била развита при надм.в. над около 700 m, и съответно към 15.05.2020 новата листна маса вече е прораснала. На Фиг. 3 и Фиг. 4 са представени количествените стойности на NDVI и TCT-greenness от втория времеви период (75 дни). Получените стойности са представени и визуализирани в една цвetoва гама, но след извършването на интерпретация и сравнителен анализ, се вижда, че стойностите на NDVI не показват такава голяма детайлност на териториалния обхват на горската вегетация.



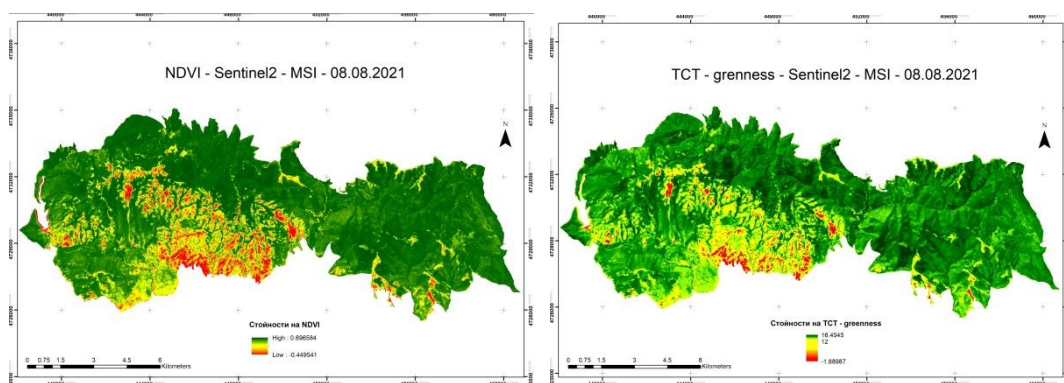
Фиг. 2



Фиг. 3

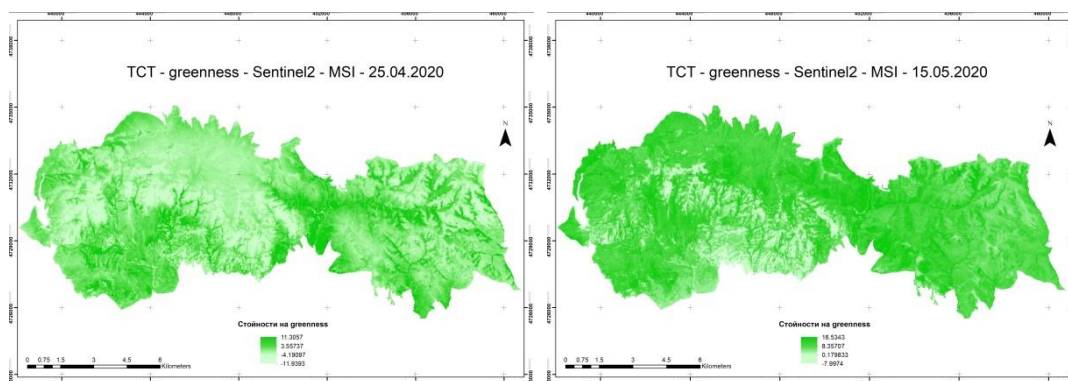


Фиг. 4

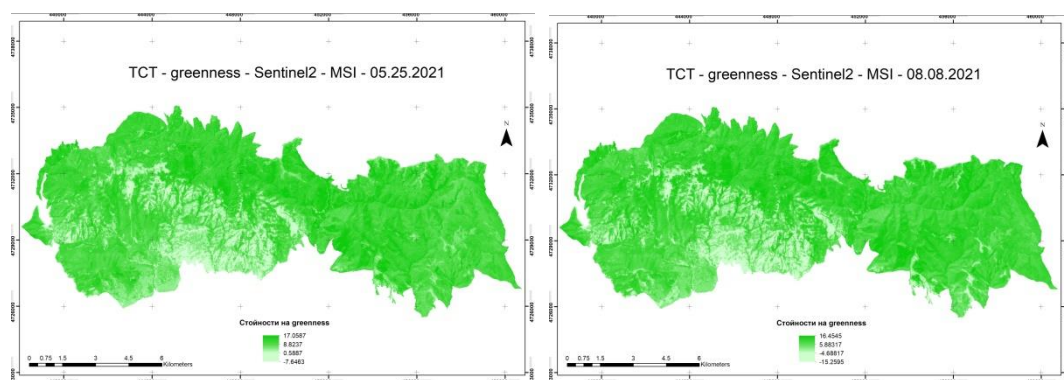


Фиг. 5

На Фиг. 6 и Фиг. 7 са визуализирани количествените стойности на TCT-*greenness* в зелена цвятна гама, от двата времеви периода, които при сравнителен анализ с изображенията от Фиг. 1 (в реални цветове), съвпадат с пространственото разпределение на елементите от земното покритие, и съответно с горската растителност, което позволява TCT-*greenness*, след допълнителна преработка, да се използва като маска, разграничаваща растителността от земната повърхност, и да се проследява развитието на нейната динамика във времето.



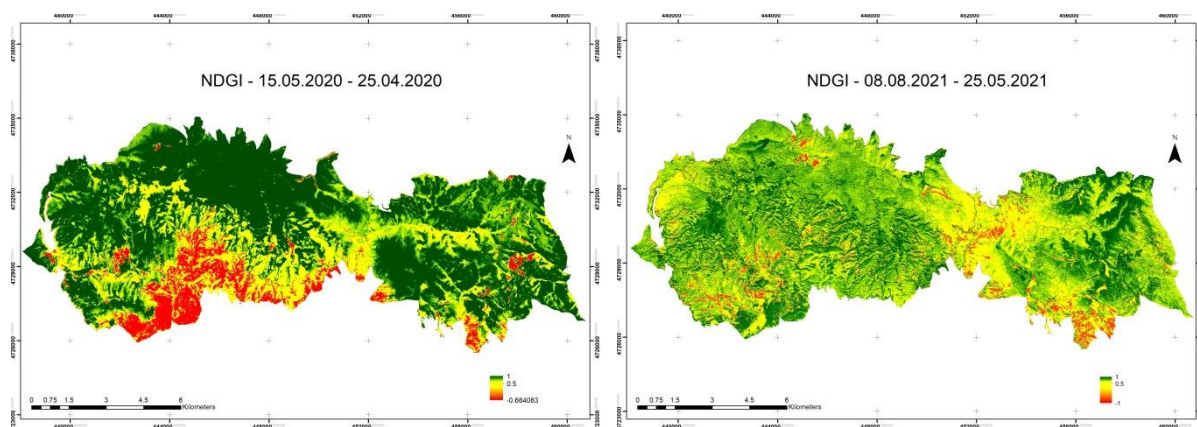
Фиг. 6



Фиг. 7

Когато стойностите на NDGI са по-малко от 0 показват, че са настъпили негативни промени в състоянието на вегетацията, когато те са над 0 са налице позитивни промени, като степента на промените кореспондира с получените стойности на индекса. Крайните стойности – $NDGI = -1$, отразяват пълната деградация на растителността или липсата на такава, докато $NDGI = +1$, показва съответно висока степен на развитие, и появата на нова растителност [5,6]. На Фиг. 8 са визуализирани стойностите на NDGI, на които териториите в зелен цвят показват ясно новата прораснала растителност за съответните изследвани времеви периоди. При допълнителна обработка включваща: манипулация на хистограмите от изображенията, определяне и задаване на прагови стойности от индекса е възможно генерирането на още по-детайлни и по-точни резултати. Това показва, че позитивните и негативни стойности на индекса,

представяват една количествена скала, която може да бъде използвана за оценка на настъпилите промени във вегетацията от даден район за изследване.



Фиг. 8

Заклучение

Приложената методика дава възможност за точното и прецизно определяне на пространственото разпределение, и моментно състояние на горската покривка от дадена територия, за избрани времеви периоди. Използваната методика представлява един метод за горски мониторинг, който може да се интегрира, (в управлението на горите, горското стопанство, при инвентаризация на горските ресурси) и на чиято основа, може се направи точна и прецизна количествена оценка за състоянието на горската покривка, нейното здравословно състояние, и нейното развитие във времето.

Литература:

1. <http://dpssk.org>
2. Deering, D. W., Rouse, J. W., Haas, R. H., & Schell, J. A. (1975). Measuring forage production of grazing units from Landsat MSS data. In, 10th International Symposium on Remote Sensing of Environment (pp. 1169–1178). Ann Arbor, Michigan, USA.
3. Kauth, R. J., & Thomas, G. S. (1976). Tasseled Cap--A graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In, *Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data* (pp. 41–51). West Lafayette, IN, USA: NTC Conference Record - National Telecommunications Conference.
4. Nedkov, R. Orthogonal Transformation of Segmented Images from the Satellite Sentinel-2. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 70, 5, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2017, ISSN:1310–1331, 687–692.
5. Nedkov, R.. Normalized Differential Greenness Index for Vegetation Dynamics Assessment. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 70, 8, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2017, ISSN:1310–1331, 1143–1146.
6. Avetisyan, D., R. Nedkov, (2018) "Modification in landscape horizontal structure, induced by changing environmental conditions: a case study of Haskovo region (Southeastern Bulgaria)," *Proc. SPIE 10790, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications IX*, 107901K (9 October 2018); doi: 10.1117/12.2325398.

QUANTITATIVE MODELING OF THE CARBON STOCK IN THE FOREST ECOSYSTEMS OF BULGARIA

Ekaterina Ivanova

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

Keywords: Landsat 8 satellite data; carbon pools; aboveground biomass; GIS; spatial modelling

Abstract: The forest biomass is considered a major component affecting biosphere-atmosphere interactions and global climate change. Conventional ground-based measurements – a labor-intensive process – has proved insufficient to adequately represent the spatial extent of biomass. Therefore, remote sensing techniques are increasingly used for quantifying aboveground biomass and carbon stock. In this study, a model ND56 Landsat 8 OLI (original: ND45 Landsat ETM+) adapted to the Bulgarian natural conditions was tested in an attempt to quantify the spatial variability of forest carbon stock on a national scale. It was found that in the Bulgarian forests the aboveground biomass varies between 11.6 and 605.5 $m^3 ha^{-1}$, and the carbon stock between 2.7 and 201.3 $t C ha^{-1}$. The total amount of carbon is 336.8 million tons for a total of 35,317 km^2 of forest area. Most of the carbon (71.5%) is stored in deciduous forests, while the remaining 16.8% and 11.7% of carbon are stored in mixed and coniferous forests, respectively.

КОЛИЧЕСТВЕНО МОДЕЛИРАНЕ НА ВЪГЛЕРОДНИЯ ЗАПАС В ГОРСКИТЕ ЕКОСИСТЕМИ НА БЪЛГАРИЯ

Екатерина Иванова

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

Ключови думи: Сателитни данни на Landsat 8; въглеродни басейни; надземна биомаса; ГИС; пространствено моделиране

Резюме: Горската биомаса се счита за основен компонент, влияещ върху взаимодействието биосфера-атмосфера и глобалното изменение на климата. Конвенционалните наземни измервания (трудоемък процес), се доказваха недостатъчни, за да се представи адекватно пространствения обхват на биомасата. Следователно, техниките за дистанционно наблюдение все по-често се използват за количествено определяне на надземната биомаса и запасите от въглерод. В това изследване е тестван модел ND56 Landsat 8 OLI (оригинал: ND45 Landsat ETM+), адаптиран към българските природни условия, в опит да се определи количествено пространствената променливост на горския въглероден запас в национален мащаб. Беше установено, че в българските гори надземната биомаса варира между 11.6 и 605.5 $m^3 ha^{-1}$, а въглеродният запас между 2.7 и 201.3 $t C ha^{-1}$. Общото количество въглерод е 336.8 милиона тона за общо 35 317 km^2 горска площ. По-голямата част от въглерода (71.5%) е акумулирана в широколистни гори, докато останалите 16.8% и 11.7% въглерод се съхраняват съответно в смесени и иглолистни гори.

Introduction

Being “the chief among the greenhouse gases” in the Earth’s atmosphere the carbon dioxide (CO_2) plays an important role in the global climate changes [25]. According to IPPC [20] the concentration of CO_2 in the atmosphere continues to increase every year. Bulgaria ratified the Kyoto Protocol in July 2002, which came into force on February 16, 2005. Since then efforts have been made to minimize the impact on the climate by reducing greenhouse gas emissions, including carbon dioxide. However, Bulgaria continues to be among the countries with the most polluted air in Europe.

According to Eurostat in 2017 the carbon dioxide emissions in the EU increased by 1.8%, compared with the previous year, with Bulgaria among the top 3 pollutants in EU [28]. A major carbon sink among the terrestrial ecosystems, with considerable proportion of aboveground biomass (AGB), are forests. Therefore, they play a crucial role in the global carbon cycle by sequestering a substantial amount of carbon dioxide from the atmosphere [25]. According to [3] forests store approximately 45% of the terrestrial carbon, contribute approximately 50% of the terrestrial net primary production, and take up approximately 33% of the anthropogenic carbon emission. Deforestation is the second largest source of atmospheric greenhouse gases from terrestrial ecosystems, beside fossil fuel combustion, estimated to account for about 20% of the global anthropogenic CO₂ emissions [24]. While average biomass values have been used in most calculations of carbon flux between terrestrial ecosystems and the atmosphere, knowledge of the spatial distribution of the biomass is important for better understanding the carbon cycle. Although direct measurements of biomass on the ground are still the most accurate method for biomass estimation, they are however implemented on very small areas and have limitations, among which expensiveness, labor- and time consumption [10]. For that reason, during the last two decades remote sensing techniques and GIS-based multilayer modelling have become promising resources to advance the accuracy in carbon stock (C-stock) estimates, especially in remote areas with difficult access. Satellite data allows the carbon stock to be simultaneously quantified and mapped on different spatial scales and the changes in carbon pools to be monitored in different time intervals – advantages that the traditional techniques based on the field measurement cannot provide. Given the good correlation between AGB and remotely sensed data, regression analysis is the most commonly used method for developing suitable models for AGB and C-stock estimations. Coarse spatial-resolution data greater than 100 m pixel size, including NOAA's AVHRR and MODIS, have been used for AGB and C-stock mapping at national, continental, and global scales [2,6,7,17]. Fine spatial-resolution data with pixel size less than 10 m, such as IKONOS or QuickBird, are usually used for applications at local scale on very small areas [22]. Whilst, the Landsat time-series are the most frequently used medium spatial-resolution data (from 10 to 100 m pixel size) for many applications at local, regional or national scales, including forest AGB and C-stock [1,5,8,19,23]. Against the backdrop of increasing use of the remote sensing techniques, their application on the territory of Bulgaria for spatially explicit C-stock quantification is still scarce.

This work aims to further explore the potential of remote sensing technologies in the study of global carbon balance, and to encourage their uses in national forest management. To achieve this purpose, ND56 Landsat 8 OLI model – the original ND45 Landsat ETM+ model by Goodenough et al. [9] – was applied to quantify forest carbon stocks nationally. The ND45 model, originally developed for Canadian boreal forest ecosystems, was chosen because of the several advantages it has. Firstly, the similarity in spectral and spatial resolutions that the two sensors have. Secondly, the Forest Reflectance and Transmittance, which incorporates four other predictive models, has been used for verification of the results of the ND45 model instead of ground-based biomass measurements, thus increasing the transferability of the model. And finally, Partial Least Squares (PLS) regression algorithm has been applied to achieve the best approximation of $R^2=0.92$, avoiding the multi-collinearity between spectral bands [9].

Data and methods

Site description

The Republic of Bulgaria is situated on the eastern part of the Balkan Peninsula, covering 23% of the peninsula's territory. The country, with an area of 110,993.6 km², extends between 41°14' and 44°13' in latitude, and between 22°21' and 28°36' in longitude. The altitude varies from 0 to 2925 m. The climate is temperate, with Mediterranean influence in the southern part. The average annual temperature fluctuates between 10 and 14°C and the vegetation period is about 7 months. Average annual precipitation amounts to approximately 650 mm. According to [30], the forests consist of 69.3% deciduous and 28.7% coniferous species.

Data processing

Images from satellites Landsat 8 were used to quantify C-stock in Bulgarian forest ecosystems. Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1 data were downloaded on 23 and 24 July 2018 from Landsat 8 collection, freely available through [29]. Nine geometrically correct images, covering the whole territory of Bulgaria, were selected, following two main searching criteria: vegetation period from May to October and cloudiness less than 10%. Satellite data with the best meteorological conditions were found for the years 2015, 2016 and 2017. As a first step the Level 1 data, saved as 16-bit integer values (DN), is converted to TOA reflectance following equations (1) and (2) [27].

$$(1) \quad \rho_{\lambda}' = M_{\rho} * Q_{cal} + A_{\rho}$$

where: ρ_{λ}' is TOA Planetary Spectral Reflectance, without correction for solar angle; M_{ρ} is the reflectance multiplicative scaling factor for the band (from the metadata); A_{ρ} is reflectance additive scaling factor for the band (from the metadata) and Q_{cal} is the L1 pixel value in DN. Then the real TOA Reflectance was calculated, applying correction for the solar elevation angle:

$$(2) \quad \rho_{\lambda} = \rho_{\lambda}' / \sin(\theta)$$

where: ρ_{λ} is the true TOA planetary spectral reflectance and θ is the solar elevation angle (from the metadata).

Quantification and mapping of forest AGB and carbon stock

In this study, the original model ND45 (Landsat 7 ETM+), representing a regression model based on the relationships between forest biomass and ND45 (Normalized Difference 45) vegetation index, is transformed to ND56 (Landsat 8 OLI) in order to quantify forest AGB and C-stock on the territory of Bulgaria, following the procedure of [9]. Firstly, the ND56 (Landsat 8 OLI) vegetation index was calculated for the all 9 satellite scenes using equation (3):

$$(3) \quad ND56_{Landsat8} = 128 * [(b5 - b6) / (b5 + b6)] + 128$$

where $b5$ is the NIR TOA spectral reflectance, and $b6$ is the SWIR TOA spectral reflectance.

Landsat 8 OLI Band-5 (0.851–0.879 μm) and Band-6 (1.566–1.651 μm) were used here, instead of original Landsat ETM+ Band-4 (0.772–0.898 μm) and Band-5 (1.547–1.749 μm). A study, investigating the difference between the Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI sensors by pair comparative analysis of several vegetation indices [12], demonstrated that the difference is very slight, especially for indices using NIR and SWIR-1 spectral bands, which show mean difference and standard deviation of less than ± 0.05 . Once the index was calculated, an 11x11 average filter was applied for all satellite scenes to mitigate extreme values caused by atmospheric or environmental disturbance, as suggested in the original model. The filter is expected to strengthen the correlation between AGB and ND56 vegetation index. Then a mosaic process was carried out, averaging the values in the overlapping areas.

As a second step, the forest ecosystems were delineated. To avoid image classification procedures, CLC2012 CIS-data set [30] was used for obtaining forest areas and forest types. Forest land covering classes 311, 312 and 313 from level 3 of the CLC2012 was selected for deciduous, coniferous and mixed forest types, respectively.

As a third step, forest aboveground biomass was calculated only over forested areas using the regression model of [9], adapted to ND56 (Landsat 8) vegetation index:

$$(4) \quad AGB = -478.58 + 4.5041 * ND56_{Landsat8}$$

where AGB is aboveground biomass volume (m^3ha^{-1}) and ND56 is the vegetation index. With the function proposed by [9], the forest C-stock (kg C ha^{-1}) was calculated for each forest type as follows:

$$(5) \quad \begin{aligned} Cstock_{311} &= AGB * 665 * 0.5 \\ Cstock_{312} &= AGB * 460 * 0.5 \\ Cstock_{313} &= AGB * 562.5 * 0.5 \end{aligned}$$

The wood density value (665 kg m^{-3}) for deciduous forests was calculated as an average between basic densities of oven dry wood [11] for *Fagus sylvatica L.* and *Quercus L.*, which are dominant tree species for Bulgarian deciduous forests. The wood density value used for coniferous forests (460 kg m^{-3}) was calculated as an average between basic densities of oven dry wood for species *Pinus sylvestris L.*, *Picea abies L.* and *Abies alba Mill.*, dominant for Bulgarian coniferous forests. The value of 562.5 kg m^{-3} used to calculate the carbon stock in mixed forest is an average value. Biomass to carbon conversion factor 0.5 was applied for all forest types.

Results and discussion

The results obtained in this study were compared to biomass measurements and C-stock mapping of other European countries with species diversity and natural conditions close to the Bulgarian ones. For easier comparison, the C-stock values obtained in kilograms per hectare were transformed in most commonly used units: tons (mega grams) of carbon per hectare (e.g. t C ha⁻¹ or Mg C ha⁻¹). Although the modelled AGB volume fluctuates widely (Fig. 1), in most forest ecosystems it varies from 160 to 400 m³ ha⁻¹ (approx. from 100 to 260 t ha⁻¹). These values are similar to the growing stock of the Bulgarian forests, estimated by [7] in the EU-wide map of growing stock, based on remotely sensed data with a coarser spatial resolution.

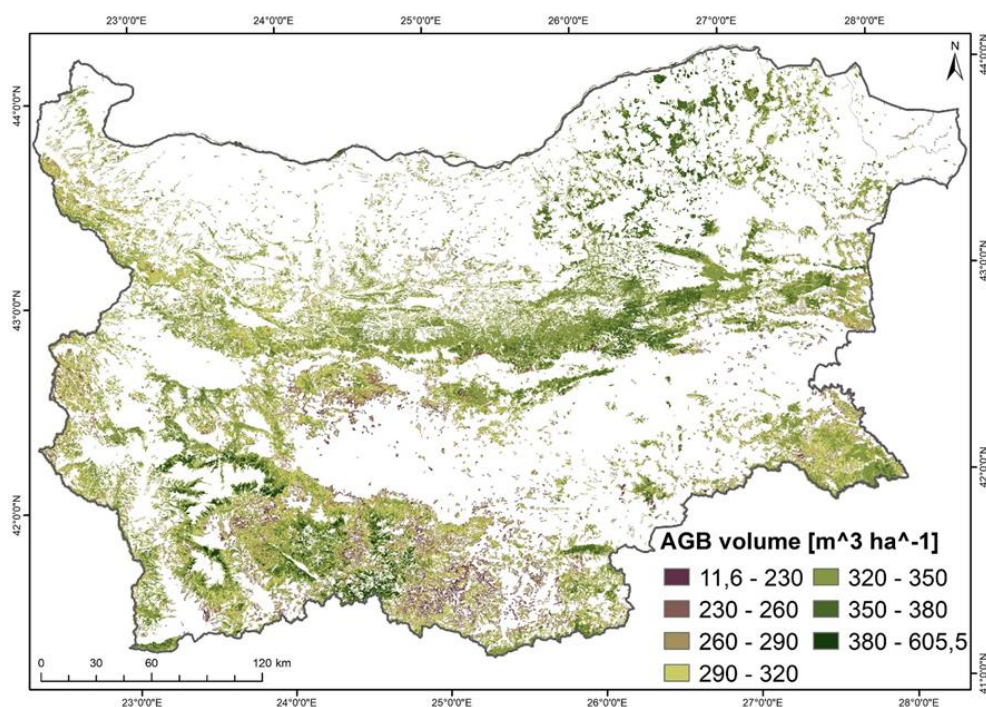


Fig. 1. Aboveground biomass volume of forest ecosystems in Bulgaria (m³ ha⁻¹)

The values of woody biomass derived in this study are also close to the value of 146 t ha⁻¹, for AGB in mixed broad-leaved forests in the Italian Pre-Alps, estimated using low density LiDAR data [16]. Fassnacht et al. [4] estimated a mean of 167 t ha⁻¹ biomass value in Karlsruhe, Germany, using remote sensing (LiDAR) data and ground validating data for 297 inventory plots, obtained by applying species-specific allometric models.

Based on the ND56 model, the total C-stock in Bulgarian forest ecosystems amounts to 336.8 million tons for 35 317 km² forest area (Table 1). Pechanec et al. [18] obtained similar result (206.2 million tons for total area of 24 517 km²) for forest ecosystems of the Czech Republic, using the same method of quantification verified by expert assessment and inventory data. The major part of the total carbon in Bulgarian forest ecosystems is stored in deciduous forests (71.5%). About 16.8% is retained in mixed forests and only 11.7% in coniferous forests.

Table 1. Carbon stock of aboveground biomass in Bulgarian forest ecosystems

Forest type	Forested area [ha]	Total carbon stock [t]	Carbon stock density [t C ha ⁻¹]		
			Minimum	Maximum	Mean
Deciduous forests	2 337 881.5	240 877 800	16.5	201.3	104.9
Coniferous forests	542 771.6	39 146 490	2.7	104.5	72.6
Mixed forests	651 057.9	56 740 950	12.9	127.3	87.5
Forest – total	3 531 711.0	336 765 240	2.7	201.3	96.7

The carbon stored in Bulgarian forests ranges between 2.7 and 201.3 t C ha⁻¹, depending on the forest type (Fig. 2). Comparing the results of Tab.2, it can be seen that [26] obtained similar values of mean carbon density for productive forests in Belgium, based on “biomass expansion factors s.l.” (BEFs s.l.): 85.2 t C ha⁻¹ for forests in Flanders, 105.9 t C ha⁻¹ for forests in Wallonia and 101.0 t C ha⁻¹ on average for all Belgian productive forests. Although the results derived in this work

are comparable to the results of other studies, obtained by different methods, the results' reliability is a complex issue and the accuracy strongly depends on the techniques used. On one hand, the uncertainty of remote sensing measurements is related to the spatial resolution of the data, since a single pixel contains a mixture of information, as well as, to some technical limitations in spectral and radiometric resolutions of the different satellite sensors [14,17,22]. On the other hand, the ground-based measurements, on which the regression models are based, are also prone to errors [5]. Therefore, the accuracy of the estimates may vary significantly, depending on the allometric equation applied, especially in deciduous ecosystems. Seijo et al. [21] reported "a huge variability of results in terms of aboveground carbon storage" of the chestnut forests of Central Spain, applying five different allometric equations: from minimum of 81 to 102 Mg C ha⁻¹ to maximum of 286 to 583 Mg C ha⁻¹. Another aspect that concerns the accuracy of the estimates is transferability of the models between regions. There are factors, such as canopy structure and tree species composition, that can affect AGB estimation results. Many researchers argue that it is difficult to directly transfer a single model to different study areas, but it is generally possible, if the similarity in biophysical parameters and the applicable scale of the original model are taken into account [5,14].

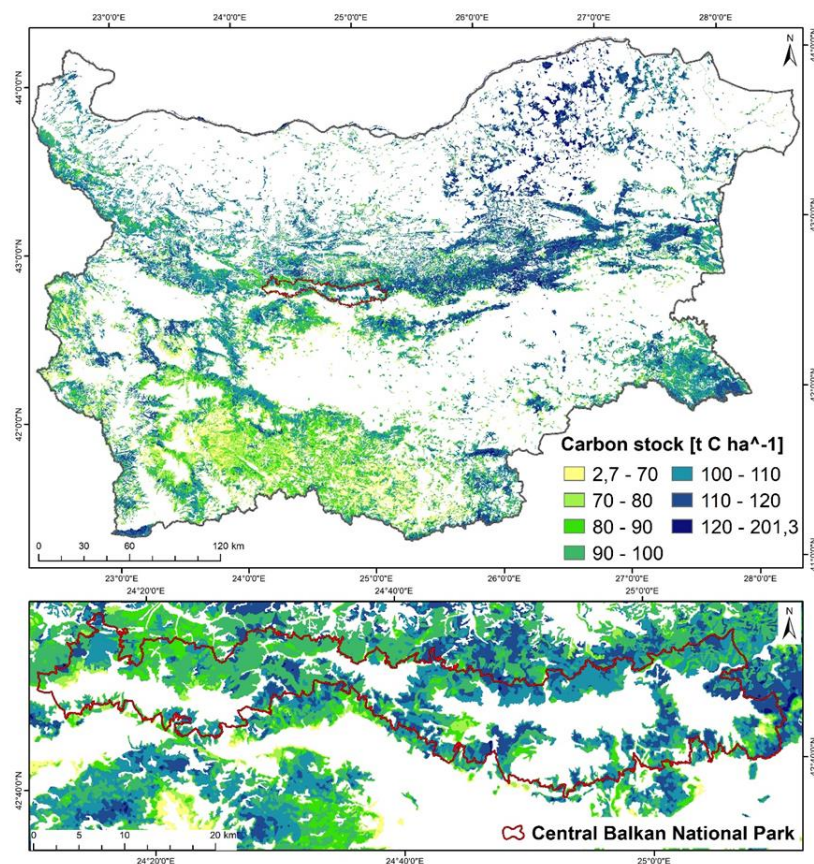


Fig. 3. Carbon content in different forest types:
a) in deciduous forests; b) in coniferous forests; c) in mixed forests

In addition, a small average filter, such as the most often used 3x3 pixels window size [1,6], is not sufficient to establish high correlation between AGB and spectral information, while too large window-size filter can create too much smoothing of the textural variation [13,14]. With this in mind, the results obtained in this study can be used as reference data in future C-stock estimations or model calibrations, as well as in mapping ecosystem services, given that AGB and C-stock are very important indicators for climate regulation ecosystem services, whose role extends beyond the carbon sequestration and also includes "the effect of vegetation on climate via regulation of water vapour and temperature and the provision of shade" [15].

Conclusions

ND56 Landsat 8 OLI model was applied in this study as an adaptation of the original ND45 Landsat ETM+ model in attempt to highlight the potential of remote sensing techniques in forest ecosystem research. As a result, a spatially-explicit quantification of the variability of aboveground

carbon stock and biomass for the entire forested area of Bulgaria was performed at 30x30 meters resolution. The detailed maps show that the AGB volume in the Bulgarian forests ranges from 11.6 to 605.5 m³ ha⁻¹, and the carbon stock from 2.7 to 201.3 t C ha⁻¹, depending on the type and quality of the forests. It was estimated that the total amount of carbon accumulated in the aboveground part of the forests in Bulgaria is 336.8 million tons for a total of 35 317 km² of forest area. These results are comparable to others under similar environmental conditions in Europe. The present study is the first attempt for spatially explicit quantification of carbon stocks in aboveground forest biomass at the national level for the territory of Bulgaria, based on data from remote sensing.

References:

1. Avitabile, V., Baccini A., Friedl M.A., Schmullius C., 2012. Capabilities and limitations of Landsat and land cover data for aboveground woody biomass estimation of Uganda. *Remote Sens. Environ.* 117, 366–380.
2. Baccini, A., Friedl M.A., Woodcock C.E., Warbington R., 2004. Forest biomass estimation over regional scales using multisource data. *Geophys. Res. Lett.* 31, L10501.
3. Bonan, G. B., 2008. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science* 320 (5882), 1444–1449.
4. Fassnacht, F. E., Hartig F., Latifi H., Berger C., Hernández J., Corvalan P., Koch B., 2014. Importance of sample size, data type and prediction method for remote sensing-based estimations of aboveground forest biomass. *Remote Sens. Environ.* 154, 102–114.
5. Foody, G. M., Boyd D. S., Cutler M. E. J., 2003. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. *Remote Sens. Environ.* 85, 463–474.
6. Fraser, R. H., Li Z., 2002. Estimating fire-related parameters in boreal forest using SPOT VEGETATION. *Remote Sens. Environ.* 82, 95–110.
7. Gallaun, H., Zanchi G., Nabuurs G.J., Hengeveld G., Schardt M., Verkerk P.J., 2010. EU-wide maps of growing stock and above-ground biomass in forests based on remote sensing and field measurements. *For. Ecol. Manage.* 260:3, 252–261.
8. Gizachew, B., Solberg S., Næsset E., Gobakken T., Bollandsas O. M., Breidenbach J., Zahabu E., Mauya E. W., 2016. Mapping and estimating the total living biomass and carbon in low-biomass woodlands using Landsat 8 CDR data. *Carbon Balance Manage.* 11:13.
9. Goodenough, D. G., Chen H., Dyk A., Li J., 2005. Multisensor data fusion for aboveground carbon estimation. *Proc. XXVIIIth General Assembly of the International Union of Radio Science (URSI)*, New Delhi, India, vol. CD 400:1–4.
10. Houghton, R. A., 2005. Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance. *Glob. Chang. Biol.* 11, 945–958.
11. Krajnc, N., 2015. Wood Fuels Handbook. FAO of the United Nations, Pristina.
12. Li, P., Jiang L., Feng Zh., 2014. Cross-comparison of vegetation indices derived from Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+) and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) sensors. *Remote Sens.* 6:1, 310–329.
13. Lu, D., Batistella M., 2005. Exploring TM image texture and its relationships with biomass estimation in Rondonia, Brazilian Amazon. *Acta Amaz.* 35:2, 249–257.
14. Lu, D., 2006. The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *Int. J. Remote Sens.* 27:7, 1297–1328.
15. Maes, J., Paracchini M. L., Zulian G., 2011. A European Assessment of the Provision of Ecosystem Services: Towards an Atlas of Ecosystem Services. EUR – Scientific and Technical Research series, EUR 24654 EN – Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg.
16. Montagnoli, A., Fusco S., Terzaghi M., Kirschbaum A., Pflugmacher D., Cohen W.B., Scippa G.S., Chiatante D., 2015. Estimating forest aboveground biomass by low density lidar data in mixed broad-leaved forests in the Italian Pre-Alps. *For. Ecosyst.* 2:10.
17. Moreno, A., Neumann M., Hasenauer H., 2016. Optimal resolution for linking remotely sensed and forest inventory data in Europe. *Remote Sens. Environ.* 183, 109–119.
18. Pechanec, V., Strzinek F., Purkyt J., Sterbova L., Cudlin P., 2017. Carbon stock in forest aboveground biomass – comparison based on Landsat data. *Cent. Eur. For. J.* 63, 126–132.
19. Safari, A., Sohrabi H., Powell S., Shataee Sh., 2017. A comparative assessment of multi-temporal Landsat 8 and machine learning algorithms for estimating aboveground carbon stock in coppice oak forests. *Int. J. Remote Sens.* 38:22, 6407–6432.
20. Schimel, D., Grubb M., Joos F., Kaufmann R., Moss R., Ogana W., Richels R., Wigley T., 1997. Stabilization of Atmospheric Greenhouse Gases: Physical, Biological and Socio-economic Implications, in: Houghton J.T., Filho L.G.M., Griggs D.J., Maskell K. (Eds.). IPCC Technical Paper III.
21. Seijo, F., Cespedes B., Zavala G., 2018. Traditional fire use impact in the aboveground carbon stock of the chestnut forests of Central Spain and its implications for prescribed burning. *Sci. Total Environ.* 625, 1405–1414.
22. Sousa, A. M. O., Goncalves A. C., Mesquita P., Marques da Silva J.R., 2015. Biomass estimation with high resolution satellite images: A case study of *Quercus rotundifolia*. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 101, 69–79.

23. Suhardiman, A., Tampubolon B.A., Sumaryono M., 2018. Examining spectral properties of Landsat 8 OLI for predicting above-ground carbon of Labanan Forest, Berau. 1st International Conference on Tropical Studies and Its Application (ICTROPS), IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 144, 012064.
24. van der Werf, G. R., Morton D. C., DeFries R. S., Olivier J. G. J., Kasibhatla P. S., Jackson R. B., Collatz G. J., Randerson J. T., 2009. CO₂ emissions from forest loss. *Nat. Geosci.* 2, 737–738.
25. Vashum, K. T., Jayakumar S., 2012. Methods to Estimate Above-Ground Biomass and Carbon Stock in Natural Forests - A Review. *J. Ecosyst. Ecogr.* 2:116.
26. Walle, I. V., Camp N. V., Perrin D., Lemeur R., Verheyen K., Wesemael B.V., Laitat E., 2005. Growing stock-based assessment of the carbon stock in the Belgian forest biomass. *Ann. For. Sci.* 62, 853–864.
27. Zanter, K., 2016. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. USGS, LSDS-1574, Version 2.0.

Websites:

28. Eurostat news release, 4 May 2018. [Online]. Available at: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-press-releases/-/8-04052018-BP>. (Accessed: 17-Aug-2018)
29. USGS Science for a changing world. Landsat collection 1 Level-1 (Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1). [Online]. Available at: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Accessed: 23-Jul-2018 and 24-Jul-2018)
30. National Reference Centre, Executive Environmental Agency at the Bulgarian Ministry of Environment and Waters. CLC2012 BG data set. [Online]. Available at: <http://eea.government.bg/bg/projects/korine-14/kzp-danni-clc-data> (Accessed: 04-Dec-2014)

ПРОСЛЕДЯВАНЕ НА ПРОМЕНИ ВЪВ ВОДНИ ПЛОЩИ В ГРАНИЦИТЕ НА ЗАЩИТЕНИ ЗОНИ НА БАЗАТА НА ДАННИ ОТ ПРОГРАМА КОПЕРНИК

Камелия Радева¹, Силвия Кирилова²

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

²Университет по архитектура, строителство и геодезия

e-mail: Kamelia.Radeva@space.bas.bg; silvia79kirilova@abv.bg

Ключови думи: дистанционни изследвания, спътникови данни, програма „Коперник“, междинен екологичен мониторинг (MEM), водни обекти, защитени зони, парникови газове от сектор земеползване, промени в земеползването и горското стопанство (ЗПЗГС),

Резюме: Целта на изследването е да се проследят промените във водни повърхности и тела, разположени в защитени зони, като се използват данни за дистанционно наблюдение от програмата Copernicus. Проучването включва водни повърхности и тела в защитени територии (ЗЗ) Ропотамо - BG0001001, Караагач BG0000143, Атанасовско езеро BG0000270, Бургаско езеро BG0000273. Изследването е направено въз основа на данни от Sentinel 2 и Landsat 5 и Landsat 8 за период между 2012-2019 г. Резултатите показват, че промените в площта на водните обекти в съответствие с Плана за управление на речните басейни, вследствие от изменението на климата, което влияе върху количеството на повърхностните и подземните води, отразяващи състоянието на флората и фауната в защитените територии, могат да бъдат наблюдавани въз основа на дистанционни изследвания. Резултатите могат да бъдат използвани при изпълнението на Междинен екологичен мониторинг (MEM) като допълнителна информация за екологичното състояние на защитени зони в България. Освен това резултатите могат да осигурят подкрепа за вземащите решения с оглед мониторинг на защитените територии, управление на риска от наводнения и мониторинг и проверка на емисиите на парникови газове от сектор „Земеползване, промени в земеползването и горското стопанство (LULUCF)“.

TRACKING CHANGES IN WATER SURFACES IN PROTECTED AREAS BASED ON REMOTE SENSING DATA FROM COPERNICUS PROGRAM

Kameliya Radeva¹, Silvia Kirilova²

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²University of Architecture, Civil Eng. and Geodesy – Sofia

e-mail: : Kamelia.Radeva@space.bas.bg; silvia79kirilova@abv.bg

Keywords: Remote sensing, satellite data, Copernicus programme, interim ecological monitoring(IEM), water bodies, protected areas , GHG emissions from LULUCF

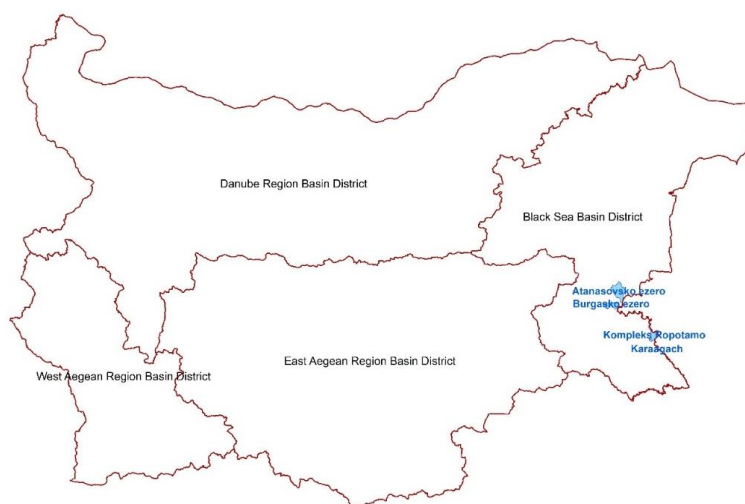
Abstract: The aim of the study is to track changes in water surfaces and bodies situated in protected areas using remote sensing data from Copernicus program. The study includes water surfaces and bodies in protected areas (PA) Ropotamo - BG0001001, Karaagach BG0000143, Atanasovsko lake BG0000270, Bourgas lake BG0000273. The investigation is made based on Sentinel 2 and Landsat 8 OLI, Landsat 5-ETM data for time period between 2012-2019. The results show that changes in “Area” of water bodies with accordance with River basin Management Plan, as a consequence of climate change that influences the quantity of surface and underground water reflecting the flora and fauna status in protected areas, can be monitored based on remote sensing. The results can be used in implementation of Interim Ecological Monitoring(IEM) as additional information for the ecological status of protected areas in Bulgaria. Further, the results can provide support for decision makers with a view to protected areas monitoring, flood risk management and monitoring and verification of GHG emissions from LULUCF.

Въведение

Площта на водни обекти в обхвата на защитени зони и територии е важен фактор за функционалността им. Данни за промяна на площта на водни обекти, осигурени вследствие на прилагане на дистанционните изследвания, е възможно да осигурят или подпомогнат отговорните институции при вземане на решения за разработване или актуализиране на планове и стратегии в областта на мониторинг на околната среда – мониторинг на водни обекти (превенция от наводнения), мониторинг на промени в защитени зони/територии. Резултатите от проследяване на площта на водни обекти в обхвата защитени/ влажни зони могат да подпомогнат процеса на инвентаризация на емисии на парникови газове от сектор „Земеползване, промени в земеползването и горското стопанство“.

Обект на изследване

Изследването включва водни обекти, които попадат в Източна България, в обхвата на Черноморската Басейнова Дирекция за управление на водите и на териториите на защитена зона (33) Ропотамо (BG0001001) и 33 „Комплекс Рототамо“ (BG0002041), 33 Караагач (BG0000143), 33 Атанасовско езеро (BG0000270), 33 Бургаско езеро (BG0000273). На фиг. 1 са показани местоположенията на изследваните обекти.



Фиг. 1. Местоположение на изследваните обекти в обхвата на териториите на 33 Ропотамо (BG0001001) и 33 „Комплекс Рототамо“ (BG0002041), 33 Караагач (BG0000143), 33 Атанасовско езеро (BG0000270), 33 Бургаско езеро (BG0000273)

Бургаското езеро попада в защитена зона Бургаско езеро. То е най - голямото естествено езеро в страната. Разположено е в сърцето на гр. Бургас и във водното тяло се вливат три характерни реки Айтоска, Съндър дере и Чакърлийка, както и други по малки реки и дерета. Атанасовското езеро попада в защитена зона Атанасовско езеро. То също е разположено в пределите на гр. Бургас. Езерото е част от Бургаският езерен комплекс. В него не се вливат много реки, само няколко дерета – Петмез дере, Дермен дере и Мешели дере. Лимана на р. Ропотамо, който е разположен в 33 Ропотамо (BG0001001) и 33 „Комплекс Рототамо“ (BG0002041). Атлиманското блато е бивша крайбрежна лагуна разположено югоизточно от гр. Китен. На север блатото граничи с р. Караагач, в която при високи в оди блатото се запълва с вода. Подхранването му се осъществява от непостоянни течащи води, който през лятото често пресъхват и намаляват доста водния обем на Атлиманското блато. Те са част от защитена зона „Караагач“.

Съгласно плана за управление на речните басейни (ПУРБ) на Черноморската басейнова дирекция, изследваните повърхностни водни тела, които попадат в защитени зони имат следните основни характеристики, посочени в Таблица 1.

Таблица 1. Основни характеристики на изследваните водни обекти

Речен басейн	Име на повърхностното водно тяло	Код на водното тяло, което попада в защитената зона	Водна площ (km ²)/ Дължина* (км)	Европейски идентификационен код на защитената зона
Севернобургаски реки	Бургаското езеро	BG2SE900L037	27,6	BG0000273
Севернобургаски реки	Атанасовско езеро	BG2SE900L027	14,74	BG0000270
Южнобургаски реки	Атлиманско блато		0,05	BG0000143
	р. Караагач	BG2IU600R1013	4,06	
Южнобургаски реки	р. Ропотамо	BG2IU200R1005	8,97	BG0001001 BG0002041

*Дължина на река в обхвата на посочената защитена зона.

Материали и методи

За целите на настоящото изследване са използвани ортофото изображения (2012, 2013, 2016, 2017) и спътникови изображения от спътниците Landsat 5-ETM (2012), Landsat 8-OLI (2013-2017) и Sentinel 2 A, B (2018-2019) и хидроложки данни за сумарните валежи от метеорологична станция „Бургас“ (2012-2019).

Избор на подходящи спътникови изображения за визуализиране на водните площи в защитените зони на територията на югоизточна България е осъществен според наличните и достъпните за ползване изображения от двата спътника, подходящи за настоящото изследване. Данните са взети от Коперникус хъб: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, и от <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Данните за водите са заимствани от План за управление на речните басейни (ПУРБ)** на Черноморската басейнова дирекция. Векторните данни и растерните изображения са заимствани от база данни на проект за интегрирано управление на водите разработен от JICA за МОСВ.

Извършена е първична (а) и вторична(б) обработка на спътниковите данни, които включват (а) създаване на композитни изображения; създаване на мозайка от изображения за водните площи; Векторизиране на водните площи в района на защитените зони; Векторизиране на всяка водна площ по отделно за съответния период и (б) Визуализиране на всяка една от водните площи в защитените зони по години, за периода 2012-2019 г.

Векторизацията е направена на базата на композитните спътникови изображения от спътниците Landsat и Sentinel 2. Изборът е направен въз основа на налични и достъпни сцени, както и с отсъствието на облачна покривка.

Таблица 2. Спътникови данни

Година	Спътник	Дата	Година	Спътник	Дата
2012	Landsat 5 ETM	19/08 – сцена 181-030	2016	Landsat 8 OLI	11/06 – сцена 181-030
2013	Landsat 8 OLI	19/07 – сцена 181-030	2017	Landsat 8 OLI	A 16/08
2014	Landsat 8 OLI	08/07 – сцена 181-030	2018	Sentinel 2 L2A	26/08
2015	Landsat 8 OLI	28/08 – сцена 181-030	2019	Sentinel 2 L2B	27/07

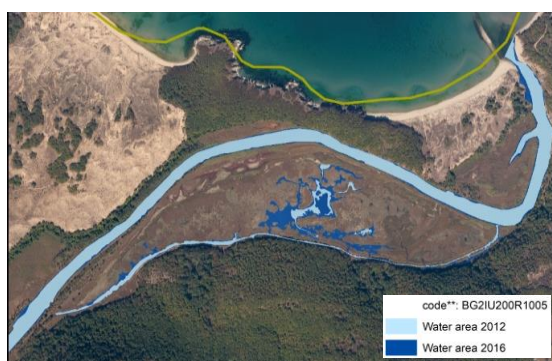
Информационният масив от данни за месечната сума на валежите за изследвания период (2012-2019) е взета от интернет страницата <https://www.stringmeteo.com/synop/>.

Таблица 3. Метеорологични данни за месечната сума на валежите от метеорологична станция „Бургас“ (2012-2019)

Период	08.2012	07.2013	07.2014	08.2015	06.2016	08.2017	08.2018	07.2019
Месечна сума на валежите МС Бургас	22.9	34.2	107	18.4	21.4	37.4	19.9	63.2

Резултати

Резултатите, представени в Таблица 4, представят данни за изменение на площта на водните обекти в 33 Ропотамо, 33 Караагач и 33 Бургаско езеро използвайки данни от ортофото изображения и Sentinel данни. Информацията е достатъчна за установяване на постоянна/непостоянна или устойчива/неустойчива промяна в площта на водните обекти. (Фиг. 2, Фиг. 3 и Фиг. 4).



Фиг. 2. Изменение на водните площи на воден обект в 33 Ропотамо (BG0001001) и 33 „Комплекс Рототамо“ (BG0002041)



Фиг. 3. Изменение на водните площи на воден обект в 33 Караагач (BG0000143)



Фиг. 4. Изменение на водните площи на воден обект в 33 Бургаско езеро (BG0000273)



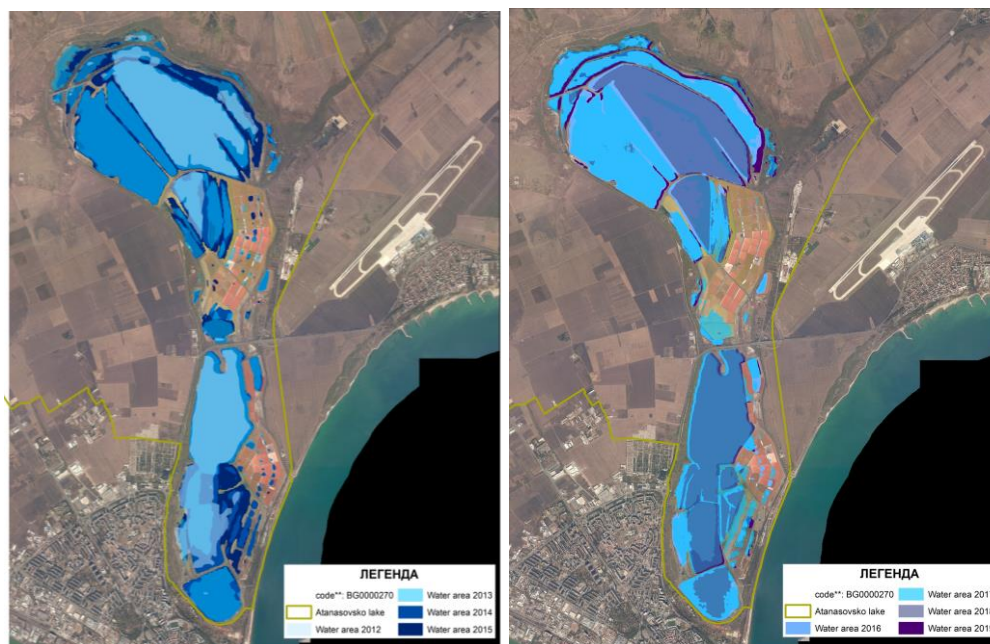
Фиг. 5. Изменение на водните площи на воден обект в 33 Атанасовско езеро (BG0000270)

За проследяване изменението на водните площи в 33 Ропотамо (BG0001001) и 33 „Комплекс Рототамо“ (BG0002041), 33 Караагач (BG0000143), 33 Бургаско езеро (BG0000273) са използвани данни от ортофото изображения и Sentinel 2. Базирайки се на тези данни, резултати показват, че не се наблюдава драстично изменение на промяна в площта на водния обект за разглеждания период.

За проследяване на изменението на водните площи в 33 Атанасовско езеро (BG0000270) са използвани също и данни от Landsat 5-ETM и Landsat 8-OLI за допълване на информация за изменение на площта на водните обекти за целия период 2012-2019 г. Създадената времева серия се използва за визуализация и последваща обработка на площта на водния обект в защитената зона 33 Атанасовско езеро (BG0000270). Резултати показват постоянна промяна в площта на водния обект за разглеждания период. (Фиг. 6).

Таблица 4. Площ на изследваните водни обекти за периода 2012-2013, 2016-2017 и 2012-2019 г.

Код повърхностно водно тяло	Наименование на водния обект	Водна площ за 2012 г.	Водна площ за 2013 г.	Водна площ за 2014 г.	Водна площ за 2015 г.	Водна площ за 2016 г.	Водна площ за 2017 г.	Водна площ за 2018 г.	Водна площ за 2019 г.
		km ²	km ²	km ²	km ²	km ²	km ²	km ²	km ²
BG2SE900L037	Бургаско езеро	24,16	х	х	х	23,3	х	х	х
Неприложимо	Атлиманското блато	х	0,0135	х	х	х	0,024	х	х
BG2IU600R1013	Р. Караагач	х	0,033	х	х	х	0,036	х	х
BG2IU200R1005	Р. Ропотамо	0,145	0,213	х	х	0,139	0,2	х	х
BG2SE900L027	Атанасовското езеро	4,55	7,47	9,85	7,59	8,0	7,73	5,45	8,32



Фиг. 6. Визуализация на промени във водната площ на 33 Атанасовско езеро по години 2013, 2014, 2015, 2017, 2018, 2019

Получените резултати могат да се използват при прилагане на методика за междинен екологичен мониторинг, както на изследваните водни обекти за промяна в площта на водни тела и установяване на промени в екологично състояние на защитени зони.

$$(1) \Delta A_{t_j, t_m}^i = A_{t_j}^i (P_1^i, P_2^i, \dots, P_k^i) - A_{t_m}^i (P_1^i, P_2^i, \dots, P_k^i) \quad , \text{ където}$$

$\Delta A_{t_j, t_m}^i$ – Оценка на времеви интервали преди и след прилагане на междинен екологичен мониторинг за даден вид екосистема (i)

$A_{t_j}^i$ – Оценка на времеви интервали преди прилагане на междинен екологичен мониторинг за даден вид екосистема (i)

$A_{t_m}^i$ – Оценка на времеви интервали в периода на прилагане на междинен екологичен мониторинг (i)

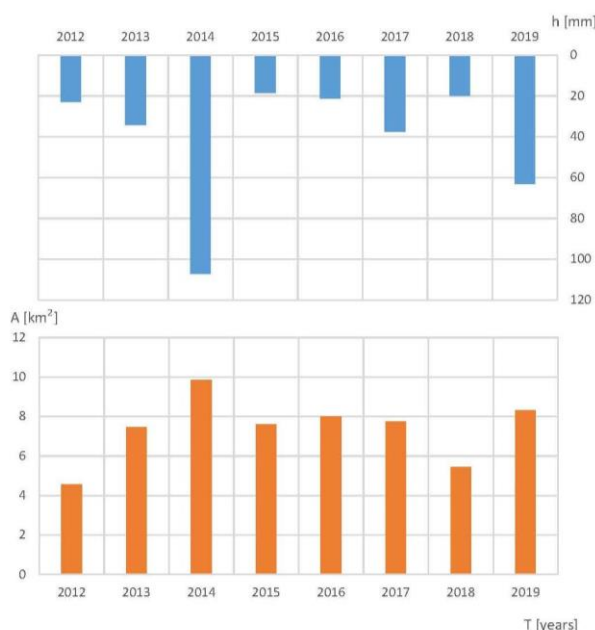
$P_1^i, P_2^i, \dots, P_k^i$ – индекси от група параметри 1), 2), 3)

$$(2) \Delta A_{\text{юли}_{2012}\text{юли}_{2019}}^{33 \text{ Ат.езеро}} = A_{\text{юли}_{2012}}^{33 \text{ Ат.езеро}}(P_1^{33 \text{ Ат.езеро}}) - A_{\text{юли}_{2019}}^{33 \text{ Ат.езеро}}(P_1^{33 \text{ Ат.езеро}}), \text{ където } P_1 - \text{водна}$$

площ на изчислена на базата на данни от дистанционни методи

За установяване на зависимостта между изменение на площта на водния обект в 33 Атанасовско езеро и влиянието на климатичните промени са използвани метеорологични данни за сумарните валежи от метеорологична станция „Бургас“ (2012-2019). Графично данните са показани на Фиг. 7. Графиката изразява зависимостта на валежа [mm] (горе) и водните площи [km²] (дол) в отделните месеци през годините, в които са използвани спътникови данни.

Графиката ясно изразява поведение на увеличение на валежа с увеличение на водната площ на 33 „Атанасовско езеро“ и обратно. Анализът е извършен на базата на месечната сума на валежа без отчитане на изпарението от водна повърхност поради липса на контролно измервателни уреди.



Фиг. 7. Графично представяне на сумарния месечен валеж с водната площ по години за 33 „Атанасовско езеро“

Заклучение

Изменението на площта на водни обекти в обхвата на защитени зони и територии е възможно да се изследва използвайки данни от програма „Коперник“. Резултати е възможно да се използват като допълнителна информация към други модели за изследване и оценка на състоянието на екосистеми.

Литература:

1. Nedkov, R. Assessment of information efficiency and data quality from microsatellite for the need of ecological monitoring, Bulgarian Academy of Sciences. Space Research and Technology Institute. Aerospace Research in Bulgaria. 24, 2012, Sofia
2. Мардиросян, Г. Аерокосмически методи в екологията и изучаването на околната среда, ISBN: 954-430-939-X(1), 204 стр, 2003
3. Kirilova, S., R Nedkov., S. Modev., K. Radeva, E. Ivanova. Ecohydrological monitoring on the river maritsa basin, limited from sources to belovo city, using gis on the base of satellite, gps and ground data“, Ecological engineering and environment protection, 4, 2011, pp. 5–13
4. Toner, M, P.Keddy. River Hydrology and Riparian Wetlands: A Predictive Model for Ecological Assembly. Ecological Applications 7 (1),1997, pp. 236–246.
5. Radeva, K. Aspects and perspective of Interim Ecological Monitoring application on ecosystems by means of Remote sensing, Ecological engineering and environment protection, 2, 2018, pp. 26–34

ОТКЛИКЪТ НА ЧЕРНО И КАСПИЙСКО МОРЕТА НА СЛЪНЧЕВАТА АКТИВНОСТ

Ангел Манев, Веселин Ташев

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

Ключови думи: температура, аномалии, спътник, Черно море, слънце

Резюме: В проведеното изследване се дискутират особености на регистрацията на кратковременни слънчеви изменения и въздействието им върху температурата на морската повърхност на двете морета. Определени са възможните синхронни геофизични и слънчеви ситуации при които съществуват условия за моделиране на слънчевото въздействие в рамките на 14 годишен период. Описани се особеностите на синхронната обработка на двата вида данни – за температурата на моретата и слънчевата активност.

THE RESPONSE OF THE BLACK AND CASPIAN SEAS TO THE SOLAR ACTIVITY

Angel Manev, Veselin Tashev

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

Keywords: temperature, anomaly, satellite, Black Sea, sun

Abstract: The study discusses the features of the registration of short-term solar changes and their impact on the sea surface temperature of the two seas. The possible synchronous geophysical and solar situations in which there are conditions for modeling the solar impact in a 14-year period are determined. The peculiarities of the synchronous processing of the two types of data - for the sea temperature and the solar activity are described.

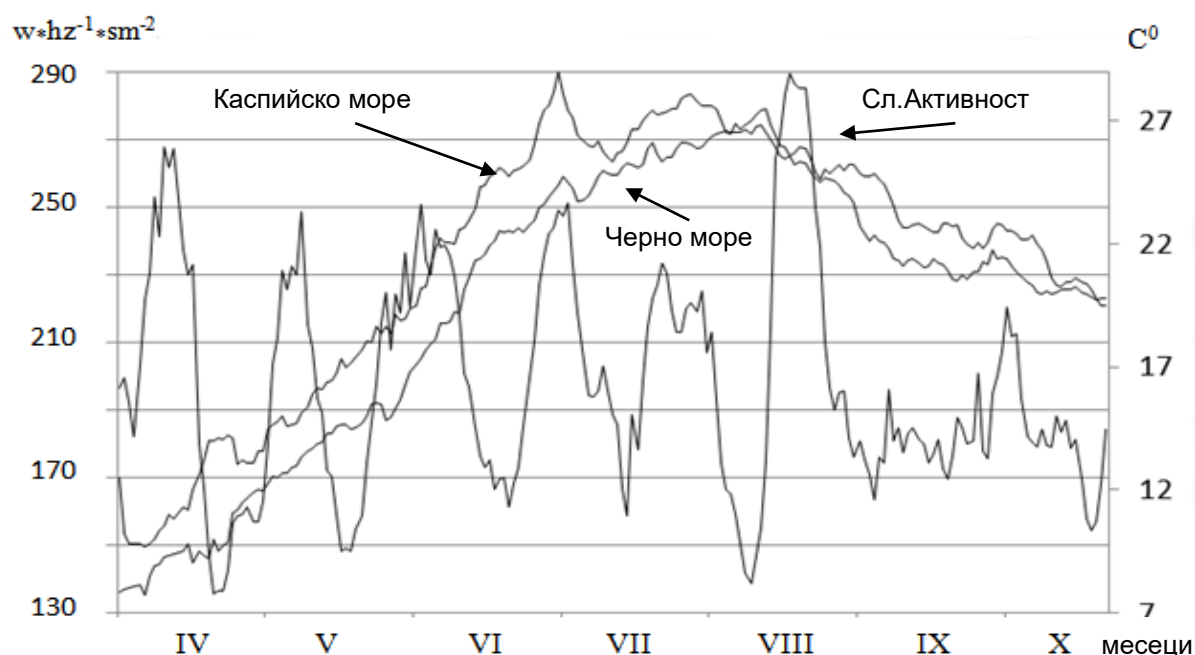
Черно и Каспийско морета са затворени континентални морета с всички условия за консервативност на хидро-динамичните характеристики на водите им. Двете морета са отделени от океаните и в акваторията им няма значителен приток на външни води. Стокът се осъществява предимно за сметка на втичащите се сладки води от прилежащите им реки и дъждовете над тях. Циркулационните процеси на водите в моретата са отчетливо диференцирани и стабилни в рамките на годината. Според тези чисто географски особености, двете морета изглеждат много удобни да използването им като полигони за регистрирането на слънчево-земните въздействия [1]. Разбира се след детайлен анализ на метеорологичните условия и състоянието на атмосферата над тях.

Целта на проведеното изследване е да се определят граници на възможността да се моделира едновременната синхронност, в рамките на няколко дни, между слънчевата активност и положителните температурни аномалии на двете море. Спътниковите данни са единствените, чрез които може да стане съпоставката на динамиката на температурите на големи морски обекти и съответстващата им във времето слънчева активност.

Използваните данни за изследването са два вида: Първо са ежедневните данни от инфрачервения радиометър с повишена разделителна способност AVHRR, инсталиран на платформите системата от спътници на NOAA на САЩ [3]. От ежедневно формираните температурни карти от района на Черно и Каспийско морета за годините от 1985 до 1999 години са използвани тези с разделителна способност 9x9 km, която е напълно достатъчна за

нуждите на изследването. Вторият вид данни са тези за ежедневното състояние на слънчевата активност за същия период от време. Ежедневните данни могат да се изтеглят от сайта на Световния център за данни в Русия и Украйна [4].

Графиките на Фигура 1 демонстрира динамиката на изменение на ежедневните температурни данни на повърхността на моретата и тези за слънчевата активност за 1993 година. Максималните ежедневни относителни отклонения при слънчевата активност са от порядъка на 1.9-2.0%, докато тази за моретата е от порядъка на 0.6-0.7%. Или налице е по-голяма консервативност на изменение температурите на моретата в сравнение с това на слънчевата активност. По тази причина при анализа на връзките между двете явления се явява синхронната поява на температурна аномалия на повърхността на моретата и в последствие да се анализира състоянието на Слънцето в това време.



Фиг. 1

На анализ са подложени измененията на повърхностните температури на Черно и Каспийско море за периода 1985-1999 години, като данните за 1988 година липсват. На повърхността на моретата се определят 5 за Черно и 4 за Каспийско морета контролни зони с размери 75x75 km. Зоните са разположени достатъчно далеч от крайбрежните зони за да се избегне влиянието на сушата и се намират в областта на характеристични за моретата полета.

На първият етап от изследването интерактивно със специализиран софтуер се локализираха 194 броя аномалии съответно на Черно и Каспийско море. Определянето на достоверните аномалии става на базата на четири критерия :

1. Първото откриване на температурната аномалия се тества за достатъчна значимост. Определя се денонощният градиент на температурата за съседните три денонощия. Ако той надвишава горната граница на характерната за сезона динамика от не повече от 0.2 °C на денонощие с поне 0.1 °C се приема, че това е сигнал, че може да започне температурна аномалия.

2. Приема се, че за да е валидна аномалията, тя трябва да се проявява поне върху едновременно на поне 4 или 3 подзони съответно на Черно и Каспийско море. Така се изключва влиянието на локални метеорологични фактори, които ще повлияят на крайните резултати от изследването.

3. След това, всяка определена аномалия на едното море, тя се съпоставя с наличието на подобна аномалия на на другото море. Така се валидизират само аномалии, които се проявяват на двете морета по едно и също време.

4. Валидираните аномалии, се подлагат на тест за синхронност - провежда се корелационен анализ, между времевите редове на температурите на двете морета. Изследването обхваща 1, 2 и 3 денонощия преди и след регистриран максимум на аномалията.

Резултатите от прилагането на четирите филтриращи процедури, доведоха до определянето само на 31 аномалии, които се проявяват едновременно на повърхността и на двете морета с продължителност 3 и 7 денонощия. За изследвания период от 14 години, липсват аномалии с продължителност 5 денонощия, които да са едновременно проявени и за двете морета като аномалиите с продължителност 3 денонощия са 10, а тези със 7 са 14. Три дневните аномалии се проявяват само в рамките на трите денонощия, като такива не се определят тези, които продължават 7 денонощия.

Следваият етап на изследването включва съпоставка на регистрираните аномалии и състоянието на слънчевата динамика по това време. Проведе се корелационен анализ за синхронност между изменението на слънчевата активност и съответно хода на температурите на всяко от двете морета. Резултатът е показан в Таблица 1.

Таблица 1

Дата	ΔT	ДМ	С-ЧМ	С-КМ
04.09.1985г.*	7	0.851	0.896	0.903
24.09.1985г.	7	0.838	0.752	0.834
05.07.1986г.	7	0.909	0.865	0.747
24.07.1986г.	3	0.960	-0.843	-0.660
06.10.1986г.*	7	0.923	-0.555	-0.765
10.04.1987г.	7	0.987	0.879	0.917
14.09.1987г.	3	0.785	-0.855	-0.993
03.07.1989г.	7	0.613	-0.761	-0.752
14.07.1989г.	7	0.748	-0.887	-0.787
11.07.1990г.	7	0.982	0.854	0.786
23.09.1990г.*	3	0.738	-0.652	-0.993
12.08.1991г.	3	0.976	0.932	0.988
12.05.1992г.	7	0.706	0.746	-0.681
24.06.1992г.	7	0.878	0.820	0.791
09.08.1993г.	3	0.943	0.970	0.832
18.09.1993г.	7	0.720	0.645	0.671
19.06.1995г.	3	0.897	0.877	0.999
27.06.1995г.	3	0.778	0.992	0.691
01.07.1997г.*	3	0.972	0.847	0.688
29.08.1997г.	3	0.922	0.88	0.629
19.05.1998г.	7	0.835	-0.686	-0.788
13.05.1999г.	7	0.794	-0.921	-0.800
20.06.1999г.	3	0.626	0.641	1.000
21.08.1999г.	7	0.836	-0.642	-0.806

В първата колона е показана датата на максимума на съответната аномалия, регистрирана на повърхността на двете морета. Втората колона ΔT е продължителността на съответната аномалия. В третата колона са корелационните коефициенти на изменението на хода на температурите между двете морета. В четвъртата и петата колона са съответно корелационните коефициенти между хода на слънчевата активност и всяко едно от моретата – съответно Черно и Каспийско.

При корелационния анализ на изменението на параметрите се прилага съвсем малко понижан критерий за достоверност на корелациите поради големите, скокообразни изменение на слънчевата активност в рамките на 3 до 7 денонощия. Вместо общоприетият критерий за минимална достоверна корелация, според корелацията по Пирсон, от 0.70, ние приемаме за възможни и корелациите с долна граница 0.620. Такова разширение на допустимите стойности на корелацията по Пирсон е допустимо и поради много малкият брой събития, които би могло

да се използват за изследване на слънчево-земните връзки в анализирания 14 годишен период.

Наличието на антициклон над морето, или на части от него води до повишаване на повърхностната температура поради адиабатното нагряване на спускащите се въздушни маси в центъра на антициклона. Загряването от този тип не се дължи на аномално Слънчево въздействие. За изясняването на този вид ситуации е проведен сноптичен анализ на баричните полета над морските басейни за всяка от посочените дати в Таблица 1 е на базата на данни от [2]. Разглеждайки последователността на сноптичните карти над Европа [8] действително понякога се наблюдава преминаване на антициклон. В Таблицата със звезда са отбелязани датите на които има основани е да се предполага, че над морските басейни на Черно и Каспийско морета са установени антициклонални образувания. За останалите посочени аномалии не се регистрира наличие на задържащи се антициклони.

От Таблицата е видно, че синхрон между повишаващата се слънчева активност и съответно повишаване на температурата на моретата може да се наблюдава само при 14 от аномалиите. При другите 10 аномалии няма пряко съответствие на характера на изменение на Слънчевата активност и поведението на температурите на повърхността на моретата.

Проведеното изследване определя границите на моделирането на генерацията на краткосрочните температурни аномалии на повърхността на Черно и Каспийско морета. Посочени са и дните в които се наблюдават аномалии, удобни за детайлни пресмятания на точното слънчево въздействие върху морската повърхност. Те съвсем не са толкова много и трябва много внимателно да се анализира всяка ситуация сама за себе си, преди да се правят обобщени изводи.

Литература:

1. Манев, А., А. Стоев, В.Ташев, Динамични характеристики на основните параметри на краткотраините температурни аномалии на повърхността на Черно и Каспийско морета, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция 28-29 май 2020 година, Велико Търново 2020 г., Издателски комплекс на НБУ „Васил Левски“, ISSN 2367-7481, стр.574-582
2. Archiv-Version des Animationstools: Verfügbarkeit und Datenquelle,
http://www1.wetter3.de/hilfe_archiv_gfs_dt.html
3. NOAA/NASA, 1998, AVHRR Oceans Pathfinder, Sea Surface Temperature Data Set, User's Reference Manual, Version 4.1, February 23,
<ftp://ftp.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/pathfinder/Version5.0/Daily/>
4. <http://www.wdcb.ru/stp/data/solar.act/flux10.7/daily/>

ОСВЕТИТЕЛНА УРЕДБА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ РАСТЕЖА И РАЗВИТИЕТО НА ЕДНОКЛЕТЪЧНИ ВОДОРАСЛИ

Светлана Велинова, Красимир Велинов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ – София, НИЛ „Осветителна техника“
e-mail: svetliv@mail.bg; candela@mail.bg

Ключови думи: LED, фотосинтеза, фотосинтетична активна радиация (ФАР), отглеждане на водорасли и растения на изкуствена светлина

Резюме: Отглеждането на едноклетъчни водорасли е ефективен начин за бързо производство на протеини. В същото време те усвояват въглеродния двуокис и генерират кислород. При екстремни условия на живот, липса на подходяща почва, земна атмосфера и естествена светлина, едноклетъчните водорасли са възможност за осигуряване на храна и кислород. Като примери могат да се посочат колонии на Марс, Луната или в Космоса. При такива условия се налага използването на изкуствена светлина. За да се изследва коя част от спектъра на видимата светлина влияе най-силно върху растежа и развитието на едноклетъчните водорасли, през 2019 г. в НИЛ „Осветителна техника“ към Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ беше създадена специализирана осветителна уредба.

Този доклад описва осветителната уредба и представя някои пилотни експерименти с отглеждане на водорасли - Спирулина и Хлорела. За измерванията е използван спектрометричния спектроскоп 1201 идентификационен № 3141020 на JETI Technische Instrumente GmbH.

Резултатите от изследванията ще позволят да се отглеждат едноклетъчни водорасли при изкуствена светлина с минимален разход на енергия.

LIGHTING SYSTEM FOR STUDYING THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF UNICELLULAR ALGAE

Svetlana Velinova, Krasimir Velinov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" – Sofia, Research Laboratory "Lighting Technology"
e-mail: svetliv@mail.bg; candela@mail.bg

Keywords: LED, photosynthesis, photosynthetic active radiation (PAR), growing algae and plants in artificial light

Abstract: Growing unicellular algae is an effective way to produce protein quickly. At the same time, they absorb carbon dioxide and generate oxygen. In extreme living conditions, lack of suitable soil, terrestrial atmosphere and natural light, unicellular algae are able to provide food and oxygen. Examples are colonies on Mars, the Moon or in space. Under such conditions, the use of artificial light is required. In order to study which part of the spectrum of visible light has the strongest influence on the growth and development of unicellular algae, in 2019 at the NIL "Lighting Technology" at the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" a specialized lighting system was created.

This report describes the lighting system and presents some pilot experiments with algae cultivation - Spirulina and Chlorella. The spectroradiometer specbos1201 identification № 3141020 of JETI Technische Instrumente GmbH was used for the measurements.

The results of the research will allow the cultivation of unicellular algae in artificial light with minimal energy consumption.

Въведение

Растенията вероятно ще бъдат неразделна част от всяка дългосрочна космическа мисия в бъдеще. Като част от програмата за разширено поддържане на живота (ALS) на NASA се проучва възможността за използване на растения за производство на храна, генериране на

кислород, премахване на въглероден диоксид, пречистване на вода и рециклиране на отпадъци за подпомагане на човешки екипажи в Космоса. Основно предизвикателство за дългосрочното отглеждане на растения в Космоса ще бъде контролирането и доставянето на достатъчно количество и качество на светлината.

Предлагат се различни видове конвенционални широкоспектрни източници на светлина, те обаче не са достатъчно фотосинтетично ефективни. Светодиодите са обещаващ електрически източник на светлина за отглеждането на растения в Космоса, поради тяхната малка маса и обем, твърда конструкция, превъзходна безопасност и дълголетие и най-вече заради тяхната възможност лесно да се контролира спектъра на светлината.

Отглеждането на растения при изкуствена светлина в последно време придоби особена актуалност. За да се изследва коя част от спектъра на видимата светлина влияе най-силно върху растежа и развитието на растенията, веднъж през 2015 и втори път през 2019 г. в НИЛ "Осветителна техника" към Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски" бяха създадени две специализирани осветителни уредби. С тяхна помощ е изследвано влиянието на светлина с различна дължина на вълната върху ефективността на фотосинтезата. Проведени са експерименти със следните растителни видове: домати (*Solanum lycopersicum*), босилек (*Ocimum basilicum*), салата (*Lactuca sativa*), лук (*Allium cepa*), тагетис (*Tagetes patula*), люти чушки (*Capsicum* sp.), карамфил (*Dianthus caryophyllus*), ягоди (*Fragaria* sp.) и сладък картоф (*Ipomoea batatas*). Опитите продължават и до настоящия момент [1-6].

Отглеждането на едноклетъчни водорасли е ефективен начин за бързо производство на протеини. Отнесено към единица биологична маса, водораслите изискват най-малко енергийни разходи за производство. Аналогично времето за отглеждане (производство) на едноклетъчните водорасли е няколко дена. За сравнение отглеждането на земеделски култури изисква минимум един сезон, а в повечето случаи цикълът е веднъж годишно. Най-разпространено е отглеждането на култури от род Хлорела (*Chlorella*) и род Спирулина (*Arthrospira*) Фиг. 1.



Фиг. 1. Снимки на едноклетъчни водорасли от род *Chlorella* и род *Arthrospira*

Хлорелата са род същинскоядрени, зелени и безкамшични водорасли. Съдържат много белтъчини, витамини и минерали, зеленото растително багрило хлорофил. Използват се като лекарство, а в някои части на света и като храна. Има противовъзпалително, антибактериално, противовирусно, стимулиращо имунитета действие и др.

Спирулината е биомаса от цианобактерии (синьо-зелени водорасли), която може да се консумира от хора и животни. Трите най-широко култивирани вида са *Arthrospira platensis*, *A. fusiformis* и *A. maxima*. Спирулината се използва като хранителна добавка, като фуражна добавка в промишлеността за аквакултури, аквариуми и птици.

Водораслите Спирулина осигуряват продукт с високо съдържание на протеини и физиологично активни вещества, с потенциално успешно приложение в медицината, хранителната и микробиологичната промишленост, фармацевтията. В зависимост от използвания щам съдържанието на протеини варира от 30 до 70%. Спирулината стимулира, укрепва и подсилва имунната система на човека и се оказва особено полезна при поддържането на здравословен и балансиран режим на хранене [7, 8].

За момента тези водорасли се произвеждат за консумация като хранителни добавки. В същото време те усвояват въглеродния двуокис и генерират кислород, имат способността да пречистват замърсени води и др. [9-11]. При екстремни условия на живот, липса на подходяща почва, земна атмосфера и естествена светлина (например колонии на Марс, Луната или в Космоса), едноклетъчните водорасли са възможност за осигуряване на храна и кислород. При такива условия се налага използването на изкуствена светлина. Процесът изисква добива да се интензифицира и да се извършва с минимален разход на енергия. Освен поддържането на

подходяща хранителна среда и температура, много силно влияние върху фотосинтезата и съответно за добива на биологична маса играе спектъра на светлината с която се облещват водораслите.

Описание на експеримента

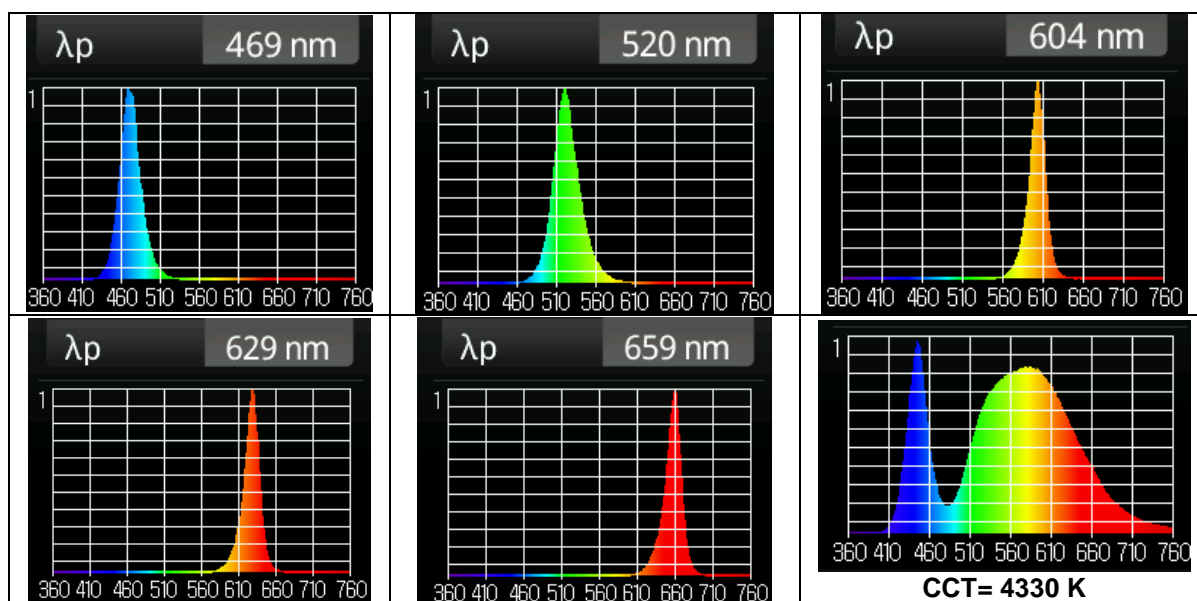
За да се изследва коя част от спектъра на видимата светлина влияе най-силно върху растежа и развитието на едноклетъчните водорасли, през 2019 г. в НИЛ “Осветителна техника” към Минно-геоложки университет “Св. Иван Рилски” беше създадена специализирана осветителна уредба. Експериментът беше проведен с Хлорела и със Спирулина.

Водораслите се отглеждаха в 6 броя реактори с обем 1 литър. За хомогенизиране на пулпата и интензифициране на процеса се използваше въздушно аериране. Конструкцията на уредбата е показана на Фиг. 2.



Фиг. 2. Общ вид на уредбата

Като светлинен източник се използваха 6 типа светодиоди с тесен спектр на излъчване. Спектърът на излъчване на светодиодите е показан на Фиг. 3. Светодиодите са монтирани върху алуминиева печатна платка. На една платка са разположени 48 бр. светодиода.



Фиг. 3. Спектр на светлинните източници

Експериментът протече в следната последователност: Съдовете, показани на Фиг. 1 се запълниха с хранителен разтвор. Като хранителна среда беше използвана рецептата разработена от Zarrouk (1966) [12]. Посява се известно количество водорасли (в случая *Arthrospira Platensis*). В продължение на 10 дена се измерва оптичната плътност, респективно спектралния коефициент на пропускане на светлината на средата за всяка от шесте реактора. На Фиг. 4 са показани състоянието на пробите изложени на различна светлина в края на изследвания период.



Фиг. 4. Проби изложени на различна светлина

За оценка на въздействието на светлината върху развитието на водораслите могат да се използват различни критерии:

- претегляне на сухото вещество;
- преброяване на клетките в единица обем;
- измерване на оптичната плътност.

В настоящото изследване беше избран третия метод, но допълнително се изследваше спектралния коефициент на пропускане на светлината. Това позволи индиректно да се правят изводи за процесите на фотосинтеза при водораслите.

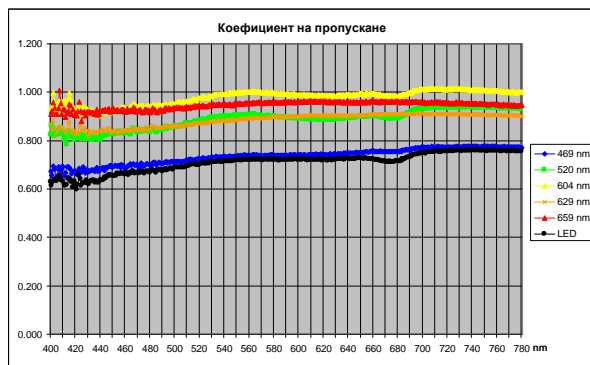
Апаратурата, с която са извършени измерванията е показана на Фиг. 5. По същество тя представлява спектрофотометър, но с възможност за използване на произволен източник на светлина. В случая е използван спектрорадиометър specbos1201 идентификационен № 3141020 на JETI Technische Instrumente GmbH. Същият притежава възможност за включване към компютър и има свидетелство за калибриране. Като източник на светлина е използван стандартен източник тип "А" с цветна температура 2850 K. Изследваната проба се поставя в стандартна кювета с обем 1 cm³ между източника на светлина и спектрорадиометъра.



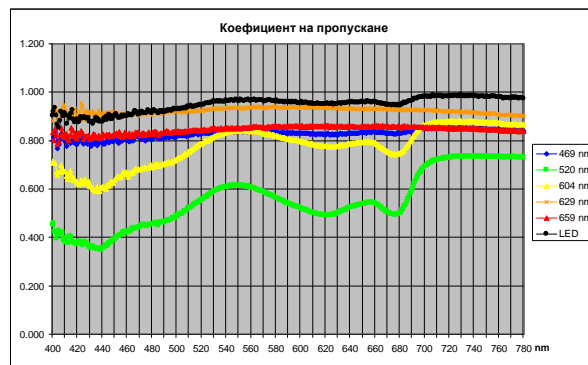
Фиг. 5. Апаратура с която са извършени измерванията

Изследва се спектъра на пропускане само във видимия диапазон на светлината. Тъй като спектърът на излъчената светлина на еталонната лампа не е константен, то се изчислява коефициента на пропускане за всяка дължина на вълната.

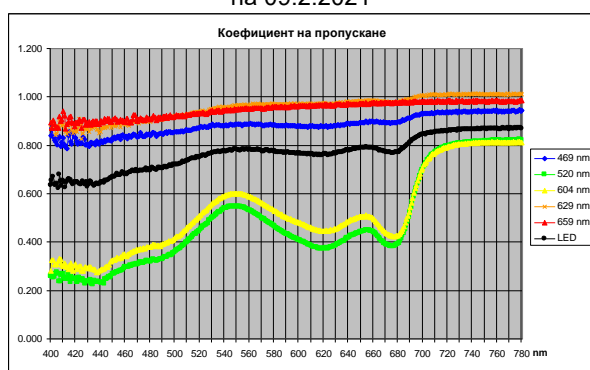
На Фиг. 6 до Фиг. 12 е показана промяната на коефициента на пропускане за всяка от шестте проби със спиролина в интервал около 1 ден. Забелязва се бързото нарастване на количеството водорасли при осветяване с жълта (604 nm) и зелена (520 nm) светлина.



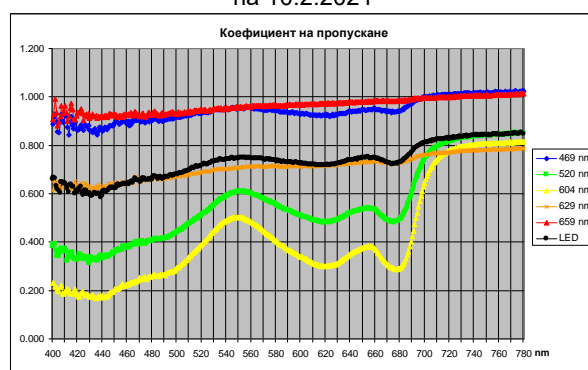
Фиг. 6. Спектрален коефициент на пропускане на 09.2.2021



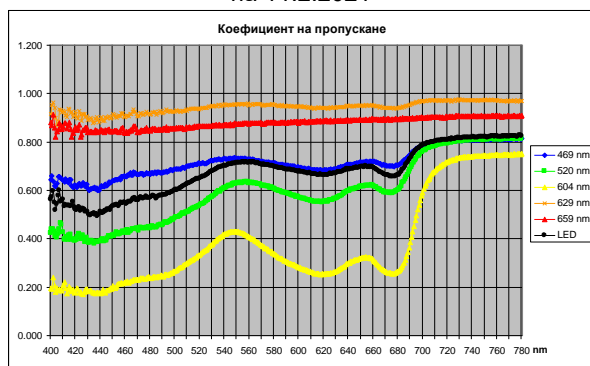
Фиг. 7. Спектрален коефициент на пропускане на 10.2.2021



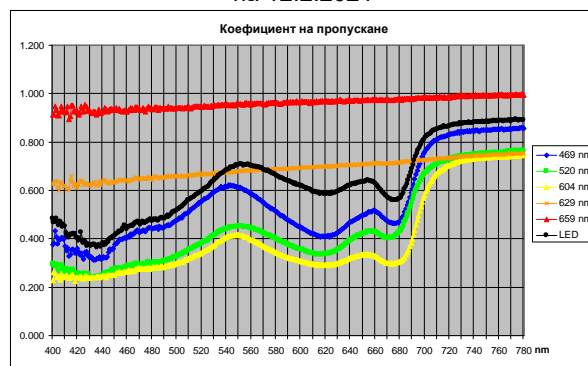
Фиг. 8. Спектрален коефициент на пропускане на 11.2.2021



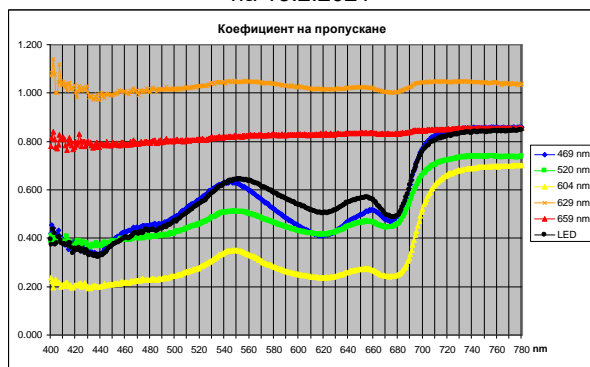
Фиг. 9. Спектрален коефициент на пропускане на 12.2.2021



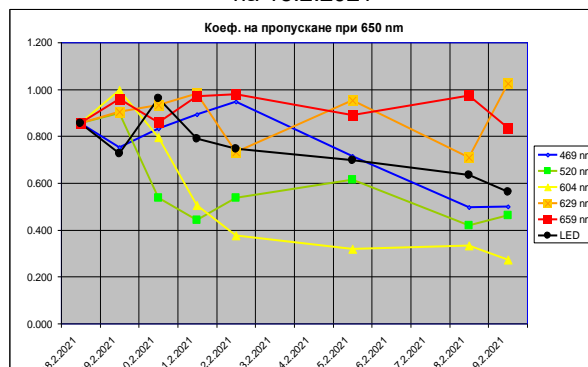
Фиг. 10. Спектрален коефициент на пропускане на 15.2.2021



Фиг. 11. Спектрален коефициент на пропускане на 18.2.2021



Фиг. 12. Спектрален коефициент на пропускане на 19.2.2021



Фиг. 13. Коефициент на пропускане при 650 nm

Вижда се, че на четвъртия ден от посяването, пробата осветявана с жълта светлина (604 nm) получава насищане и голяма концентрация, видимо от голямата оптична плътност. Визуално сравнение може да се направи на фиг.4.

На графиката на фиг.13, аналогично може да се сравни промяната на интегралния коефициент на пропускане за всяка от шесте проби в интервал от 10 дена при дължина на вълната 650 nm (при нея ефективността на фотосинтезата при висшите растения е висока).

Заклучение

В заключение можем да отбележим предимствата на разгледания метод и новосъздадената апаратура:

- Осигурява се бързо и лесно измерване на оптичната плътност и спектралния коефициент на пропускане на светлината.
- При изследването и отглеждането на едноклетъчни водорасли се получават бързи резултати (съответно и бързо натрупване на биомаса).

Представените експерименти по същество са пилотни, но имайки в предвид това, че тяхното осъществяване е бързо и лесно изпълнимо е препоръчително за в бъдеще да се извършат в по-голям мащаб.

Литература:

1. Velinova, S., 2020. Research of growth and development of plants under artificial light, 63th International Scientific Conference, October 23, Sofia, JOURNAL of Mining and geological sciences "St. Ivan Rilski ", vol. 63, ISSN 2683-0027, pp. 186–192.
2. Velinova, S., 2019. Lighting system for studying plant growth, 62th International Scientific Conference, October 17-18, Sofia, JOURNAL of Mining and geological sciences "St. Ivan Rilski ", vol. 62, number 3, ISSN 2682-9525, pp. 132–137.
3. Velinova, S., Growing plants on artificial lighting. 2018. VII Balkan conference on lighting - Balkanlight 2018, 04-06 June, Sofia, ISBN 978-954-353-347-3, pp. 150–156.
4. Velinova, S., 2017. Possibilities for using of mining galleries for growing plants on artificial lighting, Международна Научна Конференция Унитех 2017, 17-18 Ноември, Габрово, ISSN 1313-230X, TOM 1, pp. 148–153.
5. Velinova, S., V. Ilieva, 2017. Influence of the spectrum of light on plant growth, XVI National conference with international participation Bullight / Bulgaria Light 2017 and BalkanlightJunior 2017, 25 - 27 May, Sozopol, ISSN 1314-0787, pp. 55–61.
6. Velinova, S., 2015. LED Lighting system for the study of the photosynthesis, 58th International Scientific Conference, October 20, Sofia, Yearbook of Mining and geological university "St. Ivan Rilski ", vol. 58, scroll III, ISSN 1312-1820, pp. 99–104.
7. Tadros, M., Characterization of Spirulina Biomass for CELSS Diet Potential, (NASA – CR - 185329), Alabama A & M University, October, 1988, pp. 53.
8. Петрова, Д., Д. Герджиков, Култивиране на Spirulina Maxima в лабораторни условия, Институт по рибни ресурси, ISSN 1314-3379, pp. 8–11.
9. Furmaniak, M., A. Misztak, M. Franczuk, A. Wilmothe, M. Waleron and K. Waleron, Edible Cyanobacterial Genus Arthrospira: Actual State of the Art in Cultivation Methods, Genetics, and Application in Medicine. Frontiers in Microbiology, Vol 8, Article 2541, December 2017.
10. <https://bnr.bg/hristobotev/post/101148195?forceFullVersion=1>, Науката алгология, публикувано на 01.08.19 в 17:05 Автор: Росица Панайотова, Интервю с доц. д-р Пламен Пиларски
11. <https://siestafood.ru/raznoe/spirulina-poleznye-svoystva-i-protivopokazaniya-tabletki-poleznye-svoystva-spiruliny-dlya-zhenshhin-i-muzhchin.html>
12. Пиневиц, Г. Д., Верзилин Н. Н., Михайлов А. А. Изучение Spirulina platensis – нового объекта высокоинтенсивного культивирования // Физиология растений.. Т.17. Вып. 5, 1970. pp. 1037–1046.

Session 4

***Ecology
and
Risk Management***

Chairman: Prof. Garo Mardirossian
Secretary: Tsveta Srebrova, MS

ГЕОДИНАМИКА И ФРАКТАЛИ - ИЗСЛЕДВАНИЯ И РЕЗУЛТАТИ

Бойко Рангелов¹, Росен Илиев¹, Орлин Димитров², Атанас Кисъов¹, Стефан Димовски¹

¹Минно-геоложки университет, София

²Институт по океанология – БАН, Варна

e-mail: branguelov@gmail.com

Ключови думи: Геодинамика, фрактален анализ, приложения

Резюме: Фракталният анализ е нов и модерен метод при изучаването на съвременната геодинамика на Земята и планетите. Намира широко приложение в изследването на различни въпроси и направления в геологията, геофизиката и геодинамиката. Демонстрира фракталната природа на много и различни елементи от геодинамиката на Земята. Представените изследвания са насочени към глобални, регионални и локални особености и покриват различни направления в науките за Земята – тектоника на плочите, геоморфология и геофизични полета, сеизмотектоника и др. Получените резултати са обект на дискусия и анализ.

GEODYNAMICS AND FRACTALS – RESEARCH AND RESULTS

Boyko Ranguelov¹, Rossen Iliev¹, Orlin Dimitrov², Atanas Kisyov¹, Stefan Dimovsky¹

¹Mining and Geology University – Sofia

²Institute of Oceanology – Bulgarian Academy of Sciences, Varna

e-mail: branguelov@gmail.com

Keywords: Geodynamics, fractals, applications

Abstract: The fractal analysis is a new and effective tool in the research of the recent geodynamics of the Earth and the planets. Large applications are known in geology, geophysics and geodynamics reflecting the fractal structure of the different elements of the Earth's geodynamics. Our research is focused to the global, regional and local structures and covered different topics in various disciplines – plate tectonics, geomorphology and geophysical fields, seismotectonics, etc. The results obtained are presented and discussed.

Въведение

За първи път Б. Манделброд дефинира понятието геометричен нерегулярен фрактал. Според него основните характеристики на фракталната теория могат да се обобщат до следните представи – описани най-подробно в неговата книга *The Fractal Geometry of Nature* [1, 2, 3]:

- Фрактал е геометричен обект с повтарящи се самоподобни (или почти самоподобни) елементи с различен размер и нетривиална структура
- Характеризира се с т.н. фрактална дименсия
- Има нелинейно математическо описание, най-често изразявано с релацията:

(1) $N \sim R^{(-D)}$

N е фрактал, R – размер на елементите му, D – фрактална дименсия (размерност)

Тогава тази релация (1) дефинира фрактал със съответната фрактална дименсия.

Оказва се, че този подбор на параметрите, описва еднозначно всеки фрактал. Всички изследователи отбелязват, че фракталният анализ е много силен инструмент при описанието и изследването на геометрични обекти – двумерни, тримерни и многомерни.

В естествените науки най-често фракталната структура се свързва с фрагментирани обекти [2]. В природата като илюстрация на такива могат да служат дървета с техните корони, корали и морски таралежи, кръвоносната, нервната, лимфната, отделителната и други системи в човешката тяло, планинския релеф, речните мрежи, облаците и снежинките и много други.

Често, класификациите отчитат природни обекти, описвани като фрактали и аналитични изображения, най-често като резултат от математически (по-точно геометрически) изображения, някои от които с подчертани художествени достойнства. Земята – като най-достъпен обект за изследвания на геодинамиката (на глобално ниво), сеизмотектониката (регионално), морфоструктурите (локално), както и различните геофизични полета и техните корелационни зависимости са обект на изследване от много автори и големи авторски колективи както и индивидуални изследователи [5].

Показани са някои характерни примери, резултати и дискусии от фракталния анализ на различните обекти от геодинамиката на Земята.

Фрактален анализ

Фракталният анализ е математически инструмент за изучаване на параметрите и свойствата на различни (обикновено геометрични) обекти, апроксимирани с фрактали. Основен въпрос е намирането на фракталната дименсия, която да определи структурата и вида на фрактала. Практически, фракталната дименсия показва разпределението на броя на елементите със съответния размер в двумерното и/или тримерно пространство. За определянето ѝ има различни техники, като най-широко използваната е, чрез представянето на зависимостта (брой, размер) в полулогаритмичен мащаб. Тогава отношението на изменението на функцията (по оста y) към изменението на аргумента (оста x) дава непосредствено стойността на фракталната дименсия.

С развитието на космическата техника, много от обектите в Слънчевата система бяха фотографирани, картирани и представени като дигитални изображения с много голяма разделителна способност [5]. Това се отнася особено за обекти около които няма плътна атмосфера, което позволява тяхното дистанционно визуализиране – както на повърхностния им релеф, така и на естествените геофизични полета, които могат да бъдат измервани дистанционно (гравитационно, магнитно, топлинно, радиационно и др.). Като най-добре изучено и представително тяло, изследванията на Земята придобиват приоритет и предлагат много нови, иновативни и ефективни методи, какъвто се явява фракталният анализ.

Глобален плейттектонски модел

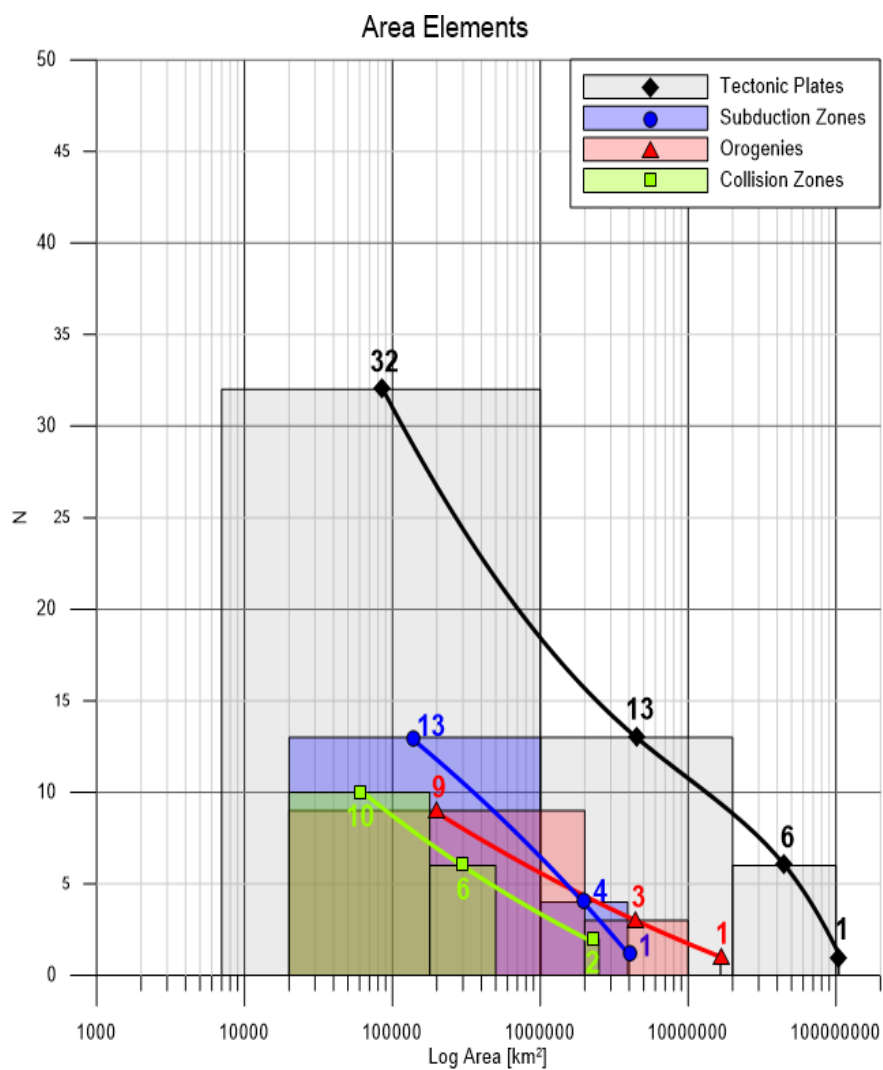
Като илюстрация за глобалния подход, са представени нашите резултати, свързани с изследванията на новата глобална тектоника (Plate tectonics) и нейните елементи, разглеждани като чисто геометрични обекти с техните размери – линейни и площи) в зависимост от морфологичния им характер. На фрактален анализ е подложен моделът на П. Бърд [1] общоприет в геодинамичната практика. Включени са площите и линейни елементи на модела както следва:

- Площи на всички континентални плочи и микроплочи, отговарящи на критериите за плочи
- Площите на всички орогенни зони
- Площите на колизионните зони
- Площите на субдукционните зони
- Линейните размери на рифтовите зони и
- Линейните размери на трансформните разломи.

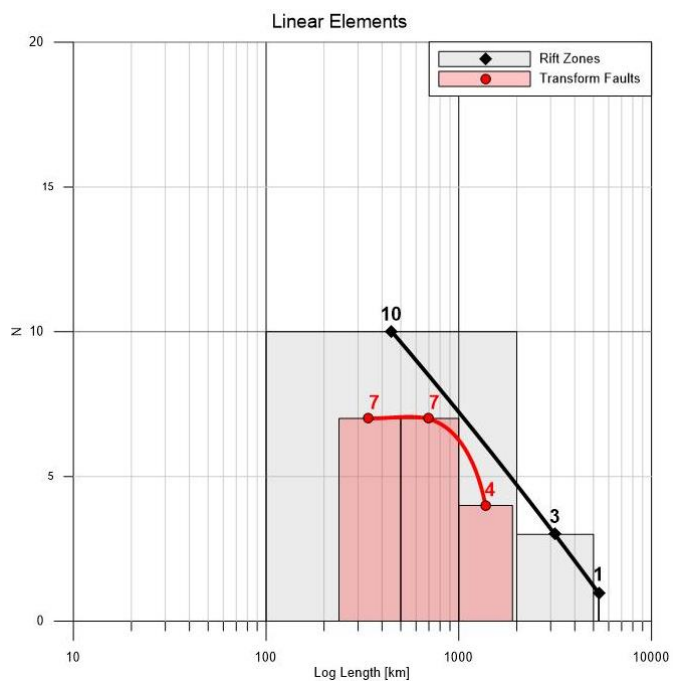
Целенасочено са избягвани други параметри и характеристики, като основното внимание е обърнато на геометричните размерности. Резултатите са представени на Фиг.1 и Фиг. 2.

Резултатът от анализа на получените графики показва типично фрактално поведение на всички изследвани елементи на плейттектониката с изключение на трансформните разломи.

Съществен момент от резултатите на изследването е появата на един основен въпрос: Фракталното поведение на изследваните елементи е резултат от генезиса им, или е получен вследствие на развитието им във времето. Има някои основания да се смята че подобно фрактално поведение е продиктувано и от двата фактора – генетичен и динамичен [6].



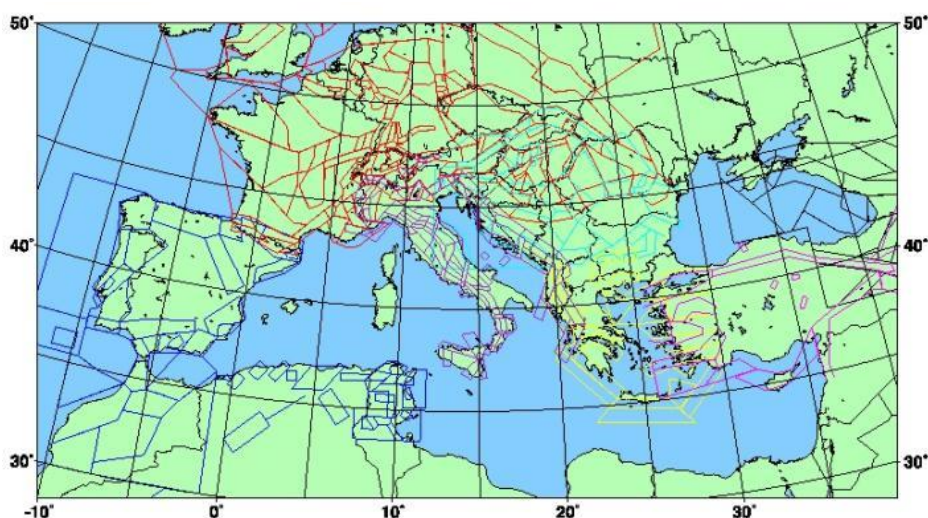
Фиг. 1. Фрактално поведение на различните елементи на плейттектониката – тектонски плочи, субдукционни зони, орогени и зони на колизия



Фиг. 2. Линейни размери и брой на рифтовите зони и трансформните разломи

Таблица 1. Стойности на фракталните дименсии на различните елементи от плейттектонския модел и бележки върху фрагментираността им [4].

Plate Tectonics' Component	Linear	Surface	Notes
Tectonic Plates		3.01	High fragmentation
Rift Zones	1.81		Lowest fragmentation
Orogens		5.32	Highest fragmentation
Subduction Zones		3.07	High fragmentation
Major Collision Zones		3.28	High fragmentation
Major Transform Faults	N/A		Seems not to be a fractal



Фиг. 3. Сеизмотектонски модел на Европейско-Средиземноморския регион.

На Фиг. 3. е представен Европейско-Средиземноморският сеизмотектонски модел (ЕССМ), като различните сеизмогенни зони и огнища са апроксимирани с геометрични фигури с различни форми и размери. Отделени са 5 регионални структури [4]:

- Адриатическа (магента)
- Централна и Западна Европа (червена)
- Пиринеи и Западна Африка (тъмно-синя)
- Гърция и Турция (жълта и лилава)
- България и Северни Балкани (светлосиня)

Таблица 1. Зониране на ЕССМ и линейни и площни фрактални дименсии за отделните зони

Зона	Линейна фракт. дименсия	Площна фракт. дименсия
Адриатика	2,71	1.67
Централна и Зап. Европа	1,12	0.41
Пиринеи и Зап. Африка	1,18	0.24
Гърция и Турция	0.94	0.40
България и Сев. Балкани	1.20	0.25
Всички зони	1.23	0.38

Изчислени са линейните (по периметъра на всяка зона) и площни фрактални дименсии, които показват отличителните особености на отделните сеизмогенни зони. Към момента не съществува генетичен модел, който може да обясни поведението и стойностите на фракталните размерности на всяка от описаните зони. Пространствената засебеност обаче е

показателна и може да се използва като класификационен параметър. Отклоненията в стойностите спрямо общата средна стойност, както за линейните, така и за площните размерности, убедително демонстрират различията в геометрията и фрагментарността на сеизмогенните зони. А това е важен параметър при определяне на сеизмичната опасност.

Изводи и заключение

Фракталният анализ се явява мощен инструмент в изучаването на геодинамиката на Земята. Установените закономерности хвърлят един неочакван поглед към геометричните свойства на различни параметри на изследваните обекти. Получени са нови резултати и са установени неочаквани закономерности в разпределенията на различни параметри на геодинамичните особености на парадигмата Plate tectonics на Земята.

Литература:

1. Bird, P., An updated digital model of plate boundaries. In: Geochemistry, Geophysics, Geosystems G3. AGU and the Geochemical Society, 4, 3, 2003, pp. 1027–1079.
2. Sornette, D., V. Pisarenko, Fractal Plate Tectonics., Geophysical Research Letters, vol.30, No3, 2003, pp. 1105–1118.
3. Mandelbrot, B., The Fractal Geometry of Nature, Times Books, SF, 1982, 468 pp.
4. Ranguelov, B. Nonlinearities and fractal properties of the Euro-Mediterranean seismotectonic model., Geodynamics & Tectonophysics., 1, 3, 2010, pp. 225–230.
5. Ranguelov, B., R. Iliev, Fractal Universe: A case study of Solar System., LAP Lambert Academic Publishing., Riga, 2019, 122 pp.
6. Ranguelov B., Y. Ivanov. Fractal properties of the elements of Plate Tectonics., Journal of Mining and Geological Sciences, v. 60, PART I, Geology and Geophysics, 2017, pp. 83–89.

Благодарности

Тази разработка е частично финансирана от ННП 577/17.08.2018 на МОН и съглашение № Д01-322/18.12.2019 – работни пакети РП 10.1 и РП 1.4.3.

EARTH'S FAULTS TYPOLOGY – METHODOLOGICAL APPROACH

Boyko Ranguelov¹, Orlin Dimitrov², Atanas Kisiov¹, Stefan Dimovsky¹

¹Mining and Geology University – Sofia

²Institute of Oceanology – Bulgarian Academy of Sciences, Varna

e-mail: branguelov@gmail.com

Keywords: *Faults, typology, methodology*

Abstract: *The faults typology is an essential tool for faults identification based on geological, geodynamic and geophysical principles and criteria. The faults are most important element of geodynamics controlling many processes and activities – earth's crust fragmentation, seismotectonics, plate movements, volcanic activity, etc. The methodology for typology is developed considering the geology, geodynamic and geophysical properties of the different types of faults and fault's systems. The typologization is a strong tool to the classification and integral assessment of these very important elements of the Earth's geodynamics.*

ТИПОЛОГИЯ НА РАЗЛОМИТЕ В ЗЕМЯТА – МЕТОДОЛОГИЯ

Бойко Рангелов¹, Орлин Димитров², Атанас Кисъов¹, Стефан Димовски¹

¹Минно-геоложки Университет, София

²Институт по Океанология – БАН, Варна

e-mail: branguelov@gmail.com

Ключови думи: *Разломи, типология, методология*

Резюме: *Разломите и разломните структури в земната кора са основен елемент на геодинамиката контролиращ редица геоложки процеси – дезинтеграция на границата грунт-въздух (свободна от напрежения), земетръсната активност, движенията на земекорните блокове и континенталните плочи, рудоконтролиращи процеси и явления, вулканична дейност и др. Създаването на обобщена типология с основни понятия и дефиниции, критерии за идентификация, интегрални оценки за структурата и динамиката на разломите, се явява важна стъпка в процеса на изучаване на разломната геодинамика. Разработена е методология за класификация и идентификация на разломи и разломни структури базирана на геоложки, геодинамични и геофизични принципи.*

Introduction

The methodology deals with the definitions and criteria accepted in the international practice, possible methods of identification of active, passive and creep faults, the criteria to connect any fault (segment) and/or fault system with observed earthquakes and other geodynamic phenomena, the ranking of faults, the definition of faults' type, faults branches, faults' systems, faults deviations, faults' elongation and linearization, movements of the faults, depth penetration and development of faults, blocks and lineaments limited by faults, etc. Then the visualization is important to perform. After the establishment of the faults network, the characteristics of any fault, fault segment or fault satellites, the typology is constructed using all available information. The special methodology algorithm is developed and applied on real examples [1].

Definitions

- Blind (buried, crypto) fault – a fault without clear outcrop to the earth's surface
- Active fault – a fault with Neogene (Neocene, Holocene, recent) activity – demonstrates creep and/or seismic and/or geodetic movements

- Sleep fault – with lack of recent activity
- Roughness (new parameter related) – property to the possibility of accumulation of stress in the fault
- Depth – the penetration depth of a fault
- Fault segment – a part of the fault with similar characteristics and possibility to generate a characteristic earthquake
- Rank of the fault – expert assessment of fault importance
- Certain faults – faults proved by geology, geodetic and/or geophysics evidences for existence of a fault.
- Sealed (passive) fault – faults expressed in depth with no any activity
- Supposed faults – presenting indicators to consider the existence of a fault.
- Normal faults – fault with vertical component of displacements of the blocks in extensional stress regime
- Thrust faults – fault with vertical component of displacements of the blocks in compressional stress regime
- Strike-slip fault – fault with horizontal displacement
- Echelon – a system of subparallel faults with expressed recent activity
- Listric faults – appear in intensive extensive regime reaching sub-horizontal planes
- Satellite faults – a system of accompanying faults, related to the main fault, usually observed like a fan
- Fault line – the projection of the fault plane on the earth's surface
- Dip – average angle of dip vector
- Rake – average angel rake vector
- Slip – a possible sliding related to a single earthquake (the slip vector represents the direction of motion of the hanging wall relative to the foot wall).
- Seismogenic potential of the fault – potential to generate an earthquake with M_{max} .

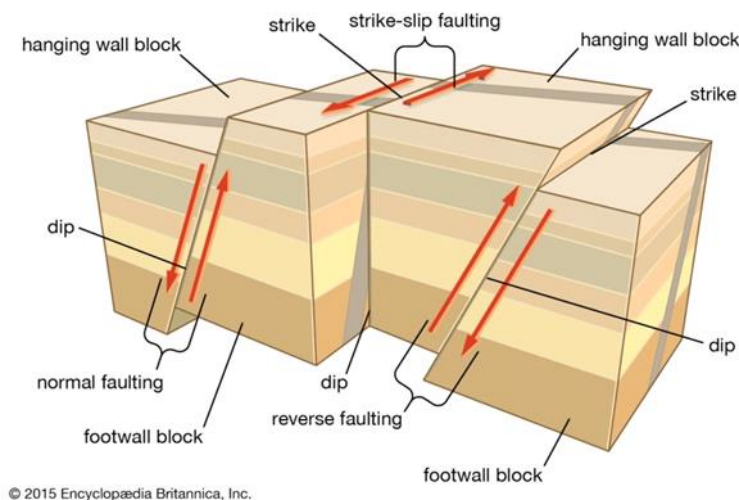


Fig. 1. On the basis of activity and the type of displacements the faults typology is possible

Indicators for identification

- Geology indicators:
Gas seeps and mud volcanoes detected and interpreted by Rangelov and Dimitrov [1], sedimentation discontinuities and/or granulometric changes, vertical and /or horizontal visible movements at the outcrops, fast transgression/regression evidences, etc. are also used as indicators. Most of these elements could be confirmed by age determination and paleontology fossils.
- Morphology indicators – natural outcrops, man-made diggings and trenches, changes in high resolution DEM (on land or on the sea bottom)
The high resolution bathymetry and faults traces according the bottom deformations, bottom elevations modeled gradients and ancient river beds [1] are important indicators. It is important to mention that the visible deformations on the sea bottom might be produced by tectonic activity or surface gravitational processes as well as by the erosion of ancient river beds. The separation of

the different types of bottom faults could be established by the bottom surface DEM, the geophysical prospecting methods, seismic activity and other properties, typical for active faults, segments and fault branches. Frequently the identification is done by a complex study of different disciplines – Geology, geodynamics, geophysics, etc.

- Seismological indicators:

Seismic catalogues, - Historical and Recent seismicity, Macroseismic maps, criteria to join epicenter to fault structures are some of the elements used.

Local week seismicity, earthquake regime (routine seismologic data processing – b-value, aftershocks activity, mechanism of earthquakes, rupture velocity, amplitude field of the seismograms, etc.), strong earthquakes and secondary effects (tsunami deposits, co-seismic cracks and displacements, activated landslides, subsidence and/or seismicities observed, (structural and mineral changes due to the strong seismic forces, etc.), paleo- and archaeoseismological studies and evidences [2].

- Potential fields (anomalies in the gravity, thermal and magnetic natural fields)

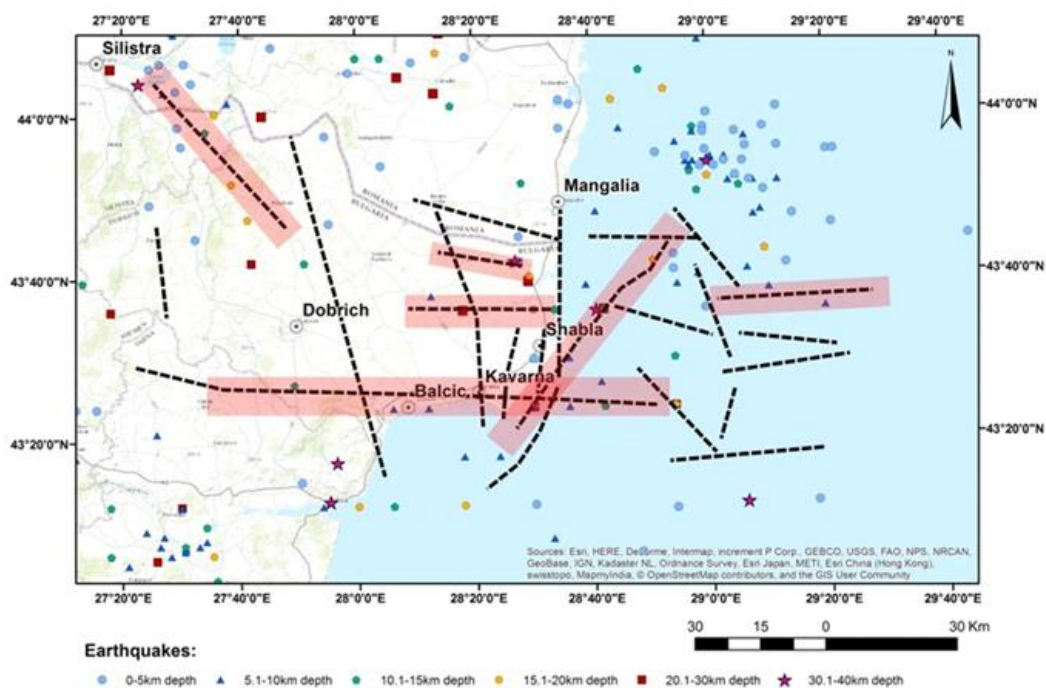


Fig. 2. Faults dislocations according interpretation of potential geophysical fields, together with small magnitude instrumentally recorded earthquakes [3]

- Geophysical measurable indicators:
- Electro tomography profiling and 3D models, seismic exploration and seismostratigraphy
- Geophysics of the deep horizons (earth crust, upper mantle and asthenosphere)
- Blind fault identification using MMS method – earth crust thickness, asthenosphere and high density seismographs network.
- Boreholes– in situ indicators: (one of the best and proved indicators about ancient and recent blind fault displacements)
- Geodetic indicators - movements detected by GNSS, on land measurements, laser interferometry, etc.

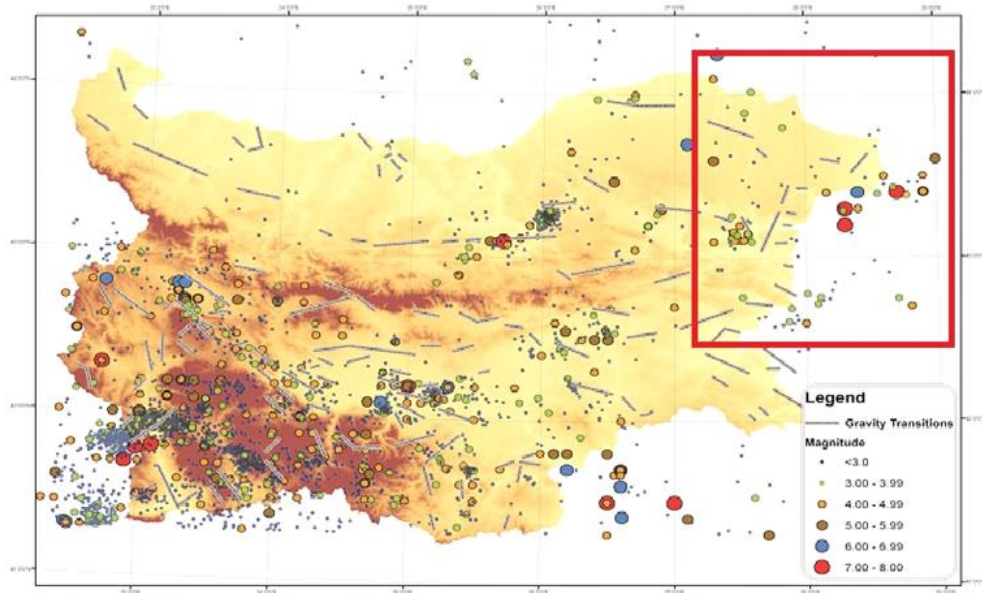


Fig. 3. An example of faults identification by potential geophysical fields and weak and strong earthquakes considerations [4]

The rational geophysical strategy of buried active faults delineation and monitoring is well presented in Budanov et al., [5].

Methodology algorithm

The methodology is developed according to the following algorithm:

- Review and inventory of existing and new data. All known faults are localized due to their expression:
- On the surface - geology and geomorphology methods (surface dislocations, recent movements – GNSS displacements, remote sensing, crack's analysis, co-seismic cracks, etc.)
- Underground faults (geophysical prospecting, seismology evidences, seismic exploration, potential fields, seismic activity, etc.
- Underwater faults (geophysical prospecting, geochemistry, seismic activity, etc.)

Visualization

Using recent graphics tools, all elements of the faults are mapped and visualized. This process has main aim to separate certain and supposed faults.

Comparative analysis

This is obligatory step to compare all types of faults, to clarify the main type of any fault, to identify its properties and to classify it.

Confirmation

Confirmation and/or rejection of fault type and/or structures, based on available information

Integration

Integrating all available data, using all criteria and definitions to confirm and/or reject the attribution of the properties of all discovered and confirmed types of faults, their segments, satellites and echelons.

Compilation of faults' typology table

Using all results of the investigations, the compilation of a new map is the last step of the process to discover and characterize the active faults, the blind faults and the passive faults and to

assess their seismogenic potential due to their predefined properties. To discover the blindness, roughness, activity, stress and strain, neotectonic regime, seismogenic potential and possible activation, knowledge of many disciplines are in use.

Very important issue is to consider the tectonic context and to produce non contradictory results for the faults typology – Table 1.

Table 1. Typology of the faults in a context of their possible geodynamic activity

Type of fault/ Activity	Active	Passive	Creeping	Roughness
Recent	+/-	+/-	+/-	+/-
Ancient	-	+	-	+/-
Sealed	-	+	-	-
Seismogenic	+	-	-	+
Segment	+/-	+/-	+/-	+/-
Echelon	+/-	+/-	+/-	+/-
Co-seismic	+/-	+/-	+	-
Listric	+	-	+	-
Blind (crypto)	+/-	+/-	-	+/-

Conclusion

On the basis of faults geometry, kinematics and dynamics a typology of different geodynamic features of faults is suggested. The different indicators of identification are considered due to the geodynamic properties and expressions of faults, fault's segments and systems. The typology table suggested could serve as an important tool for the case studies, as well as to the geodynamic context in any selected area. The performance of such a methodology is applied to the North Black Sea Bulgarian coast [1].

References:

1. Rangelov, B., O. Dimitrov., In search Of Blind and Active Faults to The North Bulgarian Black Sea Coastal Area., In: Developments in Engineering and Architecture (eds. Rangelov B., Berdenov Z., Efe R.), "St.Kl.Ohridski" Univ. Press, Sofia, 2021.
2. Rangelov, B., O. Dimitrov, A. Korzhenkov, E. Rogozhin, A. Ovsyuchenko Archaeoseismology of the North Black Sea: Bulgaria–Russia expeditions // XXIX Inter. Symp.«Modern technologies, education and professional practice in geodesy and related fields», Istanbul, Turkey, 5–6 November 2019, Istanbul, Turkey. T. 29.
3. Trifonova, P., D. Solakov, S. Simeonova, M. Metodiev, and P. Stavrev., Regional pattern of the earth's crust dislocations on the territory of Bulgaria inferred from gravity data and its recognition in the spatial distribution of seismicity. Pattern Recogn. Phys., 1, pp. 25–36, 2013. www.pattern-recognition-phys.net/1/25/2013/, doi:10.5194/prp-1-25-2013
4. Trifonova, P., S. Simeonova, D. Solakov, M. Metodiev., Exploring seismicity in Bulgaria using geomagnetic and gravity data, Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences, v. 65, No5, 2012.
5. Budanov, V., D. Zugravescu, C. Sava, L. Besutiu, V. Leontiev, V. Dubovskoy, Rational geophysical strategy of buried active faults delineation and monitoring: Russian platform and Romanian Carpathians examples. Journal of the Balkan Geophysical Society, Vol. 8, Suppl. 1., 2005,

Acknowledgements

This work has been carried out in the framework of the National Science Program "Environmental Protection and Reduction of Risks of Adverse Events and Natural Disasters", approved by the Resolution of the Council of Ministers № 577/17.08.2018 and supported by the Ministry of Education and Science (MES) of Bulgaria (Agreement № Д01-322/18.12.2019) - WP.I.4.3.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 03.03.2021 ВОЗЛЕ ЛАРИСЫ (ГРЕЦИЯ) Mw = 6.3

Емил Ботев

*Национальный институт геофизики, геодезии и географии – Болгарская академия наук
e-mail: ebotev@geophys.bas.bg*

Ключевые слова: предвестники землетрясений, тест Utsu, Z-тест

Резюме: Район Ларисы считается одним из активных очагов землетрясений на Балканском полуострове. Это определяется активностью его роя и сложным характером стресса. За период с 1900 по 2021 год в регионе (круг радиусом 150 км) зарегистрировано 17 землетрясений с $M > 6$. Это исследование было проведено для оценки двумерного пространственного распределения значения b в районе Ларисы. Решетчатая техника Wiemer и Wyss (1997) была использована для расчета b -значения с помощью программного обеспечения ZMAP. Значение B рассчитано на основе каталога, состоящего из 8640 землетрясений, зарегистрированных с 1900 года, до 2021 года, а также по кругу радиусом 150 км и центром - эпицентром землетрясения с 03.03.2021, с использованием метода максимальной вероятности. Важно отметить, что изменения значения b с течением времени не могут быть легко обнаружены за короткий период времени. Таким образом, это исследование было проведено для изучения вариаций значения b в пространстве. Расчетное значение b в районе Ларисы не имеет равномерного распределения.

STATISTICAL ANALYSIS OF THE EARTHQUAKE 03.03.2021 NEAR LARISA (GREECE) Mw = 6.3

Emil Botev

*National Institute in Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: ebotev@geophys.bas.bg*

Keywords: Earthquake Precursors, Utsu Test, Z-test

Abstract: The Larissa region is considered one of the active sources of earthquakes on the Balkan Peninsula. This is determined by the activity of his swarm and the complex nature of the stress. During the period from 1900 to 2021, 17 earthquakes with $M > 6$ were registered in the region (a circle with a radius of 150 km). This study was carried out to estimate the two-dimensional spatial distribution of the b value in the Larisa region. The lattice technique of Wiemer and Wyss (1997) was used to calculate the b -value using the ZMAP software. The B value is calculated from a catalog of 8640 earthquakes recorded since 1900. until 2021, as well as in a circle with a radius of 150 km and the center - the epicenter of the earthquake from 03.03.2021, using the maximum probability method. It is important to note that changes in b value over time cannot be easily detected in a short period of time. Therefore, this study was conducted to study the variations in b -value in space. The calculated value of b in the area of Larissa does not have a uniform distribution.

Введение

Землетрясения - это события, которые часто происходят в регионе Елинской дуги в результате погружения Нубийской плиты под Эгейскую плиту. Протяженность этого района составляет около 1200 км, начиная с западного побережья Туки и заканчивая западным островом Закинтос. В указанной сейсмической зоне 3 марта 2021 г. было зарегистрировано сильное землетрясение близ города Лариса в Греции. Это событие, а также серия последующих землетрясений, произошедших в последующие дни, ощущались даже во многих южных городах страны. Болгария, расположенная более чем в 200 км от эпицентра.

Величина наклона графика повторяемости (*b-value*) показывает распределение количества землетрясений по их магнитуде и широко используется в качестве характеристики сейсмического процесса. Этот параметр является предметом внимания сейсмологов, и многие исследования были посвящены его изучению. Интересным свойством наклона графика повторяемости является его изменение во времени [1]. Кроме того, как отмечается в ряде публикаций, временные колебания (аномальное уменьшение значения *b*) могут указывать на будущее землетрясение [2, 3, 4, 5]. Частотно-магнитудное распределение (1) определяет соотношение между частотой возникновения и силой землетрясений [6]:

$$(1) \quad \log N(M) = a + bM,$$

где $N(M)$ - количество землетрясений с магнитудой больше или равной M ; параметр a - параметр, характеризующий сейсмическую активность; параметр b описывает относительное распределение силы событий [7]. Пространственные вариации значения b характеризуют сейсмичность в данном регионе [8]. Обычно $b \geq 1$ предполагает неоднородность земной коры и низкое напряжение, тогда как $b < 1.0$ предполагает однородность земной коры и высокие объемы напряжения [7]. Исследования показали, что уменьшение значения b в исследуемой сейсмогенной области может быть связано с увеличением напряжения перед сильными землетрясениями [3].

В дополнение к вариациям значений b , изменения сейсмической активности и сейсмического затишья также могут быть индикаторами надвигающегося землетрясения. Изменения сейсмичности могут быть связаны с физическими свойствами земной коры, например, с изменением напряженного состояния [9; 10]. Заметное снижение сейсмической активности в течение месяцев или лет вокруг эпицентра надвигающегося умеренного или сильного землетрясения считается сейсмическим затишьем [11]. Подходящим подходом к изучению изменений сейсмической активности и сейсмической активности является Z-тест, которой используется во многих исследованиях [12].

Данная публикация направлена на изучение пространственных зон вокруг эпицентра, аномальных значений наклона графика повторяемости и других статистических параметров перед сейсмическим событием от 03.03.2021 г. с координатами эпицентра: 22,2012° E, 39,7532° N, магнитудой $M_w=6.3$ и $h=19$ км и их согласованием с исследованиями того же события [13].

Метод анализа данных

С учетом экспоненциального распределения землетрясений по магнитуде (закон Гутенберга-Рихтера) величина наклона графика повторяемости оценивается методом максимального правдоподобия [14].

$$(2) \quad b = \frac{\log e}{M_{\text{mean}} - M_{\text{min}}},$$

где M_{mean} - среднее значение магнитуды в выборке, M_{min} - минимальная величина выборки и рассчитывается как: $M_{\text{min}} = M_c - \Delta M / 2$, где ΔM - учитывает округление величины и здесь выбирается $\Delta M = 0,1$ [14], а M_c - величина полноты выборки. Среднеквадратичная ошибка оценки составляет

$$(3) \quad \sigma_b = \frac{b}{\sqrt{N}}$$

В этом исследовании пространственное распределение значения b было рассчитано с использованием программного обеспечения ZMAP [15, 16], с использованием методов максимального правдоподобия и метода регрессии наименьшего квадрата. Аки К. (1965) [17] придерживается мнения, что метод максимального правдоподобия дает более надежную оценку, чем метод регрессии наименьшего квадрата. Первым шагом в анализе b -значений является определение величины полноты M_c и ее ошибки. M_c определяется как наименьшая величина, при которой обнаруживаются 100% событий в заданном пространстве и времени [18]. Другими словами, значения ниже M_c считаются неоднородными и неполными.

Метод Z-теста основан на исследованиях Habermann [19] и ориентирован на определение пространственно-временных блоков в сейсмически активной зоне со значительным изменением интенсивности сейсмического потока событий в выбранный энергетический диапазон. Анализ основан на статистической функции Z-теста. Для определения сейсмического затишья область исследования покрывается фиксированной ступенчатой сеткой. Для каждого сетевого узла в данный момент времени вычисляется функция

$$(4) \quad z(t) = \frac{R_1 - R_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}},$$

где R_1 и R_2 – средние значения скорости потока землетрясений соответственно (количество землетрясений во временном окне 30 дней) для двух временных интервалов (один длительностью не менее одного года и привязанный к исследуемой дате, другое равное или равное всему остальному времени); σ_1 и σ_2 – стандартные отклонения R_1 и R_2 соответственно для первого и второго временного интервала, а n_1 и n_2 – количество землетрясений за соответствующий период. Землетрясения с глубиной гипоцентра до 70 км учитываются для каждого узла сети. Высокие (положительные) значения Z указывают на уменьшение скорости течения землетрясений, а низкие значения увеличиваются. Вычисленные значения в узлах сети объединяются по принципу пространственно-временного соседства и определяют участки с сейсмическим затишьями. Для всех расчетов использовалась программа ZMAP [20].

Исходные данные

В настоящем исследовании анализируется каталог за период 1900-2009 г. объединены каталогами независимых событий за годы с 2010 по 2021.04.03 Афинского университета [21], и событий на территории Болгарии [22, 23, 24, 25]. Объединенный каталог землетрясений охватывает данные в пространственном окне $32^\circ - 44^\circ \text{ N}$ и $10^\circ - 30^\circ \text{ E}$ (1900 - 2021.04.03; общее количество землетрясений 8640), глубиной $0 \leq h \leq 70 \text{ км}$ (рис.1) и магнитудой M_w .

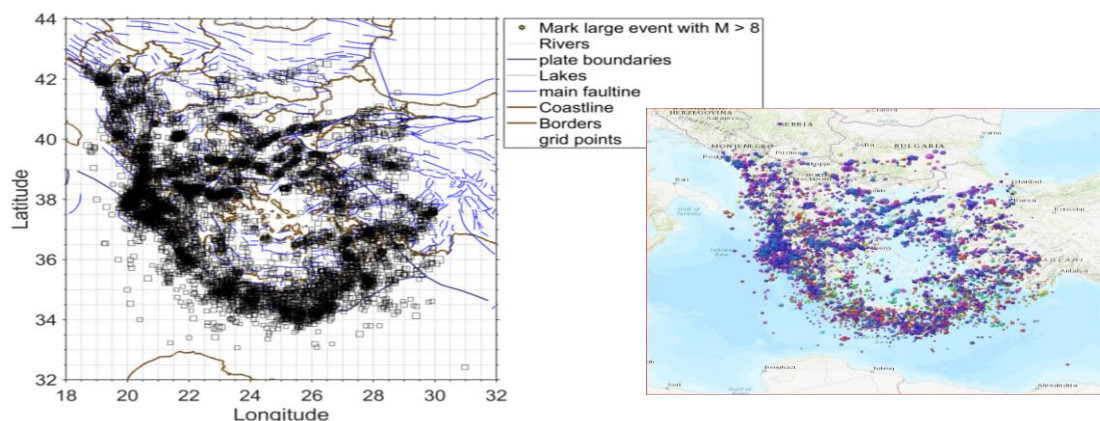


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений с $M_s \geq 3.5$.

Для исследования землетрясения от 03.03.2021 г. с координатами $22,2012^\circ \text{ E}$, $39,7532^\circ \text{ N}$; $M_w = 6.3$, $h = 19 \text{ км}$ и $T_0 = 10:16:10.22$ выбрана пространственная окружность с радиусом 150 км и центром эпицентра исследуемого события (22.20° E , 39.75° N), представленного на рис. 2, содержащий 2602 события с $M_s > 3,5$.

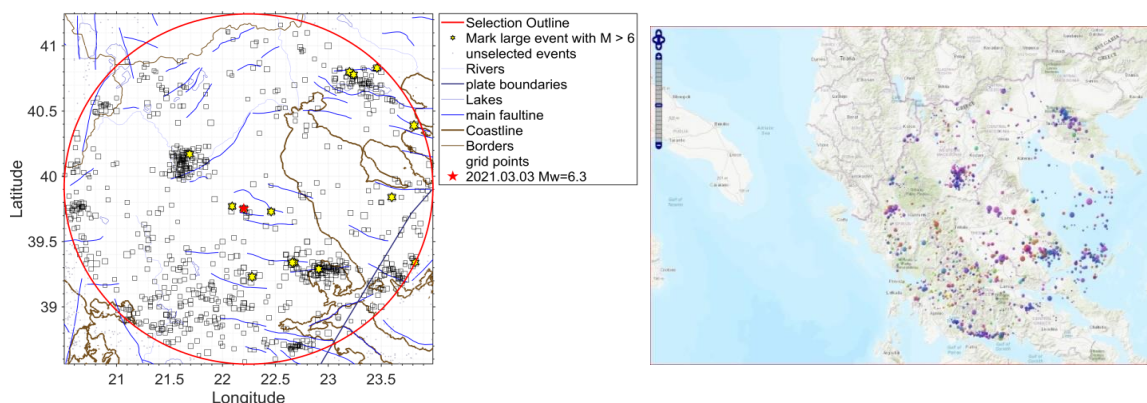


Рис. 2. Карты выбранного сайта обследования; ★ - эпицентр землетрясения от 03.03.2021 г.

Полученные результаты

Тест на Utsu

Для установления изменения b -параметра сравниваются значения b для двух периодов: 1-период с 2011.01.01 по 2015.12.30; и 2-период с 2016.01.01 по 2021.01.01 (что за 2 месяца до землетрясения от 03.03.2021) (рис.3) для сети ячеек 30х30 км. Если в обоих периодах размер выборки больше или равен $N_{min} = 50$ и, таким образом, b может быть вычислено, мы также вычисляем вероятность P_b гипотезы о том, что значения b для обоих периодов принадлежат одной и той же генеральной совокупности, т.е. демонстрируют стационарное поведение [15].

Эта вероятность (P_b) выводится из информационного критерия Akaike (A) [26]. Сравнение A_0 для двух периодов с одинаковым значением b b_0 и A_{12} для двух периодов с двумя разными значениями b b_1 и b_2 приводит к разнице dA этих двух результатов A , приведенных Utsu [27]: Вероятность оценивается по формуле

$$(5) \quad P \approx \exp\left(-\frac{dA}{2} - 2\right), \text{ где}$$

$$(8) \quad dA = -2N \ln(N) + 2N_1 \ln\left(N_1 + \frac{N_2 b_1}{b_2}\right) + 2N_2 \ln\left(\frac{N_1 b_2}{b_1} + N_2\right) - 2,$$

$N = N_1 + N_2$ - общее количество землетрясений за два периода (соответственно N_1 и N_2 - количество землетрясений за 1-й и 2-й периоды).

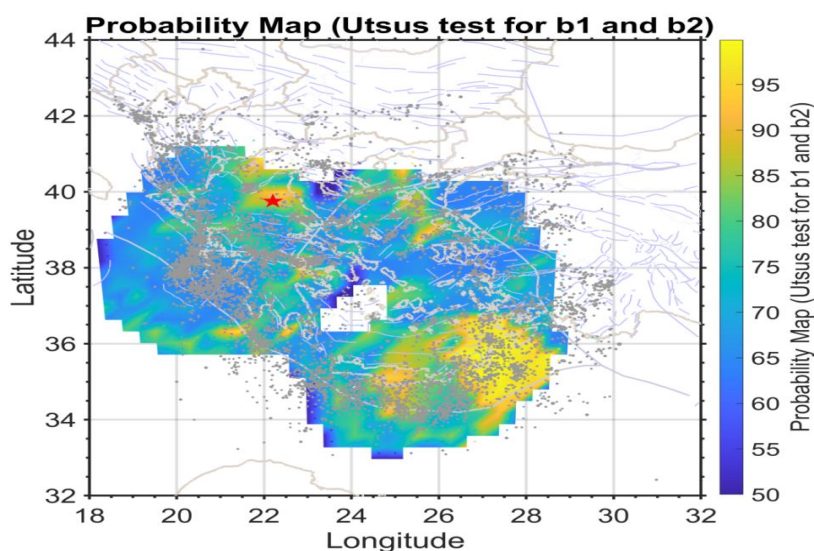


Рис. 3. Карта вероятности землетрясений (тест Utsus для периодов b_1 и b_2 ; Utsu, 1992); ★ - эпицентр землетрясения от 03.03.2021 г.

Полученная карта вероятности возникновения сейсмического события в определенном месте четко показывает, что эпицентр события (красная пентаграмма) попадает в область с вероятностью $P > 90\%$.

Z-тест

Высокие (положительные) значения Z на картах можно интерпретировать как уменьшение скорости потока сейсмических событий (сейсмическое затишье) по сравнению с первым периодом, а низкие (отрицательные) значения Z представляют собой увеличение по скорости. Плотность и распределение землетрясений являются критическим фактором при интерпретации вариаций Z -значения. Большие участки постоянного цвета (значение) может показывать одинаковую плотность землетрясений для разных периодов времени, т.е. может показывать однородную степень сейсмичности в этой области.

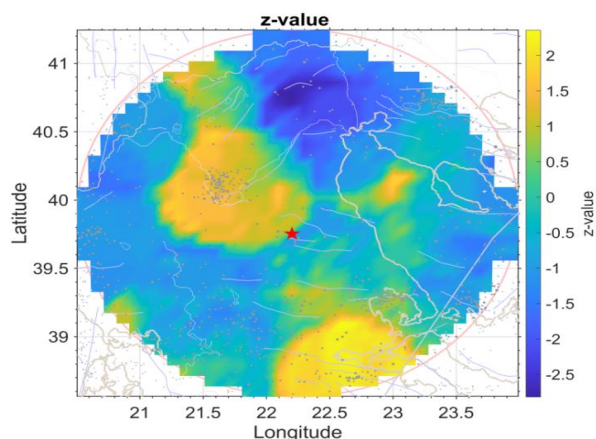


Рис. 4. Z-статистика для исследуемой территории в окружности радиусом $R = 150$ км, центр эпицентра землетрясения от 03.03.2021 г.

На рисунке (рис. 4) эпицентр попадает в область с относительно высокими значениями Z-значения (2), что означает, что выбранный период (с 01.01.2019 по 30.12.2020) перед землетрясением является периодом относительного сейсмического затишья по сравнению с периодом 01.01.2017-30.12.2018. Это видно из сравнения количества землетрясений за два периода (01.01.2017-30.12.2018 и 01.01.2019 - 30.12.2020) (рис. 5).

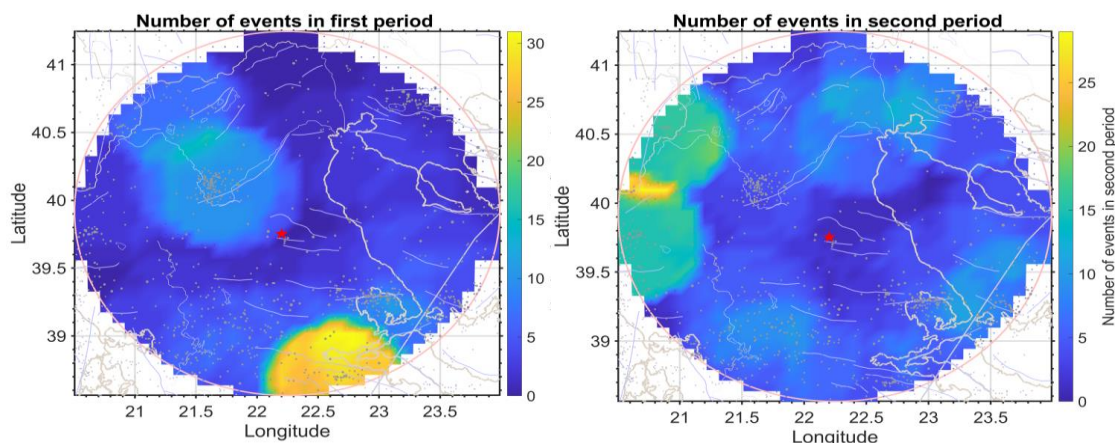


Рис. 5. Карты количества событий для двух периодов, изученных с помощью Z-теста (01.01.2017-30.12.2018 и 01.01.2019 - 30.12.2020)

Выводы

Изменение во времени значения b за период 1964-2020г. показывает минимум среднего значения b за период 2013-2021 гг. ($b \approx 1$), который включает исследуемое землетрясение (за этот период имеется несколько сильных землетрясений в пространственный диапазон каталога). Значительное уменьшение значения b может быть связано с увеличением эффективных уровней напряжения перед сильными землетрясениями. Такое значительное уменьшение значения b может привести к увеличению эффективного стресса перед крупными событиями. Увеличение значения b после этих землетрясений может означать увеличение неоднородности земной коры и уменьшение напряжения сдвига, но после периода исследования значение b существенно не увеличивается, что может означать надвигающиеся сильные сейсмические события в регионе. область исследования. Изменение пространственного распределения значения b перед землетрясением показывает, что область с аномально низким значением b охватывает эпицентр исследуемого землетрясения. Это низкое значение b можно интерпретировать как потенциально заблокированную зону или зону накопленного высокого напряжения перед основным землетрясением.

Эпицентры землетрясений расположены в областях с относительно высоким значением параметра $Z \approx 2$, что свидетельствует о статистически достоверном определении области с относительно низкой сейсмической «тишиной» перед землетрясением. Следовательно, уменьшение значения b и аномалий сейсмического затухания может быть индикатором сильного снятия напряжения, и эти изменения можно интерпретировать как предикторы сильных сейсмических событий.

Благодарности

Настоящая работа частично спонсируется Фондом Научных Исследований Болгарии, контракт Н ДН14-1/11.12.2017

Литература:

1. Oynakov, Emil, et al. "Seismicity Patterns Associated with Earthquakes on the Balkan Peninsula." Proceeding of 1st international conference on environmental protection and disaster risks. 2020.
2. Oynakov, Emil, et al. "Spatial Variation of Precursory Seismic Quiescence Observed Before Earthquake from 01.04. 2010 in the Region of Crete." International conference on Environmental protection and disaster RISks. Springer, Cham, 2020.
3. Nuannin, P, Kulha 'nek O, Persson L (2005) Spatial and temporal b-value anomalies preceding the devastating off coast of NW Sumatra earthquake of December 26, 2004. *Geophys Res Lett* 32:L11307. doi:10.1029/2005GL022679
4. Rani VS, Srivastava K, Srinagesh D, Dimri VP (2011) Spatial and temporal variations of b-value and fractal analysis for the Makran region. *Mar Geodesy* 34:77–82 Reasenber PA (1985) Second-order moment of Central California Seismicity. *J Geophys Res* 90:5479
5. Stiphout, T, Schorlemmer D, Wiemer S (2011) The effect of uncertainties on estimates of background seismicity rate. *Bull Seismol Soc Am* 101(2):482–494. doi:10.1785/0120090143
6. Gutenberg B, Richter CF (1944) Frequency of earthquakes in California. *Bull Seismol Soc Am* 34: 185–188
7. Bridges DL, Gao SS (2006) Spatial variation of seismic b-values beneath Makushin Volcano, Unalaska Island, Alaska. *Earth Planet Sci Lett* 245:408–415
8. Maeda, K, Wiemer S (1999) Significance test for seismicity rate changes before the 1987 Chiba-toho-oki earthquake (M6.7), Japan. *Ann Geofis* 42(5):833–850
9. Schorlemmer, D, Neri G, Wiemer S, Mostaccio A (2003) Stability and significance tests for b-value anomalies: example from the Tyrrhenian Sea. *Geophys Res Lett* 30(16):1835. doi:10.1029/ 2003GL017335
10. Urbancic TI, Trifu CI, Long JM, Toug RP (1992) Space–time correlations of b values with stress release. *Pure Appl Geophys* 139:449–462
11. Chouliara,s G (2009) Seismicity anomalies prior to 8 June 2008, Mw = 6.4 earthquake in Western Greece. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 9:327–335
12. Katsumata, K (2011) Long term seismic quiescence started 23 years before the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (M = 9.0). *Earth Planets Space* 63:709–712
13. Atanasova, M., Nikolov H., Oynakov E. (2021) Co-seismic surface displacements after the earthquakes in Larissa, 3 march 2021, derived by DINSAR, 21 st International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2021
14. Schorlemmer, D, Wiemer S, Wyss M (2004) Earthquake statistics at Parkfield, Stationarity of b values. *J Geophys Res* 109:B12307. doi:10.1029/2004JB003234
15. Stiphout, T, Schorlemmer D, Wiemer S (2011) The effect of uncertainties on estimates of background seismicity rate. *Bull Seismol Soc Am* 101(2):482–494. doi:10.1785/0120090143
16. Tsukakoshi, Y, Shimazaki K (2008) Decreased b-value prior to the M 6.2 Northern Miyagi, Japan, earthquake of 26 July 2003. *Earth Planets Space* 60:915–924.
17. Aki, K. (1965). Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits. *Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Univ.*, 43, 237–239.
18. Wiemer, S, Wyss M (2000) Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: examples from Alaska, the western United States, and Japan. *Bull Seismol Soc Am* 90(4):859–869
19. Habermann RE (1987) Man-made changes of seismicity rates. *Bull Seism Soc Am* 77:141–159
20. Wiemer S (2001) A program to analyse seismicity: ZMAP. *Geophys Res Lett* 72:373–382
21. University of Athens- http://dggsl.geol.uoa.gr/en_index.html
22. Dragomirov, D., et al. Seismicity on the territory of Bulgaria and the adjacent lands recorded by notssi in 2019. *Bulgarian Geophysical Journal* 42 (2019): 106.
23. Buchakchiev, V., et al. Seismicity on the territory of Bulgaria and the adjacent lands recorded by notssi in 2017. *Bulgarian Academy of Sciences ISSN 1311-753X* 42 (2019): 94.
24. Dragomirov, D., et al. Seismicity on the territory of Bulgaria and the adjacent lands recorded by notssi in 2018. *Bulgarian Geophysical Journal* 42 (2019): 106.
25. Dragomirov, D., et al. "Seismicity on the Territory of Bulgaria and curroundings pecorded by NOTSSI for the Period 2017-2019." Proceeding of 1st international conference on environmental protection and disaster risks. 2020
26. Akaike, Hirotugu. "A new look at the statistical model identification." *IEEE transactions on automatic control* 19.6 (1974): 716–723.
27. Utsu, T. (1965). A method for determining the value of b in the formula $\log n = a - bM$ showing the magnitude-frequency relation for earthquakes, *Geophys. Bull. Hokkaido Univ.* 13, 99–103 (in Japanese with English summary).

ЛИНЕАМЕНТНИ АНОМАЛИИ НА ГЕОМАГНИТНОТО ПОЛЕ И КОРЕЛАЦИЯ СЪС СЕИЗМИЧНОСТТА НА ТЕРИТОРИЯТА НА БЪЛГАРИЯ

Емил Ботев

*Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките
e-mail: ebotev@geophys.bas.bg*

Ключови думи: геомагнитни аномалии, сеизмичност, сеизмо-геомагнитна корелация

Резюме: Основен въпрос при изследване на линеаментните структури на геофизичните полета на дадена територия е тяхната корелация със сейсмичността. Тъй като територията на България се характеризира с висока сеизмична активност, дългосрочните прогнози за местоположението на очакваните по-значителни земетресения определят актуалността на това изследване. За откриване на линеамети на отделни геофизични полета в геоложката практика се използват различни методи: преки и косвени, качествени и количествени. В това изследване са показани резултатите от построяване на линеаменти по линейни индикатори на аномалното геомагнитно поле, въз основа на които е построена схема на линейни елементи на геомагнитното поле на територията на България. Проследени са качествено взаимовръзките с разпределението на сеизмичната активност за периода на високоточна локализация на земетресенията на територията на страната и прилежащите земи.

LINEAMENT ANOMALIES OF THE GEOMAGNETIC FIELD AND CORRELATION WITH THE SEISMICITY OF THE TERRITORY OF BULGARIA

Emil Botev

*National Institute in Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: ebotev@geophys.bas.bg*

Keywords: Geomagnetic Anomalies, Seismicity, Seismo-geomagnetic Correlation

Abstract: Basic problem in the study of the linear structures of geophysical fields in a given area is their correlation with seismicity. As the territory of Bulgaria is characterized by high seismic activity, long-term forecasts for the location of the expected more significant earthquakes determine the relevance of this study. Different methods are used in geological practice to detect lineaments of individual geophysical fields: direct and indirect, qualitative and quantitative. This study shows the results of construction of lineaments on linear indicators of the anomalous geomagnetic field, based on which a scheme of linear elements of the geomagnetic field on the territory of Bulgaria is built. The interrelations with the distribution of the seismic activity for the period of high-precision localization of the earthquakes on the territory of the country and the adjacent lands are qualitatively traced.

Въведение

Съвремената представа за природата на линеаментите на територията на България отразяват делимостта на литосферата и междублоковите структури. Тя е формирана въз основа на многобройни изследвания на тектоничните критерии на сеизмичността, по моделиране на геофизичните полета, структурни форми на релефа, геоложка информация и сеизмичност на изследваната територия.

Аномалиите на гравитационното и магнитно поле отразяват свойствата на земната кора и горната мантия. Получените резултати в изследването на Трифонова [1, 2] свидетелстват също така за взаимовръзките на аномалии със структурите на релефа и сейсмичността. При това контактните зони, разделящи блоковете, са фиксирани в регионално магнитно поле с положителни аномалии [3]. Сопоставяне на аномалиите на геофизичните полета с

разломната тектоника установява, че всички регионални разломи имат отражение в аномалии на геофизичните полета от типа гравитационни стъпала и линейни магнитни аномалии [3]. Технологията на геометрично построяване на линейните индикатори на разломи с методите на статистическия анализ на пространствените структури на геофизичните полета и релефа са представени в изследванията на [4].

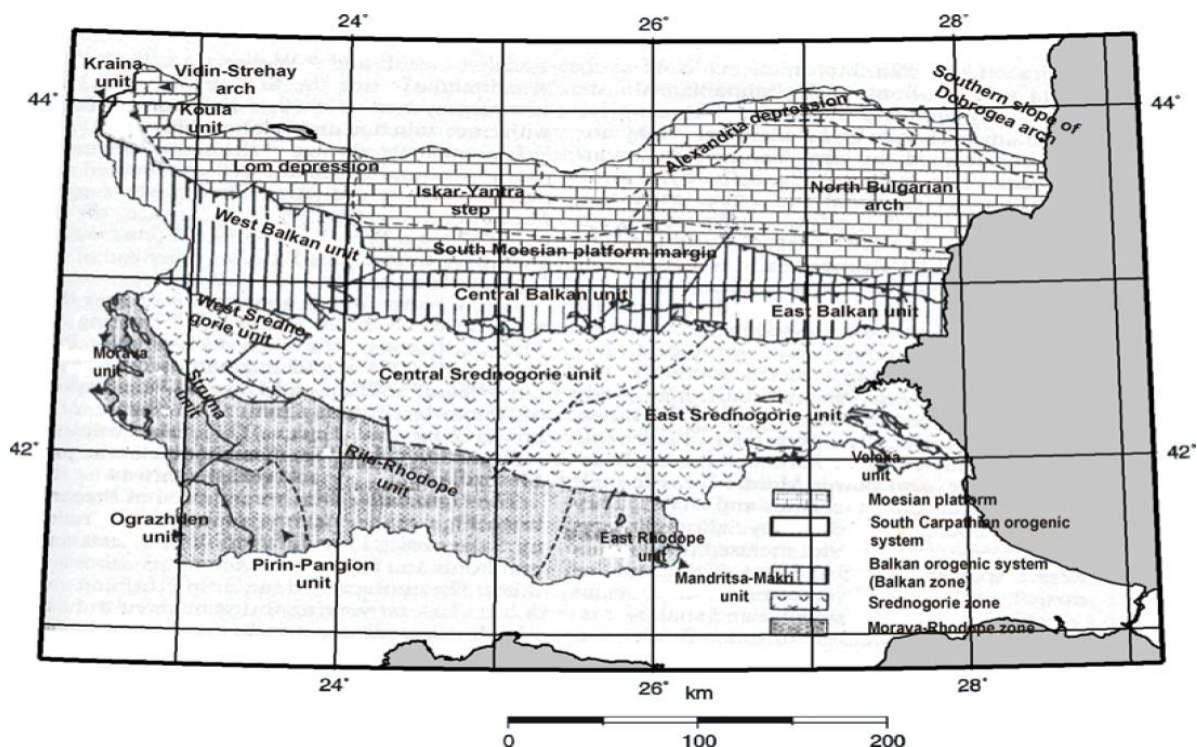
Особено важен въпрос при изследване на линеаментни структури е тяхната пространствена корелация със сейсмичността. Тъй като изучаваният район се характеризира с висока сеизмична активност, то дългосрочните прогнози за места и времена на значителни землетресения, определят актуалността на това изследване. В геоложката практика за откриване на линеамети се използват различни методи: преки и косвени, качествени и количествени. В това изследване са показани резултати от построяване на линеаменти по линейни индикатори на аномалното геомагнитно поле, въз основа на които е построена схема на линейни елементи на магнитното поле на територията на България.

Регионални структури

България е разположена в Балканския регион и включва елемент от евразийския континентален ръб. Територията му обхваща части от две основни тектонски единици: (1) северната част на алпийския тягов пояс на Балканите и (2) крайбрежието му Мизийската платформа (фиг. 1).

Мизийската платформа, определена като област със стабилно тектонско развитие, е свързана с Източноевропейската платформа през Северна Добруджа и Скитската платформа. Състои се от леко нагънато палеозойско мазе, покрито със сравнително недеформирани мезозойски последователности с дебелина до 4-5 км, заровено под палеогеновите, неогеновите и четвъртичните отлагания [5]. Граничи на север, запад и юг с алпийската орогенеза, представена от сгънатите карпатски и балканидни системи. По време на алпийския етап тази област е била подвижна тектонична зона, изпълнена с множество линейни единици с блокова структура (Фиг. 1).

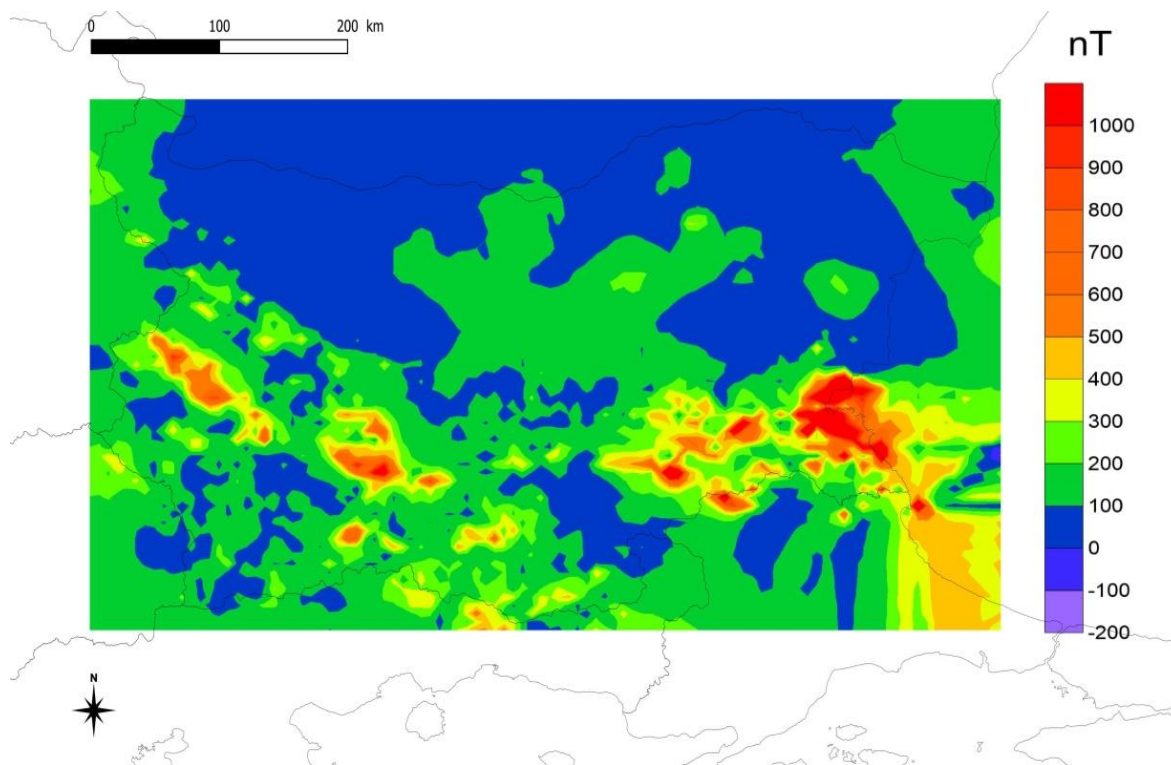
Границите между единиците от първи ред на системата Балканиди са белязани главно от тласъци и обратни разломи. Съществуват и премествания при удари (като например между Родопския масив и единицата Средногорие), които обикновено се тълкуват от гледна точка на тласкане или нормално разпадане [6].



Фиг. 1. Тектонска схема на България (модифицирана от Dabovsky et al., 2002). Алпийски тягов пояс (на юг) и Мизийска платформа (на север) са разделени на единици и субединици. В този модел тектонските единици представляват скални тела, характеризирани се със специфична съвкупност (литология, стратиграфия, магматизъм, метаморфизъм) и деформационни събития (възраст, произтичащи структури).

Данни и методика

Общият вектор Т на магнитното поле е спокоен на север (между 0 и 100 nT) и с големи вариации, остри аномалии и мозаечна структура на юг [2] (Фиг. 2).



Фиг. 2. Общ вектор Т (nT) на магнитното поле на територията на България

За да се определят линеаментите на магнитното поле, то се разлага на компоненти: локална (Фиг. 3б) и регионална (Фиг. 3а) съставляща. Общата схема на разделянето на геофизичните полета на съставлящи включва следните общи стъпки:

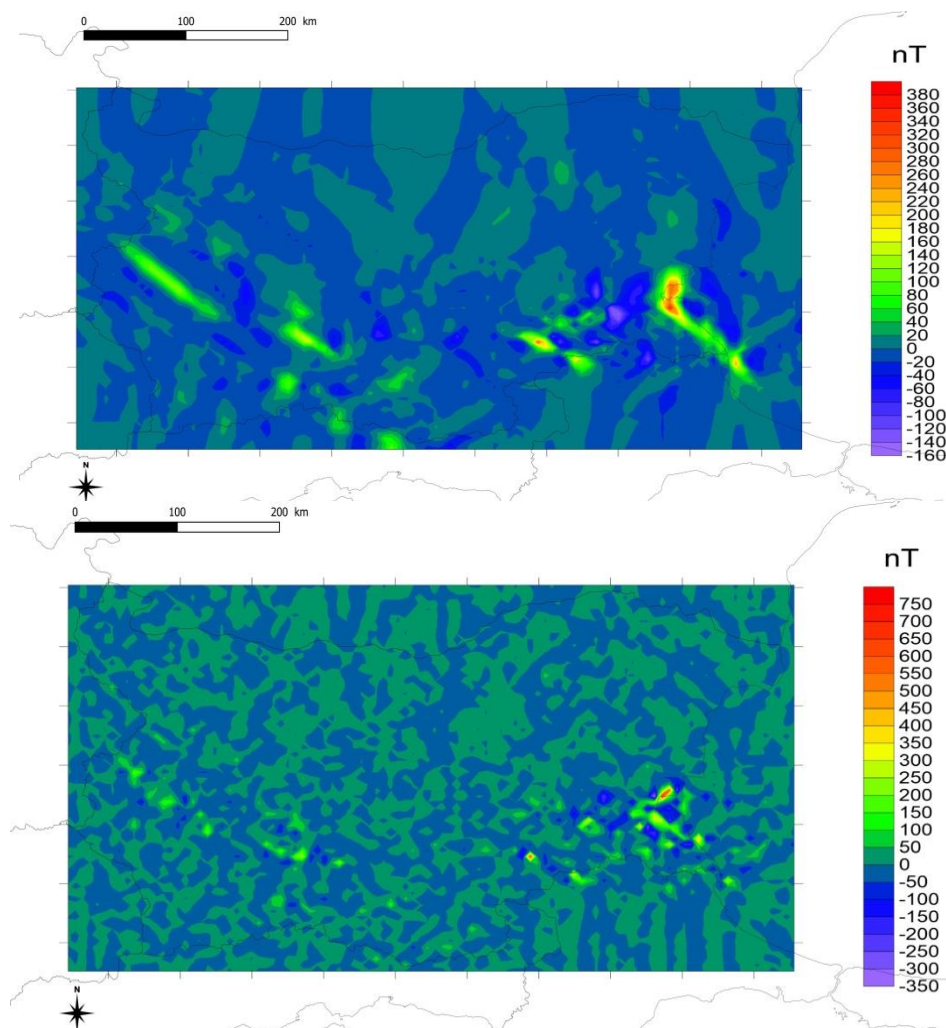
1. По началните стойности на полето се изчислява двумерна автокорелационна функция DAKF(m,p)

$$R(p, m) = \frac{1}{N - |p|} \frac{1}{n - |m|} \sum_{k=1}^{N-|p|} \sum_{i=1}^{n-|m|} f_k(x_i) f_{k+p}(x_{i+m})$$

където $f_k(x_i)$ – центрирани стойности на полето в точка с координати i, k ; m – преместване на между точките по y (ординатата), $m=0; \pm\Delta x; \pm 2\Delta x; \dots$; n – общ брой точки по абсцисата; N – общ брой точки по ординатата. По радиуса на корелация по ординатата r_{0y} и абсцисата r_{0x} (отместването при което полето може да се счита за неколерирано) се избира размера на прозореца на обикновен линеен филтър $n=r_{0x}$ и $m=r_{0y}$ или на базовия прозорец на адаптивен филтър.

2. Ако анализа на корелационните характеристики на локалната съставляща показва, че остатъчното поле е бял шум, т.е. абсолютно некорелиран по площ процес, това приключва процедурата, в противен случай се прилага филтрация на следващата локална съставляща.

3. Трасиране на осите на аномалиите – използва се алгоритъм за едномерна адаптивна филтрация [7].



Фиг. 3. а) регионална; б) локална; съставлящи на общият вектор T (nT) на магнитното поле

Използването на локалната компонента позволява проследяване на линейни линии в различни азимуты. Използването на регионалната компонента позволява трасирането на осите на аномалиите.

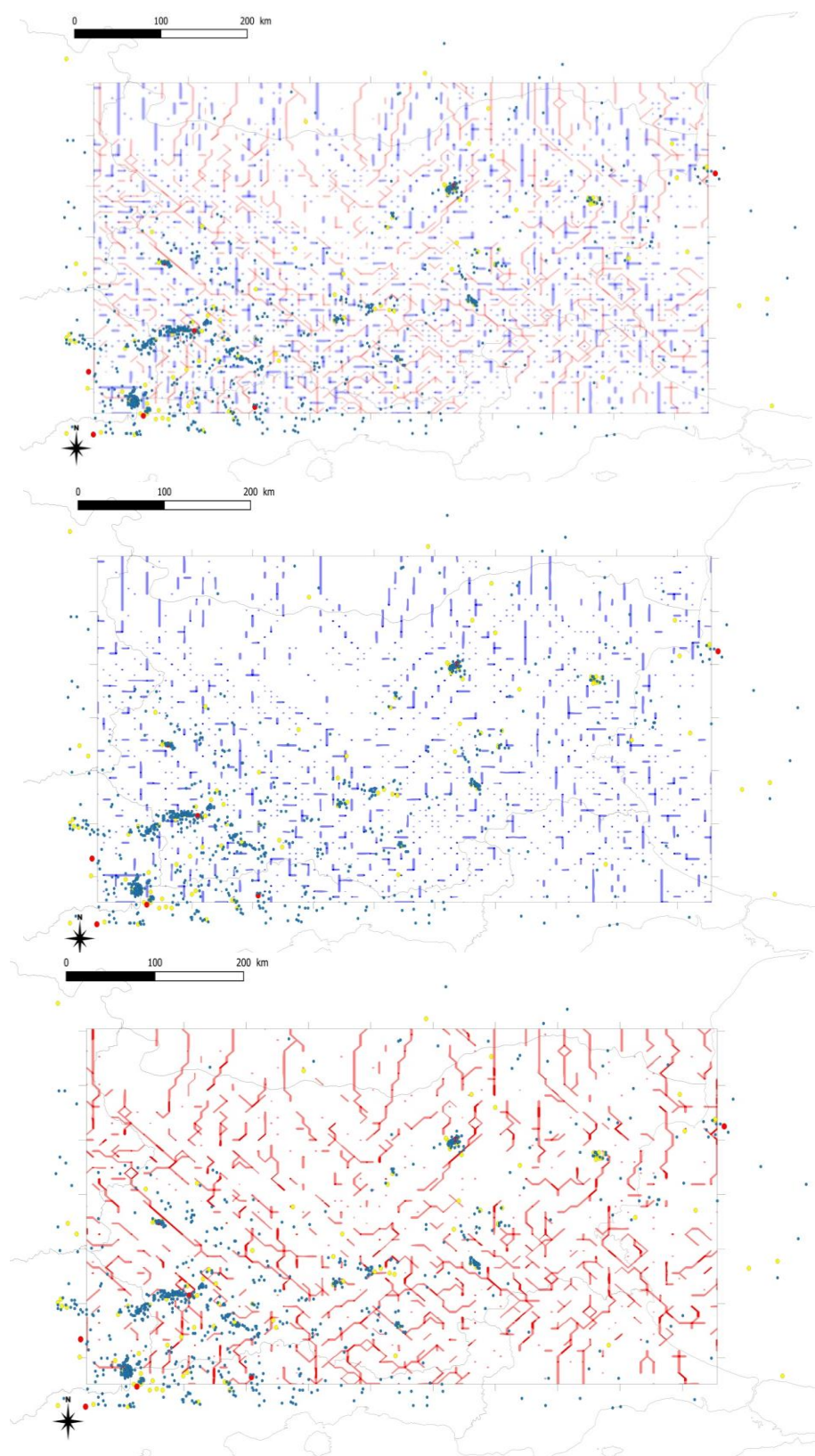
В настоящето изследване е използван каталога на земетресенията за периода 1981-2016 г. [8] обединен с каталозите на независими събития за годините от 2017 до 2019 [9-12]. Обединеният каталог на земетресенията обхваща данни в пространствен прозорец $22^{\circ} - 45^{\circ} N$ и $22^{\circ} - 30^{\circ} E$ и магнитудна оценка M_w .

Резултати

С използването на горепосоченият алгоритъм се получава изображение на картата на линеаментите на пространствената непрекъснатост на аномалиите на магнитното поле. Резултатите от конструкциите, използващи описаната технология, са показани на Фиг. 4а,б,в.

Качественото сравнение на разпределението на отрицателните и положителни линеаменти идентифицирани по регионалната компонента на магнитното поле (фиг 4а) показва, че в сярната част на изследваната територия (след 43°) положителните и отрицателни линеаменти са ориентирани предимно меридианно и субмеридианно. Плътността на линеаментите в тази зона е относително по-ниска от тази в южната част на изследваната територия. Като цяло отрицателните линеаменти са ориентирани предимно меридианно и паралелно, а положителните по-сложно.

В централната част на изследваната територия между $42^{\circ}-43^{\circ} N$ положителните линеаменти се простират предимно в югозападно направление, като над Родопския и Странжанския масив те се простират както в югозападно, така и в югоизточно направление (Фиг. 4в).



Фиг. 4. Система от линеаменти на регионално магнитното поле а) положителни и отрицателни магнитни линеаменти; б) — отрицателни магнитни линеаменти; в) — положителни магнитни линеаменти; заедно с епицентрите на земетресенията (1981-2020)

Изводи

На този етап от изучаването на структурата на линеаментите можем да отбележим качественото сходство на общия план на разпределение на системите на линеаменти с положителни и отрицателни аномалии на магнитното поле. Това може да показва закономерно редуване на пространствени структури с различни физични свойства на скалите.

Редица работи показват [1,2], че в системата от линеаменти се вписва пространственото разпределение на епицентри на земетресения, а центрове на силни земетресения са към осевите линии на повишена плътност на линеаменти.

Доколкото задачата на това изследване е именно построяването на системата от линеаменти и определянето на качествените взаимовръзки с разпространението на епицентри на земетресения, то може да се отбележи, че силните земетресения (червените точки, $M > 5$) са привързани по-скоро към положителни магнитни линеаменти.

Благодарности

Настоящата работа се спонсорира от Българския Фонд за Научни Изследвания, контракт N ДН14-1/11.12.2017.

Литература:

1. Trifonova, P., Solakov, D., Simeonova, S., Metodiev, M., & Stavrev, P. (2013). Regional pattern of the earth's crust dislocations on the territory of Bulgaria inferred from gravity data and its recognition in the spatial distribution of seismicity. *Pattern Recognition in Physics*, 1(1), 25–36.
2. Oynakov, E., Solakov, D., Ranguelov, B., & Dimovsky, S. (2020). Correlation between gravity and magnetic fields on the territory of Bulgaria. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 20(1.2), 511–518.
3. Стогний Г.А., Стогний В.В. Геофизические поля восточной части Северо-Азиатского кратона. – Якутск: ГУП НИПК «Сахаполиграфиздат», 2005. – 174 с.
4. Trofimenko S.V., Grib N.N., Melnikov A.A., Merkulova T.V. Systems of Lineaments of Magnetic and Gravity Anomalies in the Zone of Convergent Interaction of the Amur and the Eurasian Tectonic Plates // *Modern Applied Science*. – 2015. – vol. 9, № 8. – P. 195–203. URL: <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v9n3p195>.
5. Dabovski, C., Boyanov, I., Khrichev, Kh., Nikolov, T., Sapunov, I., Yanev, Y., and Zagorchev, I.: Structure and Alpine evolution of Bulgaria, *Geologica Balkanica*, 32, 9–15, 2002.
6. Solakov, D. (Ed.): Project report: “Seismic zoning of Bulgaria according to EC8”, Geophysical Inst.-BAS, Sofia, p. 187, 2008 (in Bulgarian).
7. Солонина, А. И. (2001). Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. БХВ-Петербург.
8. Solakov D., Simeonova S., Raykova Pl., Aleksandrova I. (2020) Catalogue of the earthquakes in Bulgaria and surroundings since 1981, National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography-BAS, DOI: <https://doi.org/10.34975/ctlg-2020.v.1>
9. Buchakchiev, V., et al. (2019). Seismicity on the territory of Bulgaria and the adjacent lands recorded by notssi in 2017. *Bulgarian Academy of Sciences ISSN 1311-753X* 42: 94.
10. Dragomirov, D., et al. (2019). Seismicity on the territory of Bulgaria and the adjacent lands recorded by notssi in 2018. *Bulgarian Geophysical Journal* 42 (2019): 106.
11. Dragomirov, D., et al. (2020). Seismicity on the territory of Bulgaria and the adjacent lands recorded by notssi in 2019. *Bulgarian Geophysical Journal* 43 (2019): 106.
12. Dragomirov, D., et al. (2020). Seismicity on the Territory of Bulgaria and curroundings pecordred by NOTSSI for the Period 2017-2019. *Proceeding of 1st international conference on environmental protection and disaster risks. София, 2020.*

EARTHQUAKE PREPARATION PROCESS REVERBERATION IN ELECTROMAGNETIC FIELDS VARIATIONS

Margar Adibekyan

*Ministry of Emergency Situations of the Republic of Armenia
Territorial Survey for Seismic Protection, the Chief of Geophysical and Geological Department
e-mail: adibekyan@yahoo.com*

Keywords: earthquake, ionosphere, magnetometer, electromagnetic fields, precursors

Abstract: Aiming at earthquake precursors apportionment the earthquake preparation display of Noemberyan (Armenia, 20.06.2008, $M=3.4$), Azerbaijan (28.07.2010, $M=3.6$) and Georgia-Armenia border (27.09.2011, $M=4.3$) earthquakes in time-series have been studied using the geomagnetic, ionosphere and Irreversibility of Non – stationary Processes (INP) techniques. Aiming at purpose earthquake forecasting the anomaly in the ionosphere plasma are investigated by a radio-astronomical method. There were earlier received some results, allowing to make out the difference of seismogenic anomalies of ionosphere between the longer anomalies connected to magnetic activity of ionosphere by the method of vertical reconnaissance of ionosphere. There were earlier received some results, allowing to make out the difference of seismogenic anomalies of ionosphere between the longer anomalies connected to magnetic activity of and the time series of E parameter of INP method energy release (absorption). For considering the geomagnetic field are used high accuracy proton magnetometers, which are measuring the T inductivity of geomagnetic field each 5 minutes. The monitoring of INP method is making by NPVP – 4 device periodically by 25 msec. rectangular impulses. There have been used the following time – series Saravand (ionosphere), Aruch (geomagnetic field) and Gumri, Qajaran, Exegnadzor (electromagnetic fields) stations.

Introduction

It is known, that the geophysical environment, including seismically active zones, is made up of solid, liquid and gaseous phases. It is known as well that in the zone of two phases separation a Zone of Separated Changes (ZSC) is forming, or as they are called in physical chemistry, double ionic (electric) layers. Depending on their structure, each of the ZSC of geophysical environment is characterized by capacity, inductivity and resistance (Balassanyan S.Yu, 1990). The results obtained earlier allow to make out the difference between activity of ionosphere, by the method of vertical reconnaissance of ionosphere [2-6]. Electromagnetic precursors of the earthquakes are characterized by the great variety of types, depending on the character of tectonic processes they reflect and frequency band of their observation, etc. The frequency range of electromagnetic waves emitted by the Earth's crust is essential, but still unstudied. Daily dynamics of the local electric and magnetic fields generated by tectonic zones, rich in minerals, was analyzed in monograph (Balassanyan S.Yu. 1990). Much attention is given during the last several decades to study the ionospheric precursors of the earthquakes. Various authors (Gokhberg M. B. 2000, Liperovski V. A 1992) have proposed models of the physical interaction mechanisms between lithosphere and ionosphere. However the whole system of issues related with these bonds still remain unclear. The monograph (Liperovski V. A 1992) describes in detail almost all known types of ionospheric precursors of the earthquakes. It is shown, in particular, that electronic concentration and density variations occur in all layers of ionosphere above the seismically active regions prior to earthquakes, with characteristic time of several hours. These perturbations, in their turn, have impact on propagation of HF and VHF electromagnetic waves. Physical mechanisms of these processes are considered in the paper (Kim V. P., Pulnits S. A., Khagai V. V., 2002). It is shown that the initial source of ionospheric perturbations preceding the strong earthquakes is the perturbation of vertical electric field on the Earth's surface, initiated by physical and chemical processes at earthquake source. It should be noted that atmospheric perturbation study, aimed at detection of possible earthquake precursors is carried out mostly by the active ground and satellite methods using artificial signal sources. At the same time, the radio astronomical observation method where the signals from natural stellar sources are used, was not so popular. The paper (Voinov V.V., Gufeld I. P., Kruglinov V. V., et al., 1992) analyzing the effects in ionosphere and atmosphere

preceding the Spitak earthquake may be considered as the first such publication. Radio astronomical monitoring method makes possible, along with immediate detection of electromagnetic emission from the Earth's depth in the selected frequency band, to observe other types of lithospheric impact on the atmosphere, such as aerosol, electrostatic, acoustical/gravitational, etc.

This configuration allows reception of signals from point cosmic radio sources Swan and Cassiopeia-A, with nearly the same amplitudes of interference lobes. Time interval between of these sources by the local meridian is 3 hours and 30 min.

The Method and Technique of Researches

The time – series of geomagnetic field tension of T full vector and energy release (absorbtion) E+- index of INP method have been used.

With the purpose of earthquakes forecasting the anomaly formations in the ionospheric plasma are investigated by a radio- astronomical method [6]. High accuracy proton magnetometers [7], which are measuring the T inductivity of geomagnetic field each 5 minutes are used for considering the geomagnetic field. The monitoring of INP method is making by NPVP–4 device periodically by 25 μ s rectangular impulses [8].

Results

The results of the retrospective analysis of ionosphere observation data before Noemberyan (Armenia, 20.06.2008, M=3.4), Azerbaijan (28.07.2010, M=3.6) and Georgia-Armenia border (27.09.2011, M=4.3) revealed the following basic types of anomaly (Fig. 1-5):

1. Blinking of ionosphere active radio-source Swan – A on the frequency of 74 MHz.
2. Anomaly of above – mentioned precursors is coming out up to 40 days before earthquake.

Conclusion

The results of analysis by used methods show, that the anomalies generally appear on 1- 40 days before the earthquake.

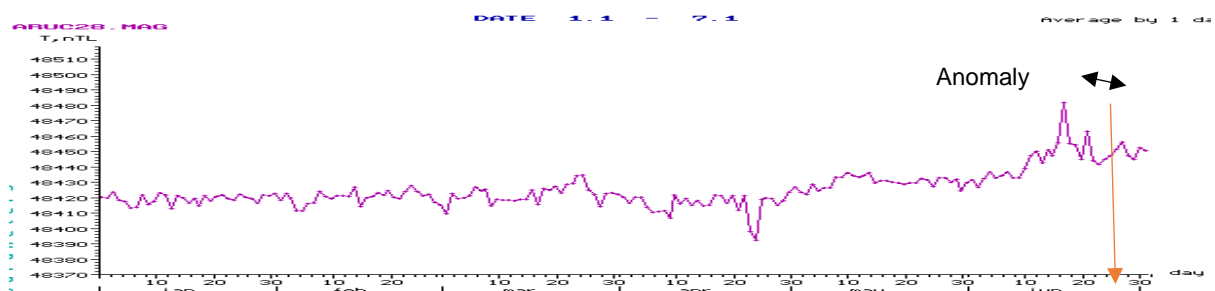


Fig. 1. The time – series of the geomagnetic field (Aruch station) for the of Noyemberyan (Armenia, 20.06.2008, M=3.4) earthquake

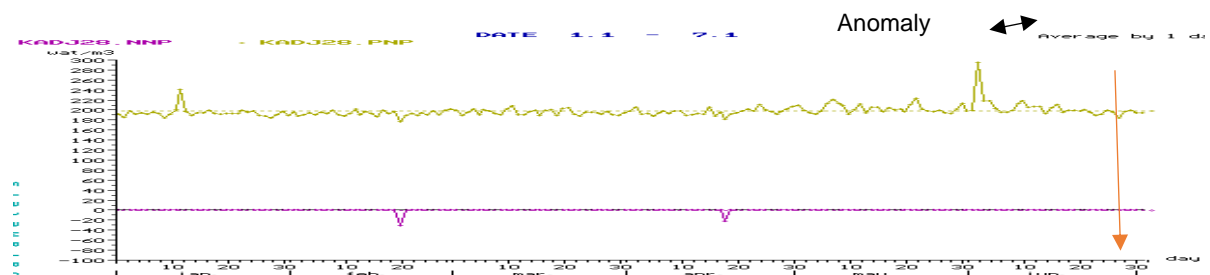


Fig. 2. The time – series of the electromagnetic field (Qajaran station) for th of Noyemberyan (Armenia, 20.06.2008, M=3.4) earthquake

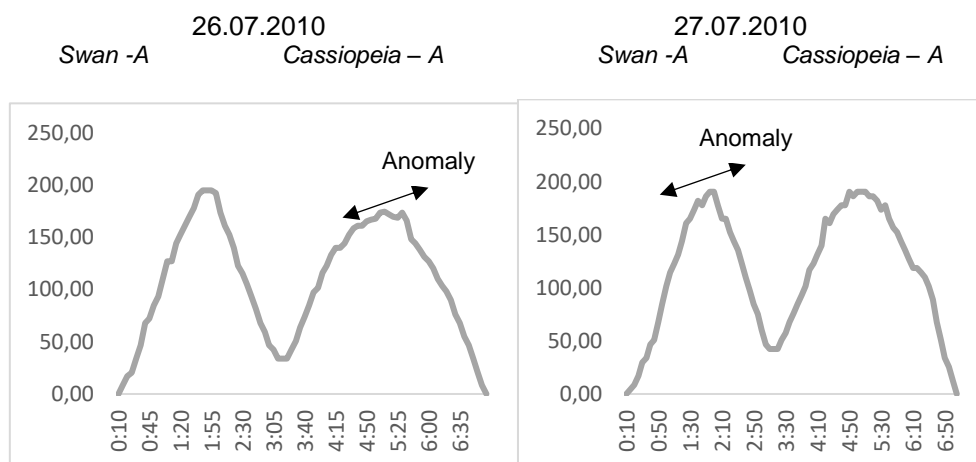


Fig. 3. The representation of time – series of the ionosphere field (Saravand station) obtained by Radio astronomical method for the Azerbaijan (28.07.2010, M=3.6) earthquake

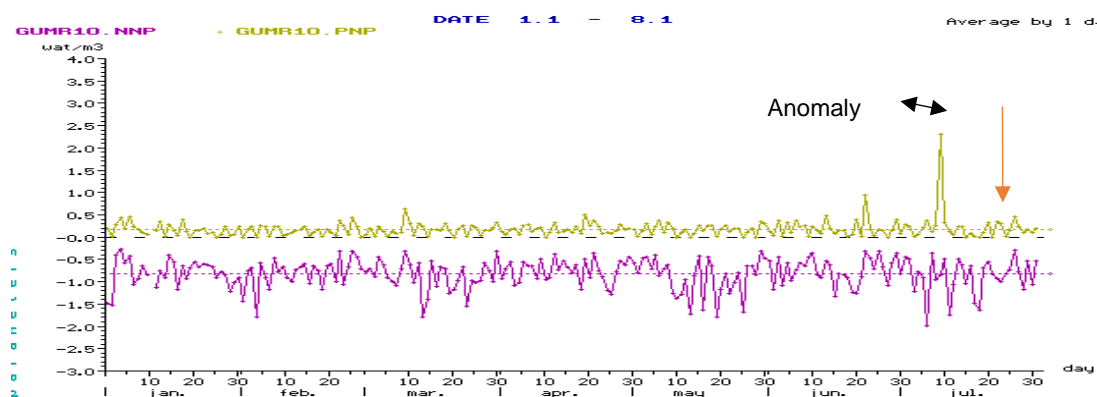


Fig. 4. The time – series of the electromagnetic field (Gyumri station) for the Azerbaijan (28.07.2010, M=3.6) earthquake

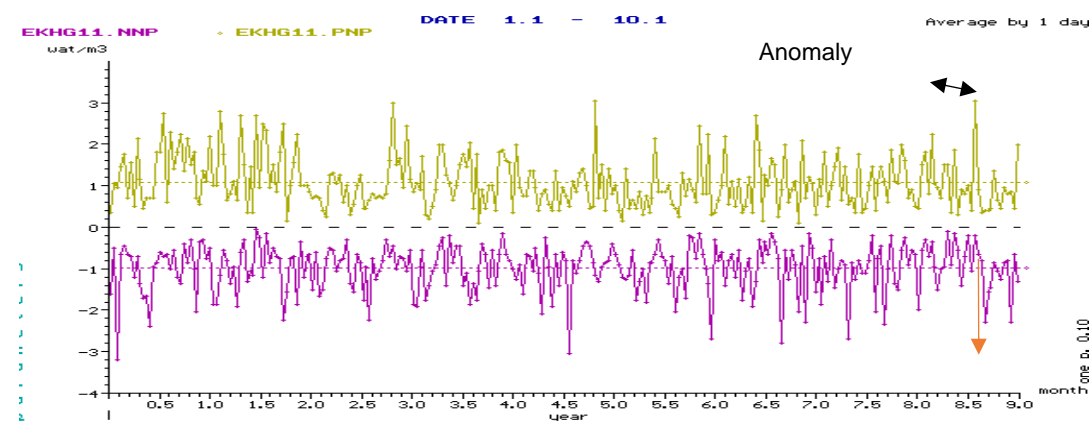


Fig. 5. The time – series of the electromagnetic field (Exeqnadzor station) for the Georgia-Armenia border (27.09.2011, M=4.3) earthquake

References:

1. Balassanyan, S. Yu. (1990). Dynamic Geoelectricity. Novosibirsk, "NAUKA", Siberian Department, pp. 232.
2. Gokhberg M. B., Shalimov S. L., Lythosphere/Ionosphere Coupling and its Simulation, Russian J. of the Earth Sciences, v. 2, № 2, 2000 (in Russian).
3. Liperovski, V. A., Pokhotelov O. A., and Shalimov S. L., Ionospheric Precursors of Earthquakes, Moscov, Nauka, 304 pp., 1992 (in Russian).

4. Kim, V. P., Pulinets S. A., Khagai V. V., Theoretical Model of Possible Variations in the Night Mid-Latitude D-Layer of Ionosphere over the Strong Earthquake Preparation Area, *Izv. Vuzov, Radiofizika*, v. XLV, №4, pp. 289–296, 2002 (in Russian).
5. Martirosyan, R. A., Goulyan A.G, Sanamyan V., Piroumyan H, Adibekyan M, Mirsoyan A. Remote sensing system of ionosphere for assessment of seismic risks // *Izv.NAN, RA Gyumri, Ser. TH.* 2006. T.LIX, N 3.
6. Adibekyan, M. V., Detecting Earthquake Precursors by Mathematical Modelling of Ionospheric Time Series. Tenth Anniversary Scientific Conference with International Participation SPACE, ECOLOGY, SAFETY (SES 2014), 12-14 November, 2014, Sofia, Bulgaria 354–355.
7. Badalyan, M., Petrosyan H., Adibekyan M. (2001) Peculiarities of magnetic precursors of earthquakes on the territory of Armenia. *Journal of Georgian Geophysical Society. Physics of Solid Earth*, Vol.5, Tbilisi, pp. 37–43.
8. Баласанян, С. Ю., Петросян Г. М., Аванесян А. С., Адібекян М. В. Некоторые Результаты наблюдений методом необратимости нестационарных в период подготовки и реализации Ноемберянского землетрясения (18.07.1997). *Сеймостойкое строительство*, М., N1, 1999, с. 40–43.

СИСТЕМА ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Радик Мартиросян¹, Альберт Гулян², Гамлет
Пирумян², Маргар Адибекян³, Хачик Манасельян²

¹Президент Национальной Академии Наук Армении – Армения

²Институт Радиофизики и Электроники НАН Армении – Армения

³ГНКО "Территориальная служба сейсмической защиты" – Армения
e-mail: adibekyan@yahoo.com

Ключевые слова: ионосфера, радиотелескоп, интерференционная гармоника, цифровой анализ

Абстракт: Рассмотрены структура и технические характеристики системы вертикального зондирования ионосферы на длине волны $\lambda = 4,2$ м, и возможности улучшения чувствительности интерференционного радиотелескопа методом цифровой обработки данных наблюдений с целью исследования оценки симптомов сейсмической опасности, и характера изменения плотности потока радиоисточников Лебедь-А и Кассиопея-А. Анализы результатов наблюдений подтвердили корреляцию между сейсмическими явлениями и поглощением ионосферой радиоизлучения природных космических источников в период подготовки землетрясения магнитудой $M \geq 3.5$, а также слабо выраженную периодичность в изменении плотности потока радиоисточников Лебедь-А и Кассиопея-А.

SYSTEM FOR VERTICAL IONOSPHERE SOUNDING SEISMIC HAZARD ASSESSMENT

Radik Martirosyan¹, Albert Gulyan², Gamlet Pirumyan²,
Margar Adibekyan³, Xachik Manaselian²

¹President Armenian National Academy of Sciences

²Institute of Radiophysics and Electronics Armenian NA of Sci – Republic of Armenia

³Regional Survey for Seismic Protection" State non Commercial Organization – Republic of Armenia,
Ministry of Emergency Situations
e-mail: adibekyan@yahoo.com

Keywords: Ionosphere, Radio Telescope, the Interference Harmonica, Digital Analysis

Abstract: Vertical ionosphere sounding seismic hazard assessment. The structure and system specifications of the vertical sounding of the ionosphere at a wavelength of $\lambda = 4,2$ m, and opportunities to improve the sensitivity of the interference of the radio telescope with digital data observations to study the seismic hazard assessment symptoms and the nature of change of flux density of the radio sources Swan-A and Cassiopeia-A. Analyzes of observational results have confirmed the correlation between seismic phenomena and absorption of radio waves by the ionosphere natural cosmic sources in preparation for earthquakes with magnitude $M \geq 3.5$, as well as weak expressed periodicity in density changes the flow of the radio sources Swan-A and Cassiopeia-A.

Введение

Оценка сейсмической опасности осуществляется путем непрерывной регистрации разных (электромагнитного, геомагнитного, ионосферного и т.д.) симптомов в зоне опасности. В ряде работ [1-5] предложены модели возмущенной ионосферы в связи с аномальным нарастанием литосферно-ионосферным взаимодействием. Радиоастрономический способ вертикального зондирования ионосферы однозначно охватывает зону подготовки землетрясения и благодаря чувствительного радиотелескопа обладает высокой

информативностью. Ниже приведены структура и технические параметры радиотелескопа, а также анализ результатов наблюдений.

Радиотелескоп

Антенна радиотелескопа - полноповоротное плоское зеркало с линейными размерами $4\lambda \times 1,5\lambda$, состоявшегося из двенадцати равномерно распределенных синфазно возбужденных волновых диполей (рис.1), столбики которого соединяются кабелями с электрическими длинами $\lambda/2$, а волновые сопротивления отдельных диполей ($R \approx 900\text{ Ом}$) рассчитаны из условия согласования. Выход антенны, через симметрирующий узел подается к радиометру. Для осуществления радио интерферометрии при регистрации слабых точечных космических радиоисточников над уровнем Галактического фона, на территории полигона было установлено второе зеркало (один столб основного зеркала). Параметры антенны (Табл. 1) определились радиоастрономическим методом, с помощью радиоисточников Кассиопея-А и Лебедь-А.

Таблица 1

Параметр	АЭфф	$\Phi_{3\text{дБ}}$	$\Theta_{3\text{дБ}}$	f_0	Δf	$K_{\text{ус.}}$	$F_{\text{ш}}$
Величина	50 м^2	40°	15°	72 МГц	400 КГц	70 дБ	≥ 2.5

Радиометр, структурная схема которого приведена в рис. 2, супергетеродинная система прямого преобразования, со входным маломощным усилителем, в которой, с целью отстранения от помех предусмотрена девиация рабочей частоты в пределах 1 МГц.

1

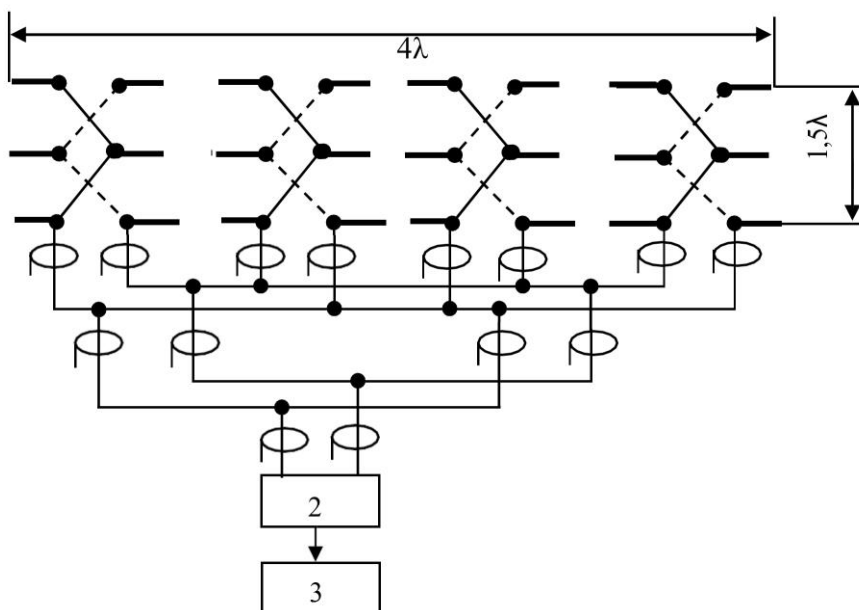


Рис. 1. Структурная схема антенны:

1 - антенна, 2 - симметрирующий узел, 3 - радиометр

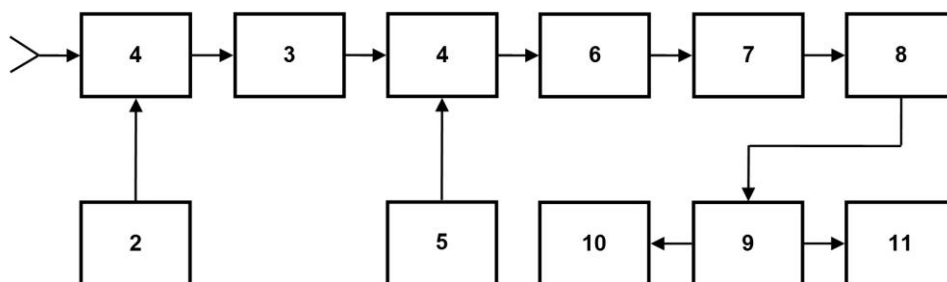


Рис. 2. Структурная схема радиометра:

- 1 – антенный переключатель, 2 – генератор шума,
 3 – малошумящий усилитель, 4 – смеситель,
 5 – гетеродин, 6 – усилитель промежуточной частоты,
 7 – детектор, 8 – усилитель постоянного тока,
 9 – накопитель, 10 – компьютер, 11 – самописец

Программа и методика наблюдений

Наблюдения проводились ежедневно, девятичасовой продолжительностью, достаточной для прохождения обеих источников через диаграмму направленности неподвижного радиотелескопа в интервале $17^h 30^m \leq \alpha \leq 26^h 30^m$ прямого восхождения источника. Совместная регистрация радиоизлучения Галактического фона и дискретных радиоисточников осуществляется и в аналоговом виде – на ленте самописца и в виде цифрового ряда - в памяти компьютера.

Степенная фильтрация

Степенной цифровой фильтр усиливает переменную составляющую регистрированного после детектора сигнала космического радиоисточника, в данном случае- его пространственную гармонику. При этом чем больше ее амплитуда, тем больше она усиливается, соответственно улучшается избирательность системы.

Представим интерферированную запись космического излучения (сигнал дискретного источника, галактического фона и шумов) в виде цифровой последовательности во времени и введен в память ЭВМ.

На рис. 3 изображены наблюдения радиоизлучения дискретных радиоисточников Лебедь-А и Кассиопеа- А до Нахичеванской (Азербайджан, 28.07.10, $M = 3.5$) землетрясения (ст. Сараванд). На 26.07-27.07.2010 г. было зарегистрировано снижение значений мощностей дискретных радиоисточников Кассиопеа-А и Лебедь -А, что может быть связано с сейсмической активностью.

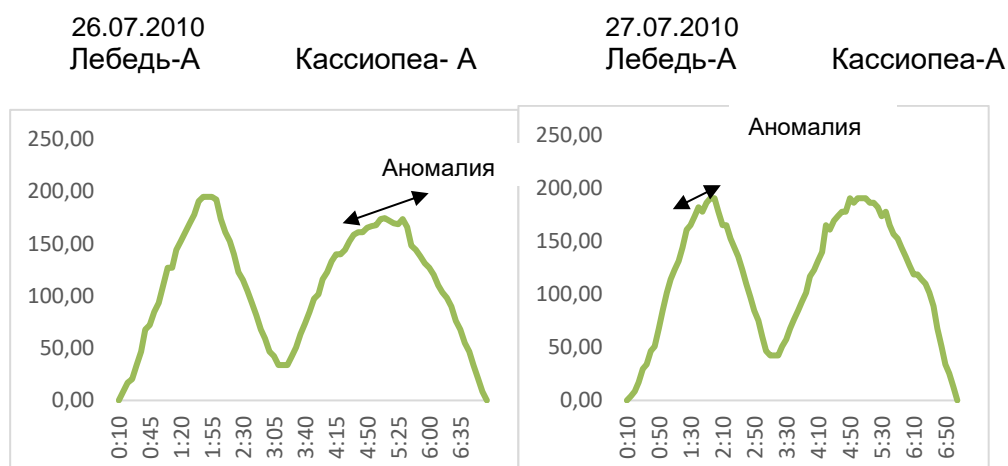


Рис. 3. Радиоастрономическое наблюдение радиоизлучения дискретных радиоисточников Лебедь-А и Кассиопеа-А до Нахичеванской (Азербайджан, 28.07.2010, $M = 3.6$) землетрясения (ст. Сараванд)

Выводы

Полученные результаты каждодневных, длительных наблюдений, представленных в рис. 3 подтверждают факт измеримой корреляции между фазой подготовки землетрясения с магнитудой $M \geq 3.5$ и поглощением радиоизлучения в возбужденной ионосфере, который можно объяснить ухудшением радио прозрачности ионосферы, обусловленным электромагнитным излучением деформированного грунта в зоне землетрясения.

Полученные обнадеживающие результаты обосновывают необходимость дальнейших исследований сейсмо-ионосферных связей метода вертикального зондирования.

По мнению авторов, для увеличения информативности (направление и скорость распространение сейсмических волн и т.д.) перспективнее объединение наблюдательных пунктов в интерференционную систему, а наблюдение проводить одновременно на разных радиочастотах.

Литература:

1. Balasarian, S. Dynamic Geo- electricity. Novosibirsk, "NAUKA", Siberian Department, 1990, pp. 232.
2. Levich, V. The Theoretical Physics, vol. 1, 1969, 797 p.
3. Barsukov, O. Analysis Method for Seismoelectromagnetic Processes, M., Nauka, 1991, 56 p.
4. Kamke, E. Reference Book for Ordinary Differential Equations, M., Nauka, 1965, 454 p.
5. Martirosyan, R., A. Goulyan, V. Sanamyan, H. Piroumyan, M. Adibekyan, A. Mirsoyan. Remote sensing system of ionosphere for assessment of seismic risks //Izv.NAN, RA Gyumri, Ser. TH. 2006. T.LIX, N 3.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА СЕИЗМОТЕКТОНСКИТЕ ПАРАМЕТРИ НА КАТАСТРОФАЛНИТЕ ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ ОТ 1954 И 1980 Г. В СЕВЕРЕН АЛЖИР ЧРЕЗ МОДЕЛИРАНЕ НА ГЕОДЕЗИЧЕСКИ ДАННИ

Димитър Димитров

*Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките
e-mail: clgdime@abv.bg*

Ключови думи: земетресения, моделиране, геодезически данни

Резюме: Представени са резултатите от ново изследване на сеизмотектонските параметри на катастрофалните земетресения от 1954 г. $M=6.7$ и 1980 г. $M=7.3$ в северен Алжир чрез аналитично моделиране на данни за косеизмични премествания на геодезически репери. Получените сеизмотектонски параметри потвърждават наличието на общ главен разлом на земетресенията от 09.09.1954 г. и 10.10.1980 г., и отхвърлят публикувани хипотези и изясняват дискуссионни въпроси, като се съгласуват с геоложките, тектонски и геофизичните изследвания изпълнени в района.

STUDY OF SEISMOTECTONIC PARAMETERS OF THE 1954 AND 1980 EARTHQUAKES IN NORTH ALGERIA BY MODELING OF GEODETICS DATA

Dimitar Dimitrov

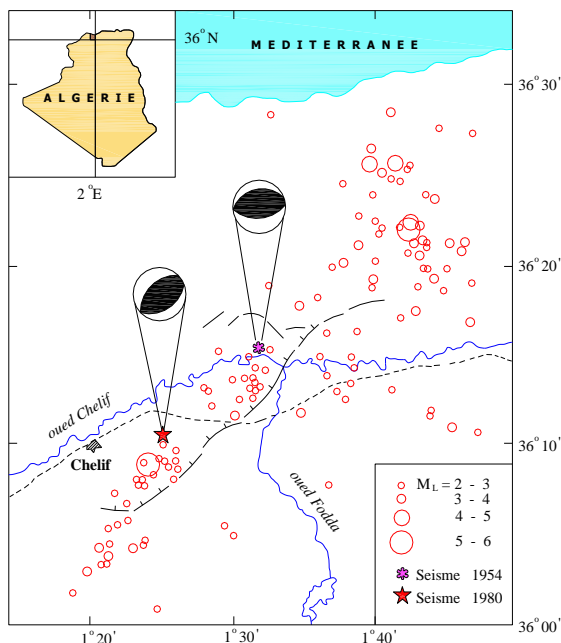
*National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: clgdime@abv.bg*

Key words: earthquakes, modeling, geodetics data

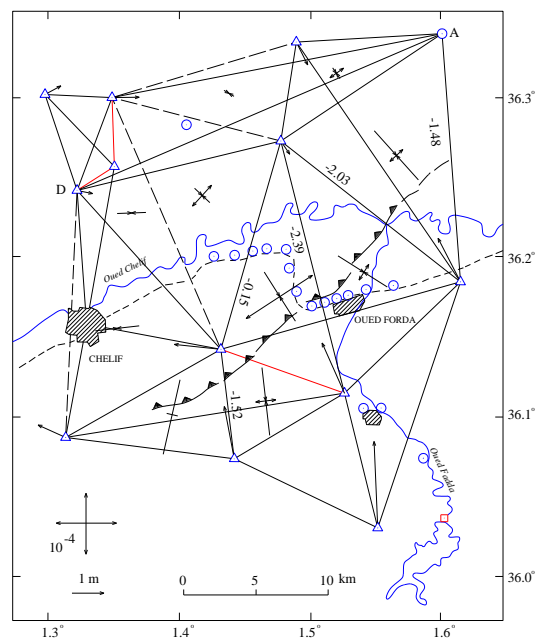
Abstract: The results of the seismotectonic parameters study of the 1954 $M=6.7$ and 1980 $M=7.3$ Earthquakes in North Algeria determined by modeling on data for co-seismic displacement are presented. The established seismotectonic characteristics confirm connection between the faults activated during the earthquakes of 09.09.1954 and 10.10.1980. The obtained by modeling of geodetics data result main fault are in a good agreement with the geological, tectonics, seismological and geophysical investigation carried out in the region.

Изследване на деформациите от земетресенията от Ел Аснам 1980 г. през 1981 г.

Районът на град Шлеф (бивш Ел Аснам) в северен Алжир е от най-активните зони на контакт на Африканската и Евроазиатската тектонски плочи, където са станали голям брой катастрофални земетресения и са наблюдавани ярки ко-сеизмични деформации (Фиг. 1). Земетресенията от 09.09.1954 г. $M=6.7$ и от 10.10.1980 г. $M=7.3$ са от най-силните и известни поразили района и отнели хиляди човешки живота. След земетресението от 1954 г. изследванията не са успели да установят главната посока на деформациите [1]. След катастрофалното земетресение от 1980 г. Институтът по физика на Земята, Париж преизмерва части от държавните геодезически мрежи в района (триангулация и нивелация. През 1981 г. преизмерват ъглите и 3 дължини на държавната триангулация мрежа в зоната и определят хоризонтални премествания над 2 m [2] (Фиг. 2).

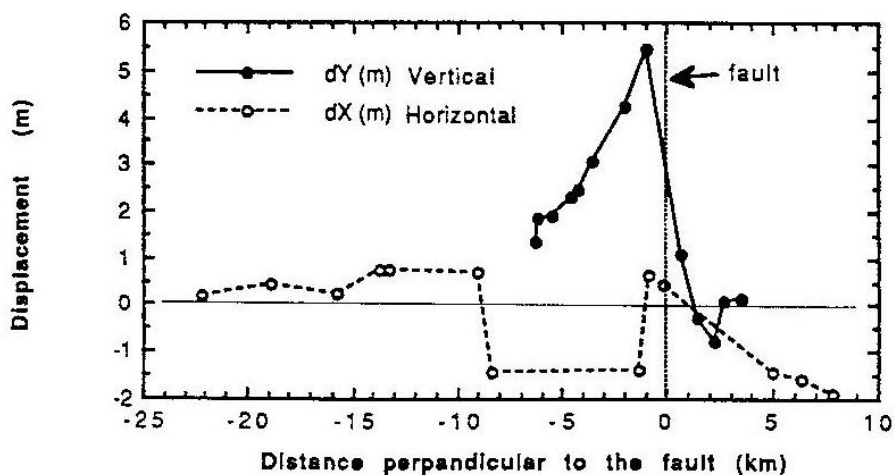


Фиг. 1. Сеизмогенната зона Шлеф в северен Алжир с епицентрите на катастрофалните земетресения от 1954 и 1980 г., механизмите на сеизмичните им огнища, и главните сеизмотектонски разкъсвания и главните авершокове на труса от 10.10.1980 г.



Фиг. 2. Релативните косеизмични хоризонтални премествания на геодезическите точки са представени с вектори, а средните тензори на деформациите вектори са показани в триъгълниците. Скъсяването на дължините са представени с цифри, а реперите от нивелацията с кръгчета.

Геодезически определените хоризонтални и вертикални ко-сеизмични деформации от земетресението от 10.10.1980 г. спрямо изявата на главния разлом на повърхността установили, че най-значимите хоризонтални премествания са в зона до 10 km от двете страни на главния разлом (Фиг. 3). При вертикалните ко-сеизмични премествания, в зоната на възсед, максималното издигане се ограничава в първите 6 - 7 km от разлома, докато пропадането във възседнатата зона е ограничено само в ивица от 2 - 3 km от главните теренни разкъсвания (Фиг. 3).

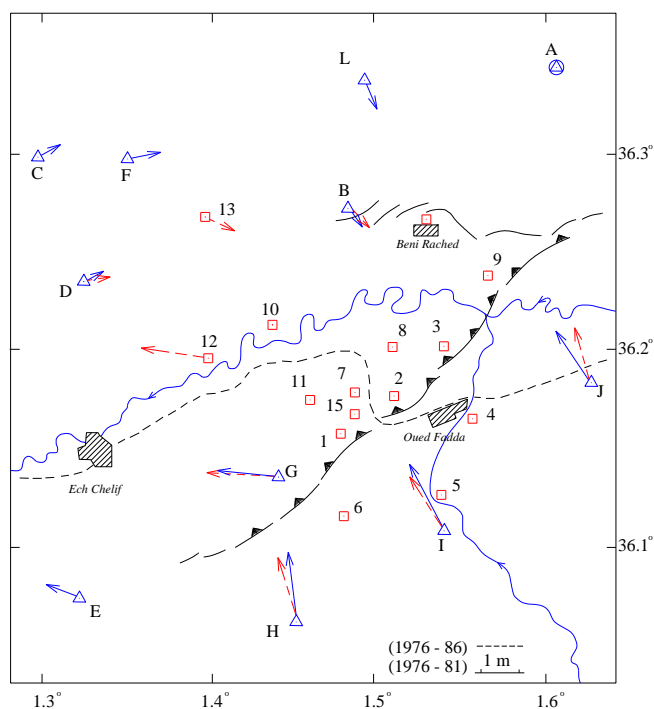


Фиг. 3. Ко-сеизмичните премествания [m] от земетресението от 10.10.1980 г., представени по профил перпендикулярен на повърхностната изява на главния разлом. С пълните кръгчета и линия са представени вертикалните ко-сеизмични премествания, а с празните кръгчета и прекъсната линия хоризонталните премествания. Разстоянието от разлома в [km].

Измервания за определяне на косеизмични премествания 1986 – 1991 г.

В зоната около главните тектонски разкъсвания от труса от 1980 г. се конструира на база на съществуващата триангулация нова изследователска мрежа [3] (Фиг. 4). През 1986 г. се измериха с теодолит ТЗ ъглите и с DI 20 всички дължини на мрежата. В измерванията бяха

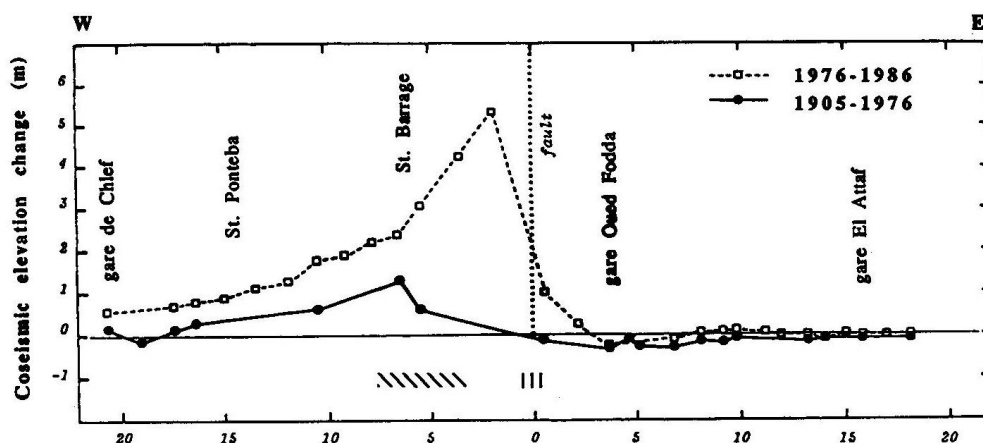
включени и новостабилизираните контролни точки. Измерването на новата мрежа през 1986 г. и сравнението на получените данни с данните от измервания преди 1976 г. позволиха и да се потвърдят значителните ко-сеизмични премествания от земетресението от 10 октомври 1980 г.. Сравнението на ко-сеизмичните хоризонтални премествания на триангулационните точки в зоната е спрямо една и съща изходна точка (А) и посока, и е представено на Фиг. 4. Получените с различни методи и от различни екипи идентични по стойности и посоки премествания потвърждават напълно значителните ко-сеизмични премествания [2], предизвикани от земетресението от 10.10.1980 г.



Фиг. 4. Сравнение на определените ко-сеизмични хоризонтални премествания на триангулационни точки от земетресението от 1980 г. $M=7.3$. С червените пунктирни стрелки са показани ко-сеизмичните премествания, определени от автора, а със сини тези определени от [2]. Новостабилизираните контролни станции са представени с червени квадрати.

Геодезическа мрежа за мониторинг на вертикалните движения беше стабилизирана през 1986 г. в зоната на максималните ко-сеизмични деформации, като включва съществуващите нивелачни репери от държавната нивелация и се опира на релативно стабилни, отдалечени на по 20 km от разлома зони (Фиг. 5). Периодичните измерванията и сравнението на новополучените данни с данните от измервания от 1905 и 1976 г. преди съответните трусове от 1954 и 1980 г. позволиха да се определят значителни ко-сеизмични премествания. Вследствие на двете земетресения се регистрира издигане на нивелачни репери във възседната зона до 1.34 m от труса от 1954 г. и издигане до 5.43 m от труса от 1980 г. (Фиг. 5).

Анализът на геодезически определените хоризонтални и вертикални ко-сеизмични деформации от земетресението от 10.10.1980 г. спрямо изявата на главния разлом на повърхността потвърди, че най-значимите хоризонтални премествания са в зона до 20 km от двете страни на главния разлом (Фиг. 4). Вертикалните ко-сеизмични премествания (Фиг. 5), в зоната на възсед, максималното издигане се ограничават в първите 10 km от разлома, докато пропадаването във възседнатата зона е ограничено само в ивица от 5 km от главните теренни разкъсвания.



Фиг. 5. Сравнение на определените вертикални ко-сеизмични премествания на нивелачните репери от земетресението от 1954 с $M=6.7$ (с плътна линия) и от 1980 г. с $M=7.3$ (с прекъсната линия) по железопътната линия Алжир–Оран. Разстоянията са в km спрямо главното теренно разкъсване при труса от 1980 г. по нивелачния ход. Защриховките показват зоните на деформация на железопътните релси при двата труса – (\\\\\\\\\\\\\\\\) от 1954 г. и при труса от 1980 г. с (| | |).

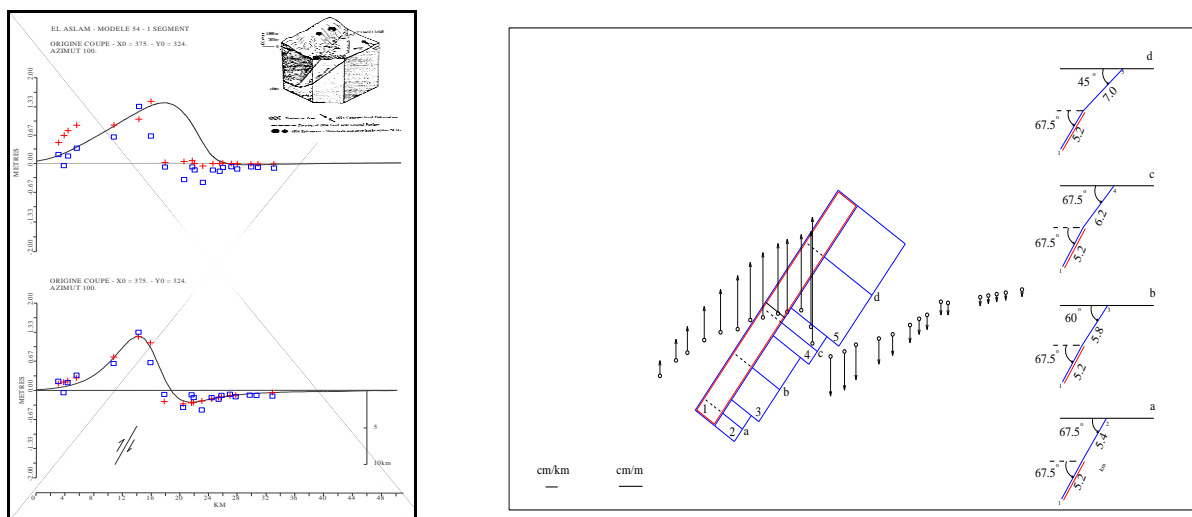
Анализ на косеизмичните премествания чрез аналитично моделиране

Направено е моделно изследване на ко-сеизмичните премествания предизвикани от двете катастрофални земетресения в района на гр. Ел Аснам. Конструирани са различни по положение в полупространството и по конфигурация разломи, апроксимирани с четириъгълници и като се имитират движения по тях. Приложени са и обратната и правата геофизични задачи на усъвършенстваният модел на [4], като се търси най-добро съвпадане на измерените премествания с аналитичните. Изследването позволи да се определят сеизмотектонските параметри на двата труса и да се реконструира физическият механизъм на трусите от 09.09.1954 и 10.10.1980 г.

Моделното изследване на геодезическия данни за ко-сеизмичните премествания позволи да се определят следните параметри на главният разлом:

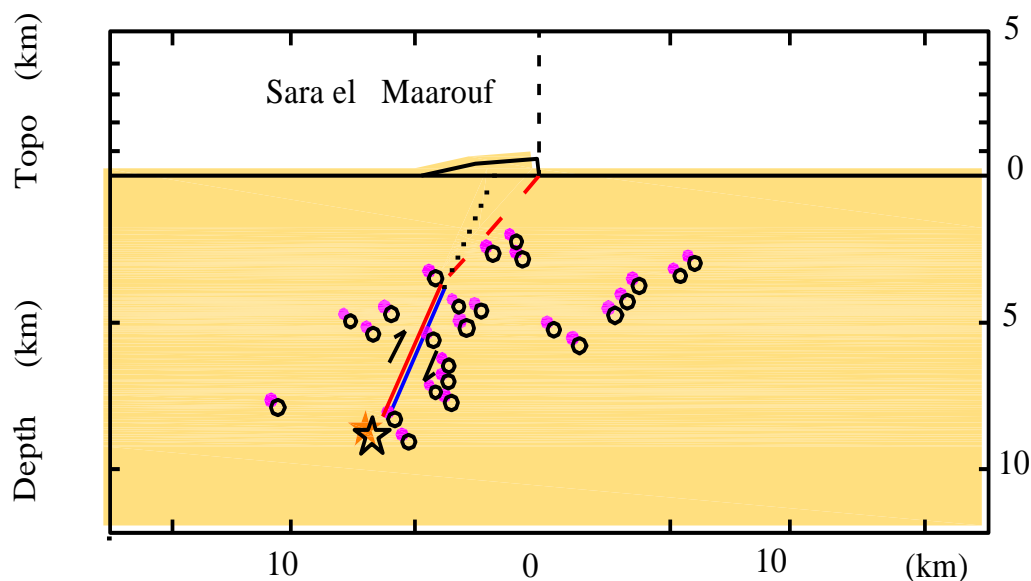
- | | | |
|---|--|--|
| - ориентация (азимутът) на разлома | (Az) | - N 216.9°; |
| - дължина на разлома | | - 21 km ; |
| - ширина на разлома | 1954 г. 5 km и | 1980 г. 12 km ; |
| - наклон на разлома в дълбочина спрямо повърхността | (Dip) | - от 67° до 45°; |
| - стойност на вектора на хлъзгането по разлома | (Slip) - 3.5 m 1954 г. и | - 8 m 1980 г.; |
| - дълбочина на разлома | | - 10 km; |
| - сеизмичен момент | (M_0) = 1.35×10^{19} (Nm) 1954 г. и | $M_0 = 5.6 \times 10^{19}$ (Nm) 1980 г.; |
| - Магнитуд | (M_w) $M_w = 6.5$ 1954 г. и | $M_w = 6.9$ 1980 г.; |
| - най-голямо отклонение при моделирането | | - в азимута - 2°. |
| | | - при вектора - 0.5 m. |

Тези стойности са много близки до стойностите получени от автора при предходно изследване за същата зона и потвърждават наличието на общ разлом, хлъзгането по който е предизвикало и двете земетресения от 1954 и 1980 г. Получените резултати отхвърлят хипотезите развити в [5] Фиг. 6, за отделни разломи на двата труса, на излишното усложнената конфигурация, предложена в [6], както са и в противоречие с механизма на непрекъснато разкъсване в еднородна еластична полусреда.



Фиг. 6. В ляво долу - най- доброто съвпадане на моделните премествания с измерените ко-сеизмични след труса от 09.09.1954 г., както и схематично положението на главния разлом. Горе е представена схематично хипотезата на [5] и съответстващият модел на косеизмичните премествания
В дясно – моделните премествания на реалните нивелачни репери след труса от 10.10.1980 г. и напречни сечения на главния разлом, получен от изследването.

Получените резултати (Фиг. 6) и новите сеизмотектонски параметри на главния разлом не се различават съществено от тези установени от автора през 1995 г., което се дължи на малкото количество геодезически данни за ко-сеизмичните премествания и почти успоредното разположение на реперите спрямо главния разлом.



Фиг. 7. Схематично представяне на получените от моделирането главния разлом на трусове от 1954 и 1980 г. в дълбочина (съответно със син и червен цвят за 1954 и 1980 г.), в сечение перпендикулярно на главните теренни разкъсвания през 1980 г. Показани са главните автършокове на труса от 10.10.1980 г., в дълбочина, както и масивът Сара Ел Маруф, който при труса от 1954 г. е блокирал разлома в дълбочина.

Моделното изследване потвърждава наличието на един общ главен разлом на катастрофалните земетресения от 09.09.1954 и 10.10.1980 г. в сеизмогенната зона Шлеф в северен Алжир (Фиг. 7.). Получените сеизмотектонски параметри отхвърлят публикувани хипотези и изясняват дискуссионни въпроси [5, 6], като се съгласуват с геоложките, тектонски и геофизичните изследвания изпълнени в района.

Заклучение

- направените изводи за ко-сеизмичните премествания в зона на възсед:
 - най-значимите хоризонтални премествания са в зона до 20 km от двете страни на главния разлом ;
 - максималните вертикални ко-сеизмични издигания се ограничават в първите 10 km от разлома, докато пропадането във възседнатата зона е в ивица от 5 km от главните теренни разкъсвания ;
- направен е нов анализ на ко-сеизмичните премествания от земетресенията от 1954 и 1980 г. в района на град Шлеф с усъвършенствания модел на [4].
- получените сеизмотектонски параметри потвърждават напълно наличието на общ главен разлом на земетресенията от 09.09.1954 и 10.10.1980 г., отхвърлят публикувани хипотези и изясняват дискуссионни въпроси .

Литература:

1. Rothe et al.1977 Les deformations liees au seisme de 1954 d'El Asnam, ex Orleanville, Bull.Soc.Geol. XIX, 3
2. Ruegg et al.1982 Deformations associees with the earthquake of 10.10.1980. Geodetic determination of vertical and horizontal movements, BSSA, 72, № 6.
3. Dimitrov et al.1987 Mesures geodesiques liees aux deformation de lecoree terrestre au niveau d Ech Chelif, Algerie du Nord, Comptes Rendus de l Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science, Paris, t. 305, series II.
4. Okada, Y. 1992 Internal deformation due to shear and tensile faults in a half space, BSSA., 82, № 2, 1018-1040.
5. Meyer et al. 1990 Comparaisons morphologiques des escarpements inverses et normaux synchrones du tremblement de terre d'El Asnam, Comptes Rendus de l Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science, Paris.
5. Meyer et al. 1990 Comparaisons morphologiques des escarpements inverses et normaux synchrones du tremblement de terre d'El Asnam, Comptes Rendus de l Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science, Paris.
6. Healy et al. 2004 (2004) Fracture prediction for the 1980 El Asnam, Algeria Earthquake via elastic dislocation modeling, Tectonics, vol.23, TC6005.

КОНЦЕПЦИЯ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ ЗА АНАЛИЗ НА ВЪЗДЕЙСТВИЕТО НА ОКОЛНАТА СРЕДА ВЪРХУ ЧОВЕКА

Геннадий Маклаков^{1,2}, Надежда Георгиева²

¹Научно-методически център за молекулярна медицина към МЗ на РФ - Санкт Петербург, Русия

²Научно-изследователски център за биофотоника - Смолян, България

e-mail: gmaklakov@mail.bg; www.biophoton-research.eu

Ключови думи: постковиден синдром, рекреационни зони, рехабилитация, изкуствен интелект.

Резюме: Разгледани са принципите за създаване на експертна система (ЕС) за подкрепа при вземането на решения в случаи, когато за преболявали от коронавирус се организира рехабилитационен процес на базата на природотерапия. Знанията в ЕС са представени във вид на продукции от типа ситуация - действие. Неопределеността на информацията се отчита чрез коефициент на доверие. Процесът на самообучение на системата се осъществява по метода на Д. Мил. ЕС съдейства също за възстановяване на психическото състояние (прилагайки методи на физиотерапията, в частност, природотерапията), коригиране на професионалното изчерпване и повишаване работоспособността на персонала в аерокосмическия отрасъл.

CONCEPT FOR USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE ENVIRONMENT ON HUMAN

Gennadii Maklakov^{1,2}, Nadejda Georgieva²

¹Scientific and methodical center for Molecular Medicine Ministry of Health of the Russian Federation - St.Petersburg, Russia

²Biophotonics Research Center - Smolyan, Bulgaria

e-mail: gmaklakov@mail.bg; www.biophoton-research.eu

Keywords: Long COVID, recreational areas, rehabilitation, artificial intelligence.

Abstract: The principles for establishing an expert system (ES) to support decision-making in cases when a rehabilitation process based on nature therapy is organized for those who have Long COVID are discussed. Knowledge in the ES is presented in the form of productions of the type situation - action. Uncertainty of information is reported through a confidence factor. The process of self-learning of the system is carried out by the method of D. Mill. The ES is also helping to restore mental health (applying methods of physiotherapy, in particular nature therapy), correcting professional exhaustion and increasing the efficiency of staff in the aerospace industry.

Въведение

Особеност на днешната ситуация е, че въпреки ръста на заболяванията от коронавирус, въпреки увеличението на тежките варианти и смъртните случаи, на преден план се появява проблемът с усложненията след боледуването от коронавирус.

Както показват наблюденията на учените и практикуващите лекари по света, у преболявалите, даже в лека или безсимптомна форма, неочаквано се появяват усложнения – така нареченият постковиден синдром (ПС). Това се случва понякога след няколко седмици, понякога след няколко месеца. Обикновено под ПС е прието да се разбира дългосрочни патологични изменения, които се запазват повече от 3 месеца след заболяването. Тези изменения са не по-малко опасни от самото заболяване, защото сериозно се нарушава работата на сърцето и нервната система, появяват се поражения в главния мозък. За

съжаление последствията са много на брой. В тази статия няма да ги анализираме, тъй като на темата са посветени достатъчно много публикации.

Ще подчертаем обаче, че въпросът за възстановяването на постковидно болните става все по-актуален и ангажира сериозно вниманието на учените и лекарите. Всички са на мнение, че за организирането на ефективна рехабилитация е необходимо да се привличат различни тесни специалисти (кардиолози, пулмолози, невролози и т.н.). Но координация в тяхната работа се създава трудно. Засега в реална обстановка определянето на схема за рехабилитация ляга на плещите на лекаря терапевт (семеен лекар). Разбирате колко е сложна задачата му. Не стига че трябва да използва знанията на тесните специалисти, но е необходимо и през цялото време да допълва своите знания за коронавирусната инфекция. А информацията е достатъчно противоречива, дори указанията на СЗО и Министерството на здравеопазването често се налага да се коригират или преразглеждат. И така, имаме от една страна все по-нарастващ брой преболедали от коронавирус, а значи и необходимост от рехабилитация, от друга – не достигат лекари, медицински персонал, които трудно се справят с огромната си основна работа по лечението. Липсват достоверни сведения за това как да се организират ефективни рехабилитационни процедури. При това, за съжаление, ситуацията по всяка вероятност ще се влошава.

При описаните обстоятелства изход от положението ние виждаме в използването на системи за изкуствен интелект (СИИ).

Проблемът коронавирус и СИИ

Основните признаци на ПС (в западната литература: Long COVID) са в доста широки граници. Ще подчертаем някои от тях: слабост, депресия, отслабване на когнитивните функции, разстройване на терморегулацията. ПС е малко изучен феномен в съвременната терапевтична практика. Въпреки това вече е признат от световното медицинско съобщество и влезе в международната класификация на болестите МКБ-10. Според различни данни признаците на ПС се регистрират при 20 до 50 процента от преболедали от КОВИД-19.

Днес точна и еднозначна клинична картина на ПС не съществува. Наборът от симптоми варира при различните пациенти. У едни се появяват симптоми, напомнящи тези, които са усещани по време на заразяването, у други се появяват нови признаци. Такава вариационност се обяснява с индивидуалните свойства на организма, поражаване на различни органи. В 80 % от случаите с ПС се наблюдават пристъпи на много силна слабост. Повече от 50 % преболедали се оплакват от нарушен ритъм на жизнена дейност (безсъние през нощта, дневна сънливост, промени в режима на сън и бодърстване). Депресивни състояния се срещат у 45-60 процента от постковидно болните. Тук отбелязваме само най-съществените и често проявяващите се симптоми. Анализ на всички симптоми е целесъобразно да се прави за медицинска аудитория.

Отчитайки високата степен на комарбидност на коронавируса, да се създаде веднага пълноценна СИИ за всички категории преболедали е трудно. Причината е главно във факта, че трябва да се обработва голям обем информация за възможните нарушения в органите и системите, предизвикани от коронавируса. Във връзка с това като първи етап от създаването на консултанционни системи избираме рехабилитация с психологически и неврологичен профил, тъй като тези симптоми се срещат най-често. Става дума за депресия, когнитивни нарушения, нарушения в съзнанието и т.н.

Ориентацията на нашата система към лечение на посочените симптоми произтича и от друг много съществен момент: проявлението им силно ограничава възможностите на човека, намалява неговата работоспособност, влошава психоемоционалното му състояние, силно вреди на творческите му възможности. Казано по друг начин, сериозно нарушава качеството на живот. И още един доста важен аспект. Стабилизирайки психическото състояние на човека, се способства за повишаване на неговия имунитет (съгласно основните принципи на психоимунологията).

Теория на метода

Под СИИ тук се разбира апаратно-програмен комплекс, който в тясна предметна област взема решения не по-лошо от професионален специалист. За реализиране на всички функции СИИ трябва да се състои от: наличие на БЗ (СИИ работи само със знания); системата трябва да умее да генерира нова информация на основата на вече получената; системата трябва да може да отговаря на въпроси на ползвателя от типа: как, по каква причина, защо и др. [1].

Тези блокове са задължителни. Без тях апаратно-програмният комплекс не може да бъде наречен СИИ. Освен тях е желателно да има допълнително следните блокове (те ще

увеличат функционалните възможности на системата): БД (данни, факти, константи, някои правила и др.); блок за избор на оптимална схема, за да докаже своите съждения на човека (избира се стратегия как отговорът да бъде убедителен); лингвистичен процесор и анализатор, който позволява да се осъществи общуването на системата с човешки говор и т.н.

За да се увеличи капацитетът на диагностичната СИИ, предлагаме да се включи съвременно медицинско и техническо оборудване в нейната структура, в частност, за оценяване на психическия статус.

Изследванията, проведени в Института за космически изследвания и технологии на Българската академия на науките (ИКИТ БАН) и в Научно-изследователския център по биофотоника, показват голяма ефективност при използване на биофотонна визуализация (ГРВ биоелектрографията) в психологическите изследвания на сигурността и поведението на човека в екстремни ситуации [2, 3]. В тази връзка е решено да се приложи тази технологията в диагностичната система с изкуствен интелект.

Проучванията ни показват, че най-перспективно направление в решаването на задачи, свързани с използването на СИИ за лечение и за рехабилитация – експертни консултациялни системи (ЕС), с други думи интелектуални системи за подкрепа на лекарски решения. Под ЕС тук се разбира СИИ, основана на знанията на човек-експерт.

За изграждането на ЕС се определя обща схема за компютъризирана медико-психологична диагностика. Схемата се основава на принципа на минималната достатъчност, което означава, че искането за допълнителна информация се прави само при необходимост. С други думи, ЕС се опитва да постави диагноза по минимална информация за пациента и, само ако има несигурност при избора на диагноза, изисква допълнителна информация. Вторият принцип, който е заложен в системата, е самообучение (коригиране коефициента на сигурност на правилата в БЗ по резултатите от предишни изследвания).

При конструирането на ЕС се използва конвенционална схема, която е описана доста добре в литературата [1]. Затова структурна схема на ЕС в тази статия не е дадена. Отбелязано е, че ефективността на всяка ЕС се определя на първо място от структурата на БЗ и БД, механизма за извличане (интерпретатор на знанията) и подсистемите за придобиване на знания (подсистема за обучение). По-нататък се разглеждат характеристиките на изграждането на тези блокове, които се прилагат при диагностика на психо-физиологичното състояние на дадено лице.

Знанията в БЗ са представени във вид на продукции от типа: «АКО условие ТОГАВА действие».

При използване на продукции с цел разширяване възможностите на ЕС е предвидена способност в условната част да се използват връзките "И" и "ИЛИ". БЗ на ЕС се състои от ограничен набор от правила: $\Pi = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ и ограничен набор от факти: $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, така че условието за приложимост на всяко правило P_i от Π има вида:

$$(1) \quad P_i : (a_{i1} \& a_{i2} \& \dots \& a_{is}) - a_m$$

където: a_m - е новият m факт, извлечен от фактите на условията $a_{i1}-a_{is}$.

Конкретните факти в базата данни са представени чрез тройки: "обект - атрибут - стойност". С други думи, фактите са представени, определяйки обектите, описвайки техните атрибути и давайки им еквиваленти (значения). Терминът "обект" се отнася както за физически обекти (например "прибор за ГРВ", "кардиограф" и т.н.), така и за общи представи (като "кръвно налягане", "главоболие" и др.п.). За да се организират фактите, името на обекта е свързано с името на атрибута, т.е. фактите са комбинирани в двойки "обект-значение".

За описване за фактите, включващи индекса на размиване (ниво на неопределеност на информацията), е използвана асоциативна тройка: "обект-значение-коефициент на доверие". Коефициентът на доверие (КД) е описан под формата на скала от 0 до 100. При КД = 0 вероятността на факта е нула, а за КД = 100 вероятността е единица. За да се отрази субективната оценка на достоверност на факта, са приети следните съответствия, представени в Таблица 1.

Принципи за самообучение на ЕС

Същността на процеса на самообучение на ЕС се състои в това, че първоначално в работата на ЕС в БД са предвидени данни, които могат да имат не много висок коефициент на доверие (поради липса на достатъчно голям обем наблюдения).

Таблица 1. Оценка за достоверност на факта

Достоверност на факта	Значение на КД
Лоша	0...25
Посредствена	26...50
Добра	51...75
Отлична	76...100

По време на експлоатация, особено в началния период, се използва така нареченият режим на проверка, в който потребителят (квалифициран лекар) взема решение относно валидността на заключението, което прави ЕС. Ако той смята, че е правилно и подобрението в състоянието на болния е достатъчно добре изразено, дава указание на ЕС, чрез което данните от БД и БЗ се коригират според честотата на проявата на отделните симптоми.

Процесът на самообучение на системата се осъществява по метода на Джон Мил [5]. Тук се посочват най-кратко основните му положения. В съответствие с метода се формират матрици съответно за положителни ($M +$) и отрицателни ($M -$) хипотези, както следва: линии - признаци (симптоми), които действат в ролята на кандидати за достоверна хипотеза, колони на последствията, които ни интересуват (диагноза според съответната нозологична форма). Като елемент M_{ij} на матриците се проявява коефициентът на доверие. Елементът M_{ij} може да приеме стойностите: $M_{ij} = 0$ - хипотезата винаги е невярна; $M_{ij} = 1$ - хипотезата винаги е вярна; $M_{ij} = 1/N$ - достоверността на хипотезата не е известна (N е броят на фактите, налични в момента в матрицата); $M_{ij} = K/N$ е конкретната стойност на коефициента на доверие ($0 < K/N < 1$). В процеса на натрупване на нова информация стойността на елемента M_{ij} се доближава до 0 или 1 или се държи като осцилационен (колебателен) процес. Във втория случай след 5 периода се приема средната стойност на коефициента на доверие.

Формиране на БД и БЗ

Информацията в БД и БЗ трябва да отразява най-новите постижения във възстановителната медицина, а именно, влиянието на околната среда върху човека с цел възстановяване на психосоматичното му състояние.

Най-достоверна информация в тази област притежават практическите специалисти (експерти) – лекари и психолози. При събирането на информация на експертите се препоръчва да използват метода Delphi [6]. Степента на съгласуваност на експертите се оценява с помощта на коефициента на съгласуваност (конкордация) [6].

Структурата на БД и БЗ е взета от създадена от мен по-рано диагностична ЕС за подкрепа вземането на решения при избора на оптимална стратегия за лечение на пациенти с коронавирус. В началото на 2021 г. стана ясно, че един от основните проблеми на КОВИД-19 е предотвратяването на развитието на усложнения след боледуване, затова започна нейното препрофилиране за новите задачи. Предвид големия напредък във възстановителната медицина и фокусирането ѝ върху методите на природотерапията, усилията са съсредоточени върху създаването на база от знания, позволяваща избор на оптимална стратегия за използване на естествени климатични фактори за възстановяване на човека след коронавирусна болест.

При създаването на ЕС са използвани резултати от наши експедиции за изследване влиянието на околната среда върху човека, проведени през 2016-2021 г. В БД и БЗ е въведена такава информация, получена при проучвания в Родопите, Стара планина, Рила [7, 8].

Както вече беше казано, предпочитан метод за оценяване на влиянието на околната среда върху човека е биофотонната визуализация. При въвеждане на информацията в БД и БЗ ръководни са някои положения свързани с оценяване влиянието на околната среда върху човека [4]:

- 1) регистриране с ГРВ грами, получени с оптоелектронен сензор;
- 2) регистриране на ГРВ грами на пръстите на ръката;
- 3) определяне по получените ГРВ грами параметрите на хомеостазата и адаптационните резерви на организма.

Проведени по-рано проучвания дават основание да се определят като най-информативни за изследване на адаптационните резерви следните показатели: обща площ на изображението, вариабелност на общата площ на светене, средна яркост на изображението, коефициент на формата, коефициент на фракталността, коефициент на ентропията [4].

На първия етап БД и БЗ са формирани по наши изследвания в Стара планина (Крушунския район) и в Родопите [7, 8].

При това е използвана предишната среда на диагностична ЕС за оценяване и прогнозиране на психо-физиологичното състояние на авиационен персонал [9], при която съдържанието на БЗ и БД се заменя. Продължава събирането на информация от експерти в областта на природотерапията във водещи научни и учебно-образователни институти в Русия.

Апробация на ЕС

Въз основа на принципите, изложени по-горе, е създаден демонстрационен прототип на ЕС за оценяване на въздействието на околната среда върху човека и формиране на препоръки за оптимизиране процеса на рехабилитация за болни с постковиден синдром. В момента ЕС се тества в клинични и научни центрове в Русия и Украйна.

По-надолу е представен фрагмент от диалог между ЕС и потребител. Режимът на работа е: "Избор на препоръки за рехабилитация". Приети означения: П - искане на потребителя (лекар физиотерапевт или психолог с подходяща квалификация); ЕС - отговор на експертната система на поставения въпрос.

Забележка. Предварително в диалога с ЕС е въведена в БД анамнезата на болния и резултатите от неговите клинични изследвания.

.....

П: Актуализация на данни. Пациент № 57.

ЕКС: Изпълнено.

П: Нормализация на психическото състояние.

ЕКС: На пациента се препоръчва пребиваване в парка Маарата (местността Крушунски водопади, Стара планина). КД = 0,77.

П: Защо?

ЕКС: В спектъра на звука от водата в Крушунските водопади преобладават нискочестотните компоненти, близки до честотите на мозъка. Именно те водят до стабилизация на психоемоционалното състояние и активизация на вътрешните психически ресурси, способстват за намаляване на стреса. КД = 0,9.

П: Фактори?

ЕКС: Йонизация на въздуха, бял шум (white noise) от падащата вода. КД=0,95

П: Обосновка?

ЕКС: Публикация: Маклаков Г., Георгиева Н. Приложение на метода газоразрядна визуализация за изследване на перспективни рекреационни зони в Крушунския край (България). // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурности "SES-2017"». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2017. С. 255-261

.....

Необходимо е дебело да подчертаем, че СИИ в никакъв случай не заместват специалиста (еколога, психолога, лекаря). Те само му помагат да приеме решение. От гледна точка на психиката СИИ намаляват психическата инерция на мислене, позволяват по нов начин да се погледне получената клинична картина. Според нашето мнение това е изключително важно, защото на човека често се налага да приема ново решение, когато случаят не е отразен в препоръките. Разбира се, такива случаи най-често се срещат при лечение, но и при рехабилитация лекарят също така често се сблъсква с неочевидни задачи.

Още веднъж ще подчертаем, че СИИ не заменят човека във вземането на решение, а само му помагат ефективно и бързо да решава в сложни ситуации, в частност при провеждане на лечебно-възстановителни програми.

Заклучение

Както показва експерименталната експлоатация, експертната консултационна система може с успех да се използва за анализ на въздействието на околната среда върху човека. На тази база тя е в състояние да предложи оптимални схеми за рехабилитация на болни с постковиден синдром. Експертната консултационна система може също да се приложи за избиране схеми за рехабилитационна корекция на операторите на сложни ергатични системи, по-специално за възстановяване на психическото състояние, коригиране на професионалното изчерпване и повишаване работоспособността на работещите в аерокосмическия отрасъл.

Литература:

1. Искусственный интеллект: В 3 кн./Кн.1. Системы общения и экспертные системы: Справочник/ Под. ред. Э. В. Попова.- М.: Радио и связь, 1990.
2. Маклаков, Г., П. Гецов, Перспективи за използване на ГРВ биоелектрографията в психологическите изследвания на сигурността и поведението на човека в екстремални ситуации. Международна конференция «Приложната психология: възможности и перспективи». Сборник доклади. ВСУ, Варна. 2017, с. 193–206.
3. Маклаков, Г., Гецов П. Система за комплексна рехабилитация и профилактика на нарушенията в психосоматичното състояние на операторите на ергатични комплекси. // Конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии „БулТранс-2017“. Сборник доклади. ТУ-София. Созопол. 2017, с. 29–32.
4. Маклаков, Г., Георгиева Н. Възможности за използване на ГРВ технологията за мониторинг на околната среда. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност. SES 2016». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2016, с. 327–334.
5. Финн, В. О машинно-ориентированной формализации правдоподобных рассуждений в стиле Ф. Бекона - Д. С. Милля. Семиотика и информатика, Вып.20, ВИНТИ. 1983.
6. Бешелев, С., Гурвич Ф. Математико-статистические методы экспертных оценок.- М.: Статистика. 1980
7. Маклаков, Г., Георгиева Н., Караиванов М. Приложение на биофотонната визуализация за мониторинг на рекреационни зони в Родопите и въздействието им върху психосоматиката на човека. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност “SES 2020”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2020, с. 298–303.
8. Маклаков, Г., Георгиева Н. Приложение на метода газоразрядна визуализация за изследване на перспективни рекреационни зони в Крушунския край (България). // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност SES 2017». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2017, с. 255–261.
9. Маклаков, Г. Концепция за използване на изкуствен интелект при оценяване и прогнозиране на психо-физиологичното състояние на авиационен персонал. // Конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии „БулТранс-2018“. Сборник доклади. ТУ-София. Созопол. 2018, с. 51–54.

СИСТЕМА ЗА ВИРТУАЛНА РЕАЛНОСТ, МОДЕЛИРАЩА ВЛИЯНИЕТО НА ОКОЛНАТА СРЕДА ВЪРХУ ЧОВЕКА, ОПТИМИЗИРА РЕХАБИЛИТАЦИЯТА НА БОЛНИ С ПОСТКОВИДЕН СИНДРОМ

Геннадий Маклаков^{1,2}, Надежда Георгиева²

¹Научно-методически център за молекулярна медицина към МЗ на РФ - Санктпетербург, Русия

²Научно-изследователски център за биофотоника - Смолян, България
e-mail: gmaklakov@mail.bg; www.biophoton-research.eu

Ключови думи: екология, рекреационни зони, рехабилитация, дистрес, виртуална реалност, КОВИД-19.

Резюме: Представени са резултати от проучвания за прилагане системи за виртуална реалност с цел оптимизиране процеса на рехабилитация при болни с постковиден синдром. За експресен контрол при възстановяване психосоматичното състояние, по време на сеанс с виртуална реалност се предлага използването на метода фотоплетизмография. За анализ се прилагат статистически и спектрални методи за оценяване вариационността на сърдечната честота. Представени са възможностите на разработената портативна апаратура за експресен контрол на психосоматичното състояние на човека. Предложеният подход подпомага също възстановяване на психическото състояние, коригиране на професионалното изчерпване и повишаване работоспособността на работещите в аерокосмическия отрасъл.

VIRTUAL REALITY SYSTEM MODELING THE INFLUENCE OF THE ENVIRONMENT ON HUMAN BEING OPTIMIZES THE REHABILITATION OF PATIENTS WITH POSTCOVIDAL SYNDROME

Gennadii Maklakov^{1,2}, Nadejda Georgieva²

¹Scientific and methodical center for Medicine Ministry of Health of the Russian Federation -
St.Petersburg, Russia

²Biophotonics Research Center - Smolyan, Bulgaria
e-mail: gmaklakov@mail.bg; www.biophoton-research.eu

Keywords: ecology, recreation areas, rehabilitation, distress, virtual reality, COVID-19.

Abstract: The results of studies for the application of virtual reality systems in order to optimize the rehabilitation process in patients with postcovid syndrome are presented. For express control in the recovery of the psychosomatic state, during a session with virtual reality, the use of the photoplethysmography method is proposed. Statistical and spectral methods for estimating heart rate variability are used for analysis. The possibilities of the developed portable equipment for express control of the psychosomatic state of the person are presented. The proposed approach also helps to restore the mental state, correct professional exhaustion and increase the efficiency of workers in the aerospace industry.

Въведение

В началото на пандемията вниманието на лекарите и учените по света беше съсредоточено изключително върху разработването на ефективни схеми на лечението. Обаче във връзка с увеличаването на оздравелите, особено на изписаните от болничните стационари, става все по-актуален въпросът за лечение на последствията от коронавируса. По мнение на световно известни учени последствията от КОВИД-19 са много по-страшни от самото заболяване [1-3]. Например, японският лекар Хирохито от м. март 2020 г. създава база данни на хора, пострадали от коронавируса [2]. Той отбелязва, че у всеки пациент възникват

наведнъж няколко симптоми. Най-разпространеният е слабост. От нея страдат 97%. Следващият симптом според него е потиснатост, депресивно състояние. Изпитват го 87 %. Най-разпространения симптом след боледуване от КОВИД-19 синдром на хронична умора. Изказва предположение, че с времето тези симптоми е възможно да отслабнат (с изключение на слабостта, която може да си остане за цял живот). Разбира се, данните са предварителни, те ще се коригират с времето, особено що се касае до процента на продължителност на постковидните симптоми. Въпреки това генералният директор на СЗО Тедрос Гибрейесос на брифинг в Женева отбеляза: „Безпокойство предизвиква фактът, че има широк спектър симптоми, които се променят във времето и често се засилват и могат да засегнат всяка система на организма“ [2]. Освен това той отбелязва появата на усложнения като умореност, затруднение в дишането, възпаление и поражение на основни органи, включително белите дробове и сърцето. Както уточнява Тедрос Гибрейесос, оздравителният процес при всички е различен. Той може да бъде и бавен, да обхваща седмици и месеци. Затова СЗО има намерение да проведе специални изследвания, за да разработи „най-добри стандарти за лечение, насочени към ускоряване оздравяването на пациентите и предотвратяване на усложнения“. Към това СЗО призовава и правителствата на всички страни.

В тази обстановка за възстановителната медицина става все по-актуална темата за използването на околната среда като средство за резултатна физиотерапия. Въздействието на природата стабилизира психическото състояние, а това сега е особено важно поради връзката на психиката с имунната система. Както е известно, отслабване на имунната система се наблюдава при депресивни състояния на фона на вирусни заболявания. Тук природотерапията е ефективно решение. За нейното прилагане обаче е важно природните зони да се оценят обективно, за да се използват най-благоприятните от тях за рехабилитация и организация на лечебно-възстановителни процедури.

Използване на виртуална реалност във възстановителната медицина

Както вече отбелязахме, в целия свят природотерапията се използва интензивно за рехабилитация, в това число и на преболедували от коронавирус. Известно е, че има местности, особено ефективно въздействащи върху човека и неговото здраве. До тях обаче достъпът не винаги е лесен без планински водач, а от друга страна често пътят до там е труден. Следва също да се вземе предвид, че подходящите райони могат да бъдат затворени поради карантина във връзка с коронавируса. Във време на икономическа криза за някои слоеве от населението не са без значение и финансовите разходи, свързани с пътуването. При подобна усложнена ситуация предлагаме добър изход – използване на системи за виртуална реалност (СВР).

Как системи за виртуална реалност се прилагат във възстановителната медицина вече представихме пред конференцията «Космос. Екология. Сигурност SES 2020» (на базата на имитиране на рекреационни зони в Родопите) [4, 5]. Резултатите от проучванията ни сочат, че системата за моделиране на избрана околна среда на базата на СВР има само 12 - 17% по-ниска ефективност от тази на реалната среда [5].

Като се вземат предвид особеностите, с които се проявява постковидният синдром, а именно увреждане предимно на сърдечно-съдовата система, поява на когнитивни нарушения и промени в психоемоционалното състояние на човек, в изследването се оценява нивото на дистрес на човек, който е имал коронавирус. Именно психоемоционалното състояние играе значима роля при избора на стратегия за мерки за възстановяване. В тази връзка е от голям практически интерес да се оцени ефективността на СВР по отношение на намаляване на дистреса, по-точно, да се види съотношението на активността на симпатиковия и парасимпатиковия отдел на вегетативната нервна система.

Няколко думи за дистреса. Дистресът е деструктивен стрес, опасно и разрушително за здравето състояние, което възниква при продължителен стрес. Дистресът влошава протичането на психофизиологичните функции. В организма се натрупват продукти от дейността на стресовите механизми, което довежда до разрушаване на механизмите за саморегулация. Разстройват се биологичните ритми (нарушава се сънят, може да се появи безсъние), променят се хормоналните и имунните функции на организма. Съществува мнение, че нито една болест не възниква без влияние на стреса върху имунната система (при дистрес, броят на клетките убийци, които се борят с вирусите и туморите намалява с 40%, нивото на левкоцитите в кръвта спада) [6]. Дистресът изтощава всички адаптационни резерви на организма.

Анализ на ритмограма за оценяване ефективността на виртуална реалност

Определяме ритмограмата като графично представяне на продължителността на RR интервалите в електрокардиограма (ЕКГ). Показателите от ритмограмата отразяват състоянието на механизмите за регулиране на физиологичните функции на човешкото тяло, по-специално общата активност на регулаторните механизми, неврохуморалната регулация на сърцето, както и връзката между симпатиковия и парасимпатиковия отдел на вегетативната нервна система. Тези показатели са жизнено важни за управлението на физиологичните функции на тялото, в частност на функционалните резерви на механизмите за неговия контрол.

За обекта на нашето изследване е особено важно, че промяната в ритмограмата е универсална реакция на целия организъм в отговор на всяко влияние на външната среда.

Методът анализ на ритмограми се базира върху разпознаване и измерване на интервали от време между RR-интервалите на ЕКГ, изграждане на динамични редове на кардиоинтервалите с последващ анализ на получените числени редове чрез различни математически методи. Благодарение на трудовете на академик В. Парин и професор Р. Баевски математическият анализ на ритмограми се прилага в СССР (в космическата медицина) от 60 -те години на миналия век [7-9]. Преди месеци в света бе отбелязана 60-годишнината от първия полет на човек в космоса, извършен от Юрий Гагарин. В тази връзка ще напомня, че анализът на психофизиологичното състояние на космонавта по време на полета е направен именно въз основа на ритмограми.

В края на 70-те години Р. Баевски разработва доктрината за донозологичните състояния и по този начин създава фундаментално нов подход за оценка на нивото на здраве, който се нарича преднозологична диагностика. В края на 80-те години проф. Г. Маклаков развива подхода на Баевски във връзка с ранната диагностика на цереброваскуларните заболявания чрез анализ на реографските параметри и реологичните характеристики на кръвта. От 90-те години анализът на ритмограми започва широко да се използва в целия свят. През 1996 г. са публикувани международни стандарти, написани от работна група на Европейското дружество по кардиология и Северноамериканското дружество по кардиостимулация и електрофизиология (Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology) [10].

Познавайки уникалните възможности, които дава анализът на ритмограми, решихме да го приложим при експресна диагностика на състоянието на пациенти, претърпели коронавирус, и за оптимизиране рехабилитацията на пациенти с постковиден синдром при използване на виртуалната реалност. За нас от особен интерес е възможността да се използват резултатите от анализа на ритмограми като метод за оценка на адаптивните възможности на организма и текущото ниво на дистрес.

Методология на изследванията

Ефективността на виртуалната реалност се оценява чрез анализиране устойчивостта на регулаторните системи на организма по метода анализ на ритмограми. Показателите се изследват с помощта на специални медицински диагностични системи, които позволяват измервания и математически анализ на ритмограма. Анализираните са параметрите от реоплетизмография (анализ на пулсовата вълна), електрокардиограма. Използвани са реоплетизмограф и портативен кардиограф на компания "ART INTECH" (Русия), а за експресна диагностика - специална софтуерна поддръжка за мобилен телефон.

В съответствие с препоръките на Европейското кардиологично дружество и Северноамериканското дружество за кардиостимулация и електрофизиология [10] се оценяват статистическите, геометричните и спектралните показатели на ритмограма на 5-минутни интервали с ЕКГ и реоплетизмограми. За анализа са избрани: NN - средна продължителност на сърдечния цикъл, ms (NN означава ред нормални интервали, с изключение на екстрасистоли); SDNN - стандартно отклонение на сърдечния цикъл, ms; HRV - триъгълен индекс (стойност, представляваща интеграла на плътността на разпределение, тоест отношението на общия брой интервали на RR към техния максимум); TINN - триъгълна интерполация на хистограма на интервали NN, е ширината на основата на триъгълника, получен при апроксимация на разпределението на NN интервалите.

За по-пълнен анализ на функционирането на човешките физиологични системи, този списък е допълнен със следните показатели за ритмограма, приети в Русия в космическата медицина [9]: ИН - индекс на напрежението на регулаторните системи (отразява степента на централизация на управлението на сърдечната честота). ИН често се нарича и стрес индекс – SI (stress index), тъй като отразява психоемоционалното напрежение, степента на потопяване на организма в стреса; ИБР - индекс на вегетативното равновесие (определя съотношението на

симпатиковата и парасимпатиковата регулация на сърцето); ПАРС – показател за активността на регулаторните системи, т.е. типа адаптационна реакция на стреса, (измерва се от 1 до 10). Оценяват се следните функционални състояния: 1 - оптимално напрежение на регулаторните системи, 10 - състояние на изтощаване на регулаторните системи.

ПАПР е индикатор за адекватността на процесите (отразява съответствието между активността на парасимпатиковия отдел на вегетативната нервна система и водещото ниво на функциониране на синусовия възел, което дава възможност да се съди за прекомерна или недостатъчна централизация на управлението на ритъма за дадена честота на пулса).

Анализът на времевите показатели позволява да се отговори на въпроса: "Каква е променливостта?", а чрез спектралния анализ на вълновата структура на ритъма отговорът е за въпроса: "От какво се определя?"

Според стандартите, приети в САЩ и Европейския съюз, за анализа са използвани следните показатели: TP - обща мощност на спектъра на ритмограмата, ms^2 ; VLF е мощността на спектъра на ритмограмата в много нискочестотната област 0,040–0,003 Hz, ms^2 ; LF е мощността на спектъра на ритмограмата в нискочестотния диапазон 0,15–0,04 Hz, ms^2 ; HF е мощността на спектъра на ритмограмата във високочестотния диапазон 0,40–0,15 Hz, ms^2 ; %VLF - процент на много нискочестотните трептения в общата мощност на спектъра; %LF - процент на нискочестотните трептения в общата мощност на спектъра; %HF - процент на високочестотните трептения в общата мощност на спектъра; LF/HF е индекс, отразяващ баланса на симпатиковите и парасимпатиковите регулаторни влияния върху сърцето.

Анализ на резултатите от изследванията

Съществуващите прибори за регистриране на кардиография и реография предоставят на лекаря няколко десетки параметри. Естествено, да се изберат сред тях значимите показатели е доста сложно. При това се изисква допълнителна квалификация и, главно, време, което в условията на пандемия е силно ограничено. Затова една от задачите на нашите изследвания е да се определи минимално количество параметри, имащи най-голяма прогностична ценност. Такъв подход се нарича принцип на минималната достатъчност, а именно – на лекаря се дава необходимата минимална информация за приемане на решение и при поискване се предоставя допълнителна информация.

Във връзка с това за представяне на резултатите от изследванията са избрани следните параметри: SI, ПАРС, TP, индекс LF/HF, мощност на спектъра в областите VLF, LF, HF.

На фиг.1 е показано състоянието на параметрите SI и ПАРС преди и след сеанс със СВР: 3D филм «Каньон на водопадите» (Орфеев водопад, Родопи), типично за мъж на възраст 70-75 г.



Фиг. 1. Нива на индекса на стрес преди (1) използване система за моделиране на избрана околна среда на базата на СВР и след това (2)

Както се вижда от диаграмата (Фиг.1), преди използване на система за моделиране на избрана околна среда на базата на СВР, SI има стойност 273 ед., което свидетелства за наличие на силен дистрес, който може да доведе до различни функционални разстройства; след използване на система за моделиране на избрана околна среда на базата на СВР SI намалява до 135 ед., което показва компенсиран дистрес.

Показателят за активност на регулаторните системи ПАРС преди използване на система за моделиране на избрана околна среда на базата на СВР е 4 бала, което свидетелства за пренапрежение на регулаторните системи на организма. След прилагането на системата се отчитат 2 бала, което говори за оптимално напрежение на регулаторните системи. С други думи, след сеанса със СВР става оптимизация на регулаторните системи, вследствие на което се осигурява оптимално равновесие на организма и средата.

Представлява интерес анализът на спектралните характеристики на ритмограмите преди и след сеанса със СВР.

Както е известно, общата мощност на спектъра (TP) отразява общия ефект върху сърдечния ритъм на всички нива на регулация. Високите стойности на TP са характерни за здравите хора и отразяват добро функционално състояние на вегетативната нервна система. Ниски стойности на TP се наблюдават при понижаване на адаптационните възможности на сърдечносъдовата система, тоест при слаба устойчивост на стрес.

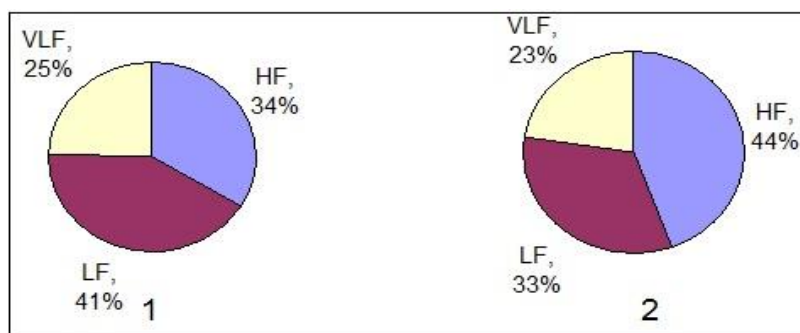
На Фиг. 2 е показано равнището на общата мощност на спектъра преди и след сеанса със СВР: 3D филм «Каньон на водопадите» (Орфеев водопад, Родопи), типично за мъж на възраст 70-75 г.



Фиг. 2. Нива на общата мощност на спектъра преди (1) използване на система за моделиране на избрана околна среда на базата на СВР и след това (2)

Както се вижда от диаграмата (Фиг. 2), общата мощност на спектъра TP след сеанса със СВР е повишена от 2329 ms^2 до 4675 ms^2 . Това показва увеличение на адаптационния капацитет на сърдечносъдовата система, т.е. повишава се устойчивостта на дистрес.

На Фиг. 3 е показано изменение в мощността на спектъра на параметрите в много нискочестотния диапазон (VLF), в нискочестотния диапазон (LF) и във високочестотния диапазон (HF) преди и след сеанса със СВР: 3D филм «Каньон на водопадите» (Орфеев водопад, Родопи), типично за мъж на възраст 70-75 г.



Фиг. 3. Разпределение на мощността на спектъра в областите VLF, LF, HF преди (1) използване на система за моделиране на избрана околна среда на базата на СВР и след (2) използването ѝ

Както се вижда от диаграмата (Фиг. 3), извършва се преразпределение на спектъра. Ако до въздействието със СВР разпределението на максималната мощност на спектъра е

(HF=34%, LF=41%, VLF=25%), то след това е (HF=44%, LF=33%, VLF=23%). С други думи, регистрирано е, че след въздействието със СВР се увеличава мощността на високочестотните вълни, което свидетелства за засилване активността на парасимпатиковата система, а значи и за намаляване на стреса. За същото говори намаляването на мощността на нискочестотните вълни. Мощността на вълните с много ниска честота също намалява, което показва намаляване на стреса.

Средната абсолютна стойност на коефициента на вагосимпатичен баланс (LF/HF) преди въздействието със СВР е 1.21, а след него 0.76. Това намаляване означава активизиране на парасимпатиковата система и като резултат по-малък дистрес и преход на организма към по-хармонично функциониране.

Всички данни от анализа на ритмограмите потвърждават ефективността на виртуалната реалност, моделираща влиянието на околната среда върху човека, за оптимизиране процеса на рехабилитация на болни с постковиден синдром.

Заклучение

Направените изследвания потвърдиха, че системи за виртуална реалност могат да оптимизират процеса на рехабилитация при болни с постковиден синдром. За експресен и ефективен контрол при възстановяване психосоматичното състояние, е целесъобразно да се използва анализ на ритмограма.

Системите за виртуална реалност показват много благоприятен ефект върху психосоматиката на човека и най-важното - имат стимулиращ ефект върху имунната система. С други думи, специални 3D филми, базирани на СВР, могат да се използват като допълнителна възстановителна терапия, за профилактика и възстановяване психосоматичното състояние на лица, прекарали вирусни заболявания, в частност КОВИД-19.

Такъв подход е изключително подходящ и за възстановяване на психоемоционалното състояние на хора, заети в критични производства, изискващи от тях стабилна психика (авиация, космонавтика, оператори в АЕЦ и т.н.).

Предложеният подход подпомага също за възстановяване на психическото състояние, коригиране на професионалното изчерпване и повишаване работоспособността на заетите в аерокосмическия отрасъл.

Литература:

1. Hetong, Zh., Shaojia L., Jingkai Ch. The landscape of cognitive function in recovered COVID-19 patients. *Journal of Psychiatric Research*. Volume 129, October 2020, p. 98–102.
2. Ноэль, Я. Восстановление и осложнения после коронавируса: что делать. <https://trends.rbc.ru/trends/social/6012d84b9a7947ebae08b952>. 21.05.2021
3. Малинникова, Е. Новая коронавирусная инфекция. Сегодняшний взгляд на пандемию XXI века. *Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение*. Том 9, № 2, 2020.
4. Маклаков, Г. Проблемът коронавирус и аерокосмическите технологии. възможности и перспективи. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност “SES-2020”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2020, с. 9–20.
5. Маклаков, Г., Георгиева Н. Изследване на екологорехабилитиращи звукови среди на рекреационни зони в България за рехабилитация и профилактика на работещи в аерокосмическия отрасъл. // Международна научна конференция «Космос. Екология. Сигурност “SES-2020”». Сборник доклади. ИКИТ-БАН. София. 2020, с. 292–297.
6. Булкина, Н. Стресс и дистресс <https://www.b17.ru/article/149354/> 3.08.2019
7. Парин, В. В., Баевский Р. М., Газенко О. Г. Сердце и кровообращение в условиях космоса. *Cor et vasa*, 1965, №7, с. 165–183.
8. Парин, В. В., Баевский Р. М. Вопросы кибернетики и космической медицины. *Известия АН СССР. Сер.биолог.*, № 1. 1963, с. 9–14.
9. Баевский, Р., Кириллов О., Клецкин С. Математический анализ сердечного ритма при стрессе. М.: Наука, 1984.
10. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. // *Circulation*. Vol. 93, 1996. p. 1043–1065.

ОЦЕНКА НА АНТРОПОГЕННОТО ЗАМЪРСЯВАНЕ В СОФИЙСКИТЕ ПАРКОВЕ БОРИСОВА ГРАДИНА, ЗООЛОГИЧЕСКА ГРАДИНА И ЛОВЕН ПАРК

Антония Мокрева¹, Нели Йорданова², Велимира Стоянова²

¹Институт за изследвания на климата, атмосферата и водите – Българска академия на науките

²Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките
e-mail: antoniamokreva@abv.bg; neli_jordanova@hotmail.com; stoyanovavelimira@gmail.com

Ключови думи: градско замърсяване, градски паркове, магнитни свойства, почви

Резюме: Целта на настоящото изследване е да се направи оценка на антропогенното замърсяване с помощта на магнитометричния метод на Софийските паркове – Борисова градина, Зоологическа градина и Ловен парк. Изследването на 3-те парка показва, че най-висока степен на замърсяване се наблюдава в почвите, които са в непосредствена близост до големи транспортни артерии, минаващи през или покрай изследваните паркове. Наблюдава се и локално замърсяване по протежение на някои от главните вътрешно паркови алеи, свързано с наличие на увеселителни съоръжения. В най-силно замърсените проби има пренебрежимо малко количество фини суперпарамагнитни частици и магнитната минералогия се доминира от едри многодоменни силномагнитни частици. При пробите със средна магнитната възприемчивост се забелязват както случаи с доминираща минералогия на едри частици, така и такива, в които има смес от по-едри (вероятно антропогенни) и по-дребни (литогенни) частици. В слабо замърсените проби доминират суперпарамагнитни частици с педогенен произход. Изследването на магнетизма на почвите от трите софийски градски парка демонстрира високата ефективност на магнитния метод като чувствителен индикатор за антропогенното замърсяване на почвата.

ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC POLLUTION IN THE SOFIA PARKS BORISOVA GARDEN, ZOO AND HUNTING PARK

Antonia Mokreva¹, Neli Jordanova², Velimira Stoyanova²

¹Climate, Atmosphere and Water Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²National Institute of Geophysics, Geodesy, and Geography – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: antoniamokreva@abv.bg; neli_jordanova@hotmail.com; stoyanovavelimira@gmail.com

Keywords: urban pollution, urban parks, magnetic properties, soils

Abstract: The purpose of this study is to assess anthropogenic pollution of Sofia Parks - Borisova Garden, Zoo and Loven Park, using the magnetometric method. The analysis of samples collected from these parks shows that the highest degree of pollution is observed in the soils, being near large transport arteries passing through or along with the parks. There is also local pollution along some of the main internal alleys, associated with the existing entertainment facilities. The most heavily contaminated samples have a negligible amount of fine super-paramagnetic particles, and their magnetic mineralogy is dominated by large amount of multi-domain magnetic particles. This result is consistent with the hypothesis that the magnetic signal of the transport emissions is mainly due to multi-domain magnetite. Some of the samples with medium magnetic susceptibility are dominated by large particles, while others are a mixture of larger (probably anthropogenic) and smaller (probably lithogenic) particles. The study of soil magnetism from the three Sofia city parks demonstrates the high efficiency of the magnetic method as a sensitive indicator of anthropogenic soil pollution.

Въведение

Проблемите на замърсяването на околната среда придобиват голямо значение, особено през последните десетилетия на интензивна урбанизация и индустриализация. Особено актуален е проблемът за замърсяването на градската среда, където от голямо

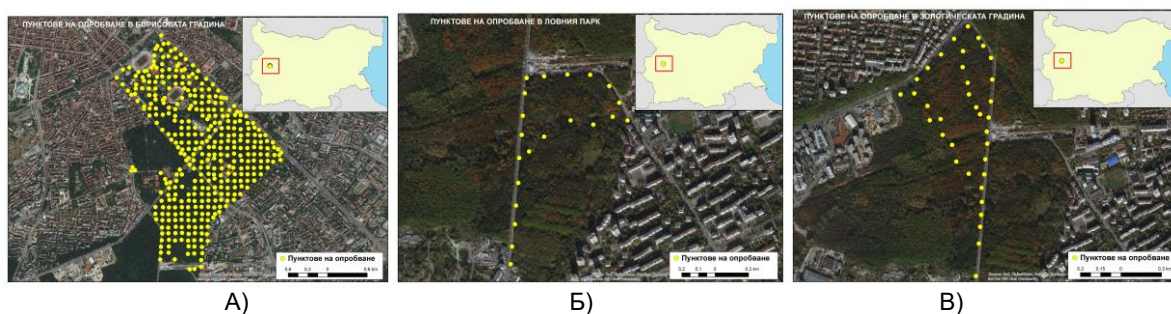
значение са многобройните източници на антропогенно замърсяване – транспорт, индустриални дейности, производство на електроенергия, отоплителни инсталации и други емисии от човешката дейност. Проблемът за замърсяването на околната среда в България е сред най-актуалните. Страната ни е с най-висока степен на замърсяване с фини прахови частици (ФПЧ) в градовете измежду страните, членки на ЕС (WHO, 2016). Това налага да се изследва и оценява антропогенното замърсяване на почвите и седиментите.

От 90-те години на XX век, широко разпространение за оценка на степента на антропогенно замърсяване на почви, седименти, растителни и прахови проби получава магнитометричният метод. През последните години в Европа, а също и у нас този метод се прилага за установяване на степента на замърсяването на почви и седименти. Магнитната възприемчивост може да помогне за идентифициране на региони, където почвите съдържат повисоки от средните концентрации летлива пепел и други антропогенни прахове (King et al., 1982; King and Channell, 1991; Dearing et al., 1996; Jordanova et al., 2013; Jordanova et al., 2014; Jordanova et al., 2016; Jordanova et al., 2017).

Целта на настоящото изследване е да се направи оценка на антропогенното замърсяване с помощта на прилагането на магнитометричния метод в различни части на три Софийски парка – Борисова градина, Зоологическа градина и Ловен парк.

Данни и методи

В периода октомври 2016 г. – февруари 2017 г. са събрани и изследвани магнитните характеристики на 453 проби в мрежа от 100x100 m от повърхностния 0-2 cm почвен слой от Борисова градина, Зоологическа градина и Ловен парк в София (Фиг. 1). От Борисовата градина са събрани 396 проби, от Ловния парк – 21 проби и от парк Зоологическа градина – 36 проби.

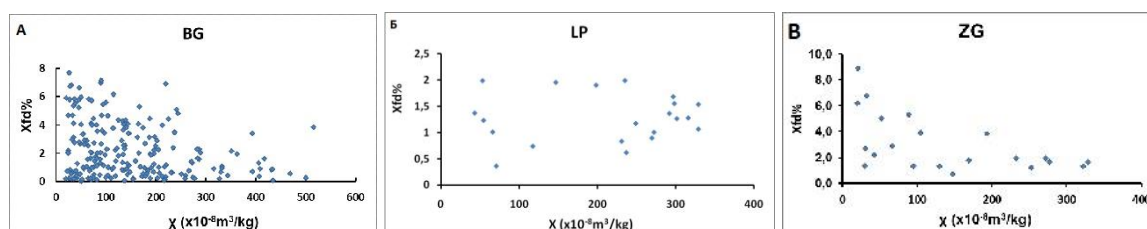


Фиг. 1. Райони на изследване – А) – Борисова градина, Б) – Ловен парк, В) – Зоологическа градина с отбелязани локалитети на взетите почвени проби

В лабораторни условия материалът е изсушен, отделени са едрите скални късове, а останалият насипен материал е стрит и пресят през сито с размер на отвора 1 mm. Тази фракция е използвана за магнитните измервания, проведени в Палеомагнитната Лаборатория на НИГГГ-БАН. Определени са следните магнитни параметри – магнитна възприемчивост (X), изотермична остатъчна намагнитеност (IRM_{2T}), безхистерезисна намагнитеност (ARM), процент честотно-зависимата магнитна възприемчивост ($X_{fd}\%$). Първите два параметъра дават информация за концентрацията на оксидите на желязото, докато последните два зависят главно от размера на феромагнитните частици.

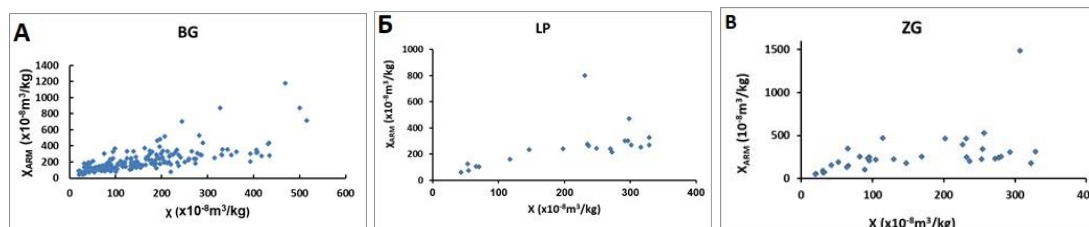
Резултати

На Фиг. 2 е илюстрирана зависимостта между магнитната възприемчивост (X) и процент честотно-зависимата магнитна възприемчивост ($X_{fd}\%$) за изследваните проби от района на трите парка.



Фиг. 2. Зависимост между магнитната възприемчивост (X) и процент честотно-зависимата магнитна възприемчивост ($X_{fd}\%$); А – Борисова градина, Б – Ловен парк, В – Зоологическа градина

В Борисовата градина (Фиг. 2А) се забелязват две групи проби с отличаващи се свойства. Тези от пробите, за които магнитната възприемчивост е по-ниска от $250 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ имат процент честотно-зависима възприемчивост, която варира в сравнително широк интервал (между 0 и 8%). Пробите, за които магнитната възприемчивост е по-висока от $250 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ имат процент честотно-зависима магнитна възприемчивост, която варира в сравнително потесен интервал (между 0 и 4%). Нещо повече, почти всички проби, които имат магнитна възприемчивост над $250 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ се характеризират с процент честотно-зависима магнитна възприемчивост под 2%. Това е индикация, че в силно замърсените проби има пренебрежимо малко количество суперпарамагнитни частици и магнитната минералогия се доминира от едри силномагнитни частици. От друга страна, при пробите с магнитна възприемчивост по-малка от $250 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ се забелязват както проби с доминираща минералогия на едри частици, така и проби, за които има смесица от по-едри (вероятно антропогенни) и по-дребни (вероятно педогенни) частици. За разлика от пробите от парк Борисова градина, при тези от Ловния парк (Фиг. 2Б) процент честотно-зависимата магнитна възприемчивост е по-малка от 2%. Това е индикация за пренебрежимо малко съдържание на магнитна фракция от дребни суперпарамагнитни частици и за доминация на едрите силномагнитни частици. Трябва да се отбележи, че за разлика от парковете Борисова градина и Зоологическа градина, пробите от Ловен парк са взети само от периферията на транспортните артерии (липсват проби от вътрешността на парка). Очевидно магнитните частици в изследваните проби от Ловен парк са с източник от транспортния трафик, което обяснява големите им размери. От графиката на Зоологическата градина (фиг. 2В) се идентифицират две групи проби. При тези с магнитна възприемчивост над $110 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ всички стойности на процент-честотно зависимата магнитната възприемчивост са под 2% (с изключение на една единствена проба с по-голяма стойност на $X_{fd}\%$). В тези проби доминира магнитна фракция с големи размери на частиците (дължащи се вероятно на емисиите от транспортния трафик в района). При пробите с магнитна възприемчивост под $110 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ се забелязват по-високи стойности на процент честотно-зависимата магнитната възприемчивост (достигаща до 9%). Тази група относително по-слабо замърсени проби е взета от вътрешността на парка, на известно разстояние от основните транспортни артерии в района. При тях магнитният сигнал се дължи на смесица от по-едри магнитни частици (от антропогенен произход, свързани с транспортния трафик) и по-дребни суперпарамагнитни частици (вероятно с педогенен характер).

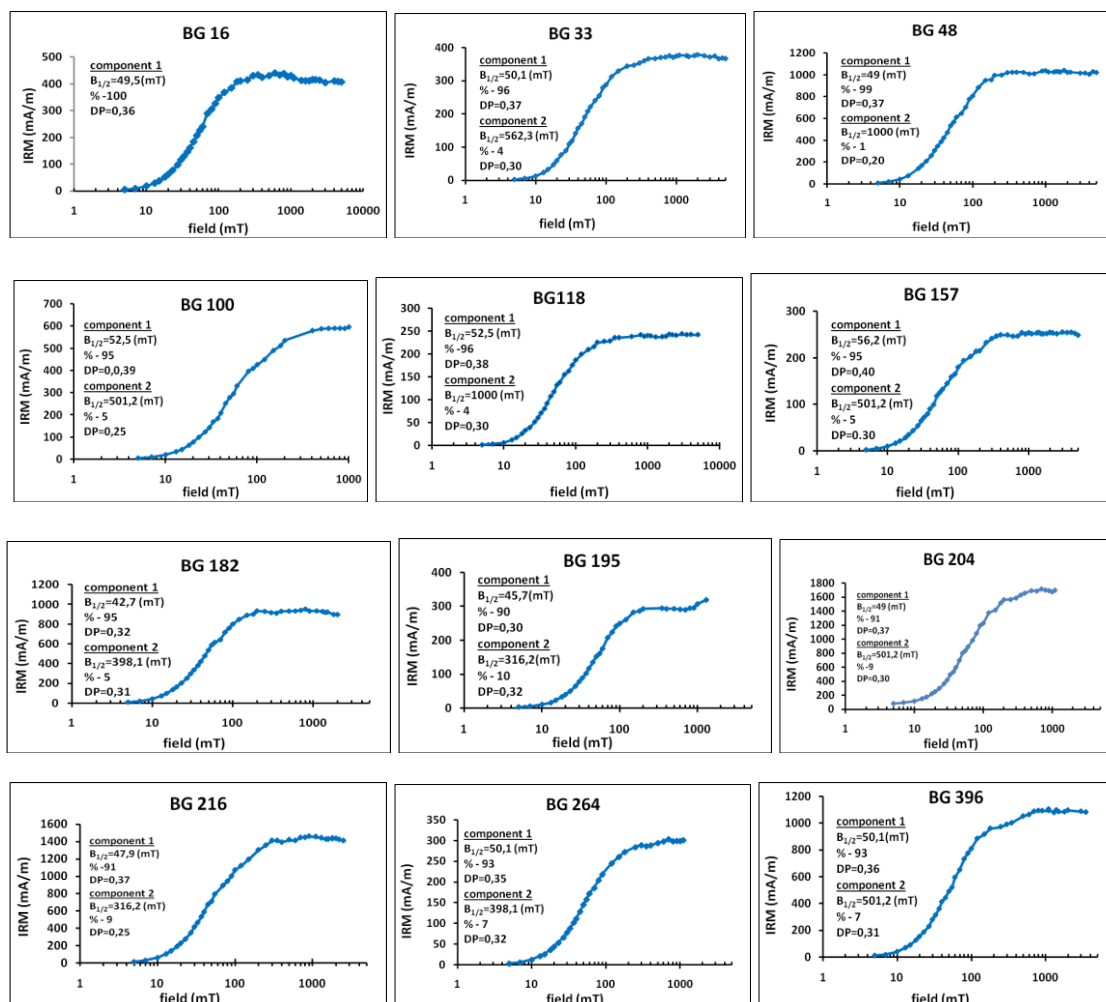


Фиг. 3. Зависимост между магнитната възприемчивост X и безхистерезисната магнитна възприемчивост X_{ARM} ; А – Борисова градина, Б - Ловен парк, В – Зоологическа градина

На Фиг. 3А, Б, В са илюстрирани зависимостите между безхистерезисната магнитна възприемчивост X_{ARM} и магнитната възприемчивост X (диаграма на Кинг) за трите софийски градски парка (Борисова градина, Зоологическа градина и Ловен парк). От тези графики може да се определят размерите на частиците, които носят безхистерезисната остатъчна намагнитеност (най-стръмен наклон е характерен за най-финните частици, а най-малък наклон е характерен за едрите частици). От графиките се забелязва, че и за трите парка наклонът на диаграмите на Кинг е най-голям за ниски стойности на магнитната възприемчивост ($X < 100 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$). Това означава, че частиците с най-ниска магнитна възприемчивост имат най-малки размери. Съответно, това потвърждава извода, че намагнитеността се носи преимуществено от частици с големи размери и за трите градски парка.

За да се идентифицират магнитните минерали в почвените проби от парк Борисова градина, за избрани 12 проби -бе проведено стъпково изотермично намагнитване (IRM) до максимално поле от 5Т (Фиг. 4). Вижда се, че за почти всички образци IRM достига насищане относително бързо, при стойности от около 200 mT. Това показва, че магнитният сигнал се доминира от магнитно меки минерали, насищащи се в слаби магнитни полета (магнетит/магхемит). Във всички 12 проби магнитно меката компонента е над 90 % от общата IRM, а в един от случаите тя достига 100% от общата IRM. Коерцитивността на IRM компонента 1, дефинирана от параметъра $B_{1/2}$ (Kruiver et al., 2001), варира в тесни граници (между 42,7 mT и 56,2 mT). Такива стойности на коерцитивността са характерни за минерали от типа на

магнетита. Следователно, резултатите от стъпковото изотермично намагнитване показват, че доминиращият магнитен минерал е магнетит/магхемит. В почти всички проби присъства и втора магнитно твърда компонента. Нейният принос обаче не надхвърля 10% при никоя от пробите. В два от случаите (проби BG48 и BG118) коерцитивността на втората компонента, изразена посредством параметъра $B_{1/2}$ е 1000 mT, която съответства на желязния хидроокис гътит. Това е индикация за присъствието в пробата на слабо магнитна висококоерцитивна фракция В останалите случаи коерцитивността на втората компонента, изразена посредством параметъра $B_{1/2}$ варира между 316,2 mT и 562,3 mT, което съответства на минерала хематит (Kruiver et al., 2001).



Фиг. 4. Криви на придобиване на IRM от парк Борисова градина

Заклучение

В заключение могат да се направят следните обобщени изводи за замърсяването на изследваните паркове в гр. София. Анализът на магнетизма на почвите от трите софийски градски парка демонстрира високата ефективност на магнитния метод като чувствителен индикатор за антропогенното замърсяване на почвата. Резултатите от магнитните изследвания, направени в нашето проучване доказват, че основният замърсител е автомобилния транспорт. Най-висока степен на замърсяване се наблюдава при почвите, които са в непосредствена близост до големи транспортни артерии, минаващи през или покрай изследваните паркове. С отдалечаване от транспортните артерии степента на антропогенното натоварване намалява. Наблюдава се и локално замърсяване по протежение на някои от главните вътрешно паркови алеи, свързано с наличие на увеселителни съоръжения.

В най-силно замърсените проби има пренебрежимо малко количество суперпарамагнитни частици и магнитната минералогия се доминира от едри многодоменни силномагнитни частици. Този резултат е в съответствие с хипотезата, че автомобилният трафик е основния източник на замърсяване и факта, че магнитният сигнал на автомобилните

емисии се дължи преимуществено на магнетит с многодоменни размери. При пробите с ниска и средна магнитната възприемчивост се забелязват както проби с доминираща минералогия на едри частици, така и проби, за които има смесица от по-едри (вероятно антропогенни) и по-дребни (вероятно литогенни) частици. В слабо замърсените проби може да се идентифицират суперпарамагнитни частици с литогенен произход.

Литература:

1. Dearing, J. A., R. J. L. Dann, Hay K., J. A. Lees, P. J. Loveland, B. A. Maher and K. O'Grady,. Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophys. J. Int.*, 127, 228–240, 1996
2. King, J.W., S.K. Banerjee, J.A. Marvin and Ö. Ozdemir. A comparison of different magnetic methods for determining the relative grain size of magnetite in natural materials: some results from lake sediments, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 59, 404–419, 1982
3. King, J. and J. Channell. Sedimentary magnetism, environmental magnetism, and magnetostratigraphy. In: U.S. National Report to the International Union of Geodesy and Geophysics, *Rev. Geophys. Suppl.*, 29, 358–370. 1991
4. Kruiver, P. P., Dekkers M.J., Heslop D.. Quantification of magnetic coercivity components by the analysis of acquisition curves of isothermal remanent magnetisation. *Earth and Planetary Science Letters* 189 269–276. 2001
5. Jordanova, D., S.R. Goddu, T. Kotsev and N. Jordanov,. Industrial contamination of alluvial soils near Fe-Pb mining site revealed by magnetic and geochemical studies. *Geoderma*, 237–248. 2013
6. Jordanova, D., N. Jordanova, and P. Petrov. Magnetic susceptibility of road deposited sediments at a national scale - Relation to population size and urban pollution. *Environmental Pollution*, 189, 239–251, 2014
7. Jordanova, N. and D. Jordanova. Rock-magnetic and geochemical characteristics of relict Vertisols signs of past climate and recent pedogenic development. *Geophysical Journal International* vol. 205, Oxford University Press, ISSN:0956-540X, DOI:10.1093/gji/ggw067, 1437–1454, 2016
8. Jordanova, N. *Soil Magnetism. Applications in Pedology, Environmental Science and Agriculture*. London-San Diego-Cambridge-Oxford, Academic Press, Elsevier, 466 p., 2017.

DETERMINATION OF HELLENISTIC POTTERY AND WALL PLASTER MINERAL COMPOSITION

**Zhivko Uzunov¹, Boyan Dumanov¹, Bilyana Kostova¹, Ventseslav Stoyanov^{2,3},
Ralitza Berberova¹, Boyka Zlateva⁴**

¹New Bulgarian University – Sofia

²University of Structural Engineering and Architecture (VSU) „Lyuben Karavelov“ – Sofia

³MOI Academy - Sofia

⁴Sofia University “St. Kl. Ohridski” - Sofia

e-mail: zhuzunov@nbu.bg; bdumanov@nbu.bg; bkostova@nbu.bg; vensy.stoyanov@gmail.com;
rberberova@nbu.bg; ahbz@chem.uni-sofia.bg

Keywords: pottery, wall plaster, Hellenistic period, mineral composition

Abstract: Pottery and clay plaster is the first composite materials manufactured and developed by humans. They are the most abundant findings as archaeological artifacts due to their production in a wide time range, simple production process, high weather resistance, and low cost. The study of such materials aims to define the raw materials used and the temperature of the firing process. The present study investigated one wall plaster sample and five pottery fragments from Hellenistic settlement, located on a Harmanlaka summit by the Orizare village, Nessebar municipality, Bulgaria, and clay from the deposit, located near the archaeological site. The methods used were X-ray fluorescence analysis and powder X-ray diffraction measurements. The obtained results of samples mineral composition define: (i) studied clay as raw for potteries and plaster production; (ii) phase composition and firing temperature (three different temperatures of ceramic firing – 600 - 650°C; 600-800°C, and 950-1000°C; and (iii) temperature of wall plaster burning - 600 - 650°.

МИНЕРАЛЕН СЪСТАВ НА БИТОВА КЕРАМИКА И ГЛИНЕНА СТЕННА МАЗИЛКА ОТ ЕЛИНИСТИЧЕСКАТА ЕПОХА

**Живко Узунов¹, Боян Думанов¹, Биляна Костова¹, Венцеслав Стоянов^{2,3},
Ралица Берберова¹, Бойка Златева⁴**

¹Нов български университет – София

²Висшето строително училище “Любен Каравелов” – София

³Академия на МВР – София

⁴Софийски университет „Св. Кл. Охридски“ - София

e-mail: zhuzunov@nbu.bg; bdumanov@nbu.bg; bkostova@nbu.bg; vensy.stoyanov@gmail.com;
rberberova@nbu.bg; ahbz@chem.uni-sofia.bg

Ключови думи: битова керамика, глинена стенна мазилка, Елинистическа епоха, минерален състав

Резюме: Керамиката и глинената стенна мазилка са първите композитни материали, произведени и разработени от хората. Те са най-разпространените археологически артефакти тъй като се произвеждат лесно и в широк времеви интервал, устойчиви са на изветряне и имат ниска себестойност. Тяхното изучаване цели да се определи изходната суровина от която са произведени, както и температурата, при която са изпечени. Изследвани са една проба от глинена стенна мазилка и пет фрагмента от битова керамика от Елинистическо селище, разположено на вр. Харманлъка, близо до с. Оризаре, община Несебър, както и проби от глина от находище, разположено в близост до археологическия обект. За целта са използвани рентгенофлуоресцентен и прахов рентгенов анализи. Получените резултати доказват: (i) местно производство с местна изходна суровина; (ii) три различни температури на изпичане на керамиката - 600 - 650°C; 600-800°C и 950-1000°C и (iii) температура на изгаряне на глинената стенна мазилка - 600 - 650°.

Introduction

Modern archeology uses non-destructive remote sensing methods (for studying/searching archaeological structures - drone, geophysical methods, etc.) and destructive methods (for artifacts investigations by X-ray fluorescence, powder X-ray diffraction measurements, thermal analysis, etc.). The study of artifacts' chemical and mineral composition and their comparison with raw materials provide information about people's knowledge of the ancient environment, the technology of manufacturing, and trade relations.

The study of ceramic artifacts is of importance for determining the raw materials of production and firing conditions. For this purpose, the examination of the mineral composition of ceramic and comparison with the mineral composition of raw material is of great importance. It is known that when firing ceramics under conditions of elevated temperature, the redox potential in the kiln, the chemical and structural composition of the clay change [1]. These changes are related to:

- destruction of raw minerals due to exceeding stability limit with increasing temperature. For example, clay minerals are resistant up to 550°C, calcite's decomposition occurs at 600°C - 660°C; potassium feldspars - around 1000°C; plagioclase and muscovite are resistant to temperatures close to 950°C [1,2]. In this regard, the determination of the starting clay mineral in annealed pottery is difficult [3];

- structural change of the raw minerals without changing the chemical composition under rising temperature in oxidation atmosphere - for example, quartz (SiO_2) is transformed and tridymite (SiO_2) started to form from 872°C up to 898°C, where the temperature can be shifted by the presence of alkali oxides above 1005°C [4].

- Formation of new minerals under elevated temperature – gehlenite $\text{Ca}_2\text{Al}[\text{AlSiO}_7]$ at 800 – 850°C, diopside $\text{MgCaSi}_2\text{O}_6$ – at a temperature above 800°C, hematite Fe_2O_3 – at 950°C, mullite $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ - at temperatures above 950°C; wollastonite CaSiO_3 – above 1100°C, etc. [1,2].

The area of Nessebar is known for a couple of clay deposits. There are published investigations on ceramic focused on the building ceramic (roof tiles and architectural terracotta) and stamped amphorae to define the raw clay used for their preparation [5]. Similar studies have not been done on pottery. Such results will provide information about local manufacturing and its technology and/or pottery import and trade relations during that period. The technology of clay wall plaster preparation does not include firing. The clay plaster's macroscopic observation shows reddish coloration, supposing some degree of building burning.

The work aims to investigate: (i) the chemical composition of pottery fragments and clay plaster from the Hellenistic settlement and compare it with the potential raw material (clay), and (ii) mineral composition to define the pottery's firing temperature and clay plaster's burning temperature. The investigation was made by X-ray fluorescence analysis and powder X-ray diffraction measurements.

Samples and methods

Samples

Archaeological site for sampling: Hellenistic settlement located on a prominent summit named Harmanlaka, by the village of Orizare (Fig. 1). The archaeological data of the settlement was described in detailed elsewhere [6-8].



Fig. 1. Settlement site by the Orizare village, Bulgaria

Studied archaeological samples: №1 clay plaster; №2 wheel made monochrome pottery; №3 Fragment from the jug, №3 handmade pottery; №4 Lopas, plain pottery; №5 Cup, plain pottery; and №6 Bowl, red-gloss ware.

Studied raw material samples: two clay samples (A and B), sampling – two different levels of modern clay quarry (out of operation at the moment) with location Orizare village.

Methods

The X-ray fluorescence (XRF) analysis was performed by Micro-XRF Spectrometer M1 MISTRAL, Bruker (Rh-tube, Peltier cooling, 30 mm², Si-drift detector (SDD), <150 eV with Mn Ka, collimator 0.1 mm to 1.5 mm), calibrated with external standards. The samples were H₃BO₃ tableted (1 g sample + 0,5 g H₃BO₃). The XRF analysis was used for clay samples investigations.

The powder X-ray diffraction (PXRD) measurements were made by Empryan Powder X-ray diffractometer (Malvern Panalytical, Netherlands) in the 3°- 100° 2 θ range using Cu radiation (λ = 1.5406 Å) and PIXcel3D detector.

Results

Table 1 shows the XRF results from two clay samples' investigation.

Table 1. Results from the XRF analysis of clay samples (A and B)

№	wt %																
	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Ti	V	Mn	Fe	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	S
A	1.56	14.98	33.72	0.07	2.11	8.69	0.48	0.01	0.05	4.14	0.01	0.01	0.01	0.04	0.0014	0.01	0.15
B	2.73	25.68	48.26	0.12	2.39	8.33	0.38	0.01	0.04	3.65	0.01	0.01	0.01	0.03	0.0016	0.01	-

The results from the PXRD analysis are present in Fig. 2 and Table 2.

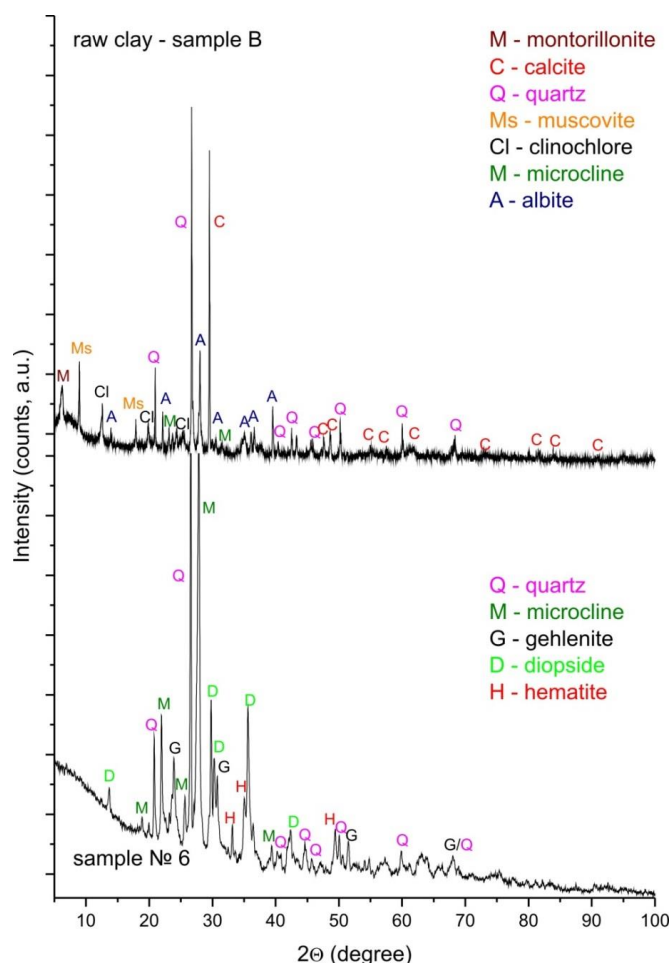


Fig. 2. PXRD patterns of raw clay (sample B) and pottery (Sample № 6)

Table 2. Results from the PXRD analysis

Sample	Mineral composition		References
raw clay – sample A and sample B	montmorillonite, clinocllore, quartz, muscovite, albite, microcline, calcite		montmorillonite [9] clinocllore [10] quartz, PDF # 06-1757 [11] muscovite [12] microcline - PDF #19-0926 [11] albite - PDF #89-6426 [11] calcite - PDF#06-6528 [11] gehlenite [13] diopside [14] hematite PDF# 33-0664 [11]
pottery	raw minerals	newly-formed minerals	
№1 clay plaster	quartz, muscovite, albite, microcline, calcite	-	
№2 Wheel made monochrome pottery	quartz, muscovite, albite, microcline, calcite	-	
№3 Jug, handmade pottery	quartz, muscovite, albite, microcline	-	
№4 Lopas, plain pottery	quartz, muscovite, albite, microcline	-	
№5 Cup, plain pottery	quartz, muscovite, albite, microcline, calcite	-	
№6 Bowl, red-gloss ware	quartz, microcline	gehlenite, diopside, hematite	

Discussion

The clay rocks usually are composed of three mineral groups: pelitic (minerals from clay, chlorite, and hydromica groups), authogenic (usually calcite, but also dolomite, siderite, pyrite, etc.), and clastic (quartz, feldspar, mica). Typically, the pelitic component is over 50%, with a highly variable ratio between pelitic and clastic minerals [15].

The XRF results (Table 1) of clay samples show differences in SiO₂ and Al₂O₃ concentration, which defines the altered ratio between pelitic and clastic minerals, even the same deposit. The results of CaO concentration coincide for both samples. The same stands for the amount of the other measured elements.

The PXRD investigations of both clay samples prove identical phase composition (Table 2):

- pelitic minerals: montmorillonite $(\text{Na,Ca})_{0.33}(\text{Al,Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ and clinocllore $\text{Mg}_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$;
- authogenic mineral: calcite CaCO_3 ;
- clastic minerals: quartz SiO_2 , muscovite $\text{KA}_{12}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$, feldspar: potassium feldspar - microcline $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$, and plagioclase - albite $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$.

The results obtained are partly following the literature data on clays from the Orizare region. The established phases: montmorillonite, calcite, and feldspar, coincide with the data from the others [5]. The detected muscovite (mica) and clinocllore (Mg-rich chlorite) were not reported in the previous studies [5]. Illite was not detected, which was proved by Kovatchev et al. [5].

The montmorillonite and clinocllore (raw clay pelitic minerals) were not found in studied ceramic samples. The decomposition temperature of 600°C for these two minerals [1,2] defines a minimum pottery firing temperature around 600°C. Same stands for the minimum burning temperature of sample №1 clay plaster.

The authogenic calcite was found only in samples №1, №2, and №5, which determines the firing temperature in the range 600 - 660°C for №2 and №5 samples and the burning temperature in the same interval for sample №1.

At samples №3 and №4, only the minerals quartz, muscovite, albite, and microcline were present. Autogenic calcite and newly formed minerals during the thermal treatment were not proven. That defines the firing temperature in the range of 600/660 - 800°C. The lower temperature boundary was defined by the calcite thermal stability, and the upper – by the lowest temperature of new minerals formation.

In sample №6, quartz and microcline only were detected from the raw clay. Newly formed minerals have been identified: gehlenite, diopside, and hematite. The formation of diopside is explained by the decomposition of calcite and Mg-chlorite (clinocllore) and the incorporation of Ca and Mg into the newly-formed diopside [2]. The gehlenite formation was associated with the decomposition of montmorillonite and the mobilization of Al in the newly-formed mineral. A sufficient amount of Fe has been detected in the raw clay (Table 1) to form the mineral hematite at high temperatures and oxidizing atmosphere in the kiln. Gehlenite and diopside were formed at temperatures above 800°C, hematite - at 950°C. The absence of muscovite marks a temperature above 950°C. The microcline thermal stability is up to 1000°C. That facts define the firing temperature of sample №6 at the interval 950 - 1000°C. Despite the specified high firing temperature, SiO₂ is established as quartz, not as tridymite. The shift of quartz resistance to higher temperatures is due to the presence of alkaline components in the system [4] (Table 1).

Conclusion

The chemical and phase composition study of clay samples from the area of the village of Orizare and the comparison with the phase composition of the studied Hellenistic pottery and clay plaster samples determined the studied clay as raw material and their local production, respectively.

The determined mineral composition of the raw clay, pottery samples, and clay plaster show:

- three different firing temperatures of the ceramics: 600 - 660°C, 600 - 800°C and 950 - 1000°C, proving three manufacturing technologies used;
- temperature of wall clay plaster burning and building burning at the fire, respectively - 600 - 660°C.

The obtained results are of importance for other archaeological sites from the region of Nessebar municipality.

Acknowledgments

This work was funded by the Bulgarian Science Research Found under grant KP-06-N40/6 (Zh. U., B. D., B. K.).

References:

1. El Ouahabi, M., L. Daoudi, F. Hatert, N. Fagel. Modified Mineral Phases During Clay Ceramic Firing. *Clays Clay Miner.* 63, 2015, 404–413. (<https://doi.org/10.1346/CCMN.2015.0630506>)
2. Heimann, R., M. Maggetti. The struggle between thermodynamics and kinetics: Phase evolution of ancient and historical ceramics. In: *The Contribution of Mineralogy to Cultural Heritage*, EMU Notes in Mineralogy, 20, Ch. 6, 2019, 233–281. (10.1180/EMU-notes.20.6)
3. Jordán, M. M., A. Boix, T. Sanfeliu, C. de la Fuente. Firing transformations of Cretaceous clays used in the manufacturing of ceramic tiles. *Applied Clay Science*, 14, 1999, 225–234. ([https://doi.org/10.1016/S0169-1317\(98\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S0169-1317(98)00052-0))
4. Holmquist, S. B. Conversion of Quartz to Tridymite. *Journal of the American ceramic society*. 44, 2, 1961, 82–86. (<https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1961.tb15355.x>)
5. Kovatchev, V., T. Stoyanov, Ts. Stanimirova, D. Stoyanova, I. Lozanov, V. Mladenov. Archaeometric study of Hellenistic roof tiles and amphorae from Apollonia and Mesambria: an attempt at identifying local production. *PATABS II. Production and trade of amphorae in Black sea. Acts of International round table held in Kiten, Nessebar and Sredets*. 2011, 203–243.
6. Uzunov, Z., Y. Tsvetanov, I. Arolska. Archaeological excavation of late Hellenistic site at Harmanluka, Orozare, Nessebar municipality. *Archaeological discoveries and excavations in 2015*. Bulgarian academy of sciences, National archaeological institute with museum. 2015. 281–283. (in Bulgarian with English abstract).
7. Karayotov, I. The Coinage of Mesambria. Vol II, Bronze coins of Mesambria, Burgas. 2009.
8. Bozkova, A., P. Kiyashkina, Z. Uzunov, V. Milcheva. The late Hellenistic period in mesambria pontica and its vicinity. *Studia archaeologica universitatis serdicensis Supplementum VI* (2018), *Stephanos archaeologicos ad 80 annum professoris Ludmili Getov*. 2018. 225–236. (in Bulgarian with English abstract).
9. Viani, A., A. Gualtieri, G. Artioli. The nature of disorder in montmorillonite by simulation of X-ray powder patterns. *American Mineralogist*, 87, 2002, 966–975 (database_code_amcsd 0002868). (10.2138/am-2002-0720)
10. Welch, M. D., W. G. Marshall. 2001. High-pressure behaviour of clinocllore $P = 4.65$ GPa. *American Mineralogist*, 86, 1380-1386 (database_code_amcsd 0002742).
11. Powder Diffraction File (PDF), copyright by International Centre for Diffraction Data (ICDD) Newtown Square; 12 Campus Blvd., Newtown Square, PA 19073-3273.
12. Singha, M., L. Singh. Vibrational spectroscopic study of muscovite and biotite layered phyllosilicates. *Indian Journal of Pure & Applied Physics*, 54, 2016, 116–122.
13. Louisnathan, S. J. Refinement of the crystal structure of a natural gehlenite, $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{Al},\text{Si})_2\text{O}_7$. *The Canadian Mineralogist* 10, 1971, 822–837. (database_code_amcsd 0005090).
14. Raudsepp, M., F. C. Hawthorne, A. C. Turnock. Crystal chemistry of synthetic pyroxenes on the join $\text{CaNiSi}_2\text{O}_6$ - $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ (diopside): A Rietveld refinement study. *American Mineralogist* 75, 1990, 1274–1281. (database_code_amcsd 0001333).
15. Kovatchev, V., Str. Dimitrov, P. Petrov 1991. *Industrial minerals*. MGU, Sofia, 1991. (in Bulgarian).

ОПРЕДЕЛЯНЕ СЪДЪРЖАНИЕТО НА ЕСТЕСТВЕНИ РАДИОНУКЛИДИ В СТРОИТЕЛНИ МАТЕРИАЛИ

Екатерина Серафимова¹, Вилма Петкова²

¹Химикотехнологичен и металургичен университет - София

²Институт по минералогия и кристалография – Българска академия на науките
e-mail: ekaterina_sr@uctm.edu

Ключови думи: радионуклиди, строителни материали

Резюме: Населението, което живее в райони, богати на гранити, минерали и почви с високи концентрации на естествени радионуклиди, е подложено на по-високо външно облъчване. Когато се оценява облъчването на населението от естествени радионуклиди, трябва да се отчита фактът, че значителна част от времето си човек пребивава в сгради, където живее и работи. Стените, подовите и покривите на сградите екранират (отслабват) външния гама-фон. От друга страна обаче строителните материали (тухли, бетон, гипс), от които са изградени сградите и жилищата, съдържат естествени радионуклиди с най-различни концентрации. При оценката на средната годишна ефективна доза за населението на Земята се отчита разделно облъчването от естествени радионуклиди, което се получава на открито и вътре в сгради. Целта на работата е да определи съдържанието на естествени радионуклиди на строителни материали на образци взети от различни сгради в Южна България като се анализират образците и измери тяхната естествена радиоактивност, след което да се сравнят резултатите с максималните концентрации на активност в общи строителни материали, използвани и в ЕС.

Получените данни от проведените анализи не дават основание да се очаква генериране на радионуклиди от природните и конвенционални неорганични строителни материали, използвани в изследваните райони. Тази вероятност е още по-малка за сградите, където основните строителни работи са завършили преди повече от 20-30 години, време предостатъчно за настъпване на равновесие в системите.

DETERMINATION OF THE CONTENT OF NATURAL RADIONUCLIDES OF BUILDING MATERIALS

Ekaterina Serafimova¹, Vilma Petkova²

¹University of Chemical Technology and Metallurgy - Sofia

²Institute of Mineralogy and Crystallography, Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: ekaterina_sr@uctm.edu

Keywords: radionuclides, construction materials

Abstract: The population living in areas rich in granites, minerals and soils with high concentrations of natural radionuclides is exposed to higher external radiation. When assessing the exposure of the population to natural radionuclides, the fact must be taken into account that a significant part of a person's time resides in buildings where he lives and works. The walls, floors and roofs of the buildings shield (weaken) the external gamma background. On the other hand, the building materials (bricks, concrete, gypsum), from which the buildings and dwellings are built, contain natural radionuclides with various concentrations. When estimating the average annual effective dose for the population of the Earth, the radiation from natural radionuclides, which is obtained outdoors and indoors, is taken into account separately. The aim of the work is to determine the content of natural radionuclides on building materials of samples taken from different buildings in Southern Bulgaria by analyzing the samples and measuring their natural radioactivity, then to compare the results with the maximum concentrations of activity in common building materials. also used in the EU.

The data obtained from the analyzes do not give grounds to expect the generation of radionuclides from natural and conventional inorganic building materials used in the studied areas. This probability is even lower for buildings where major construction work was completed more than 20-30 years ago, enough time for equilibrium to occur in the systems.

Въведение

Естествени (природни) радионуклиди се наричат тези радионуклиди, които са разпространени в екосферата и не са резултат на човешката дейност. Естествените радионуклиди се намират във всички компоненти на живата и неживата природа на Земята. Те са и основният източник на облъчване на живите организми с йонизиращи лъчения заедно с вторичното космично лъчение. Наличието на естествени радионуклиди в земната повърхност води до външно облъчване, като мощността на дозата от земното лъчение е право пропорционално на количеството (концентрацията) на естествените радионуклиди в почвата. Концентрацията на радионуклиди в почвата зависи от радиоактивността на веществата, от които е съставена почвата и от процесите на сорбция, отлагане и отмиване на радионуклиди под въздействието на водите.

Населението, което живее в райони, богати на гранити, минерали и почви с високи концентрации на естествени радионуклиди, е подложено на по-високо външно облъчване. Когато се оценява облъчването на населението от естествени радионуклиди, трябва да се отчита факта, че значителна част от времето си човек пребивава в сгради, където живее и работи. Стените, подовите и покривите на сградите екранират (отслабват) външния гама-фон. От друга страна обаче строителните материали (тухли, бетон, гипс), от които са изградени сградите и жилищата, съдържат естествени радионуклиди с най-различни концентрации. Това води до облъчване на хората, пребиваващи в сградите. Гама-фонът вътре в сгради, изградени от тухли, бетон и гранит, като правило е по-висок от този в дървени постройки.

При оценката на средната годишна ефективна доза за населението на Земята се отчита разделно облъчването от естествени радионуклиди, което се получава на открито и вътре в сгради. Приема се, че съвременният човек престоява средно 80% от времето си в сгради (19 часа за денонощие), а 20% от времето пребивава на открито (5 часа за денонощие). Това означава, че естественото външно облъчване при престоя на човек в сгради е доминиращо спрямо облъчването на открито.

Целта на работата е да определи съдържанието на естествени радионуклиди на скални и строителни материали на образци, взети от различни сгради в Южна България, като се анализират образците и измери тяхната естествена радиоактивност, след което да се сравнят резултатите с максималните концентрации на активност в общи строителни материали, използвани и в ЕС.

Естествена радиоактивност на строителни материали

Всички строителни материали съдържат различни количества от естествени радиоактивни нуклиди. Материалите, получени от скали и почви, съдържат предимно естествени радионуклиди на уран (^{238}U) и торий (^{232}Th), и радиоактивен изотоп на калия (^{40}K). и при разпадането на уран, започвайки от радий (^{226}Ra) е рентгенологично. Средните концентрации в световен мащаб на радий, торий и калий в земната кора са около 40 Bq kg^{-1} , 40 Bq kg^{-1} и 400 Bq g^{-1} . Резултатите от литературното проучване на радиоактивността на строителните материали в ЕС са обобщени в Таблица 1.

Таблица 1. Типични и максимални концентрации на активност в общи строителни материали и промишлени продукти, използвани за строителни материали в ЕС. Типичните концентрации са претеглени спрямо населението национални средства от различни държави-членки.

Материал	Типична концентрационна активност, Bq kg^{-1}			Максимална концентрационна активност, Bq kg^{-1}		
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
По-често срещани строителни материали						
Бетон	40	30	400	240	190	1600
Аериран или лек бетон	60	40	430	2600	190	1600
Глинени червени тухли	50	50	670	200	200	2000
Пясъковарни тухли	10	10	330	25	30	700
Естествени строителни камъни	60	60	640	500	310	4000
Природен гипс	10	10	80	70	100	200
По-често използвани индустриални вторични продукти като строителни материали						
Фосфогипс	390	20	60	1100	160	300
Пламъчна шлака	270	70	240	2100	340	1000
Пепел от въглища	180	100	650	1100	300	1500

- Потенциалът на негативно въздействие на строителните материали върху хората по време на жизнения им цикъл може да бъде съществено различен, в зависимост от вида и мощността на генерираните емисии от тях по време на цялостния период на използване на жилищата и сградите.
- Използването на природни неорганични строителни материали, които не се подлагат на значими третирания запазват своята начална структура и състав. В същото време този тип строителни материали запазват за много дълъг период негативно радиоактивно въздействие.
- Материалите с по-високо радиоактивно излъчване са използвани основно за настилки и облицовъчни материали при строителството, което определя наличие на бариера за проникването на радона в жилищните помещения
- Международният опит показва, че за ефективна превенция на здравето на населението и намаляване на облъчването включва широк спектър от действия, включващи: ефективна превенция в нови сгради, идентифициране на съществуващи домове и работни места с високи нива, възстановяване на съществуващи сгради, повишаване на осведомеността и обучение. Тези действия изискват участие редица институции, ведомства и други заинтересовани страни и координация между тях, което би се постигнало разработване и подготовка на стратегия на национално ниво.

Теория на метода

За оценка на потенциала на строителните материали от изследваните райони са извършени гама-спектроскопски анализи на проби от различни материали. Обект на изследване са както материали от вътрешния интериор като стари фаянсови плочки и хоросан, варова мазилка и подови настилки от мета гранит, така и от основни материали за грубото строителство – бетони, мета гранити за облицовки и настилки, гнайс, бречко конгломерати и гранити. Вече е известно, че поради по-краткото време на полуразпад определянето на интензивността на лъчение по отношение на K-40, Th-232 и Ra-226 е съществено за формирането на емисионните нива на радона в затворените помещения.

Резултати от извършения контрол

Таблица 2. Резултати от гама спектроскопия на строителни материали

№	Обект	Материал	⁴⁰ K (Bq/kg)	²²⁶ Ra (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)
1	2	3	4	5	6
1	гр. Кърджали – СОУ „Пенчо Славейков“	Стар хоросан	740±20	23.9±0.8	35.5±1.4
2	гр. Кърджали-ученически общежития	Стари фаянсови плочки	354±12	37.0±1.1	30.9±1.1
3	гр. Хасково – Математическа гимназия „Б. Петканчин“	Стар бетон	366±9	23.8±2.6	15.6±0.5
4	Хасково- спортна зала – коминно тяло	Стар бетон	711±19	64±6	57.9±1.8
5	Хасково – музей	бетон	817±24	75.8±2.0	54.9±2.4
6	Хасково – музей	Стара варова мазилка	287±9	14.9±0.6	17.0±0.5
7	Винево – къща	пясъчник	310±15	27.7±0.8	20.2±0.9
8	гр. Хасково – детска градина „Звънче“	Стар хоросан	630±16	34.9±3.3	28.1±1.1
9	с. Караманци – СОУ „Христо Ботев“	Стар хоросан	757±21	36.7±1.4	57.2±2.1
10	гр. Сандански – ОДЗ 1 „Дора Габе“	стара замазка	671±19	20.4±0.7	26.1±1.1
11	гр. Сандански – ЦДГ „Радост“	Стар бетон	534±20	48.5±3.8	33.2±1.6
12	с. Елешница – ОДЗ „Надежда“	Стар бетон	613±17	42.4±4.8	24.2±0.7
13	с. Елешница – ОДЗ „Надежда“	Стара мазилка	384±10	18.5±0.5	18.0±0.6
14	с. Елешница – частен дом; Подстилаща основа	Пясъчник	927±25	86±7	43.3±1.6
15	с.Пирин-частен дом-биотитов	Гнайс	1129±31	95.9±2.6	108.7±3.5
16	х. Кукер, м. Предела (община Банско; Област Благоевград)	Пясъчник	538±14	12.84±0.44	18.1±0.6

При контрола на всички строителни материали от Южна България е установено следното:

Индекс на специфична активност на строителни материали е в диапазон 0.13 ± 0.98 – под 1.00, максимално допустима стойност на индекса на специфична активност на строителни материали за основен строеж на жилищни и обществени сгради.

Всички изследвани проби отговарят на изискванията на Наредба № 25 от 2005 г. за изискванията за защита на лицата при хронично облъчване в резултат на производство, търговия и използване на суровини, продукти и стоки с повишено съдържание на радионуклиди.

Заклучение

Получените данни от проведените анализи не дават основание да се очаква генериране на радионуклиди от природните и конвенционални неорганични строителни материали, използвани в изследваните райони. Тази вероятност е още по-малка за сградите, където основните строителни работи са завършили преди повече от 20-30 години, време предостатъчно за настъпване на равновесие в системите. С навлизането на пазара на много нови основно композитни строителни смеси, в които или в технологията на производството, или при непосредственото им използване в строителството, вече масово се използват различни хидроизолационни и топлоизолационни материали на полимерна (пластмасови, каучукови, лепила със сложен състав и други) основа. Такива добавки вече се използват и при извършващите се строителни процеси на шпакловки и замазки. За подобряване свойствата на строителните смеси в редица случаи се прилагат и специални добавки към бетоните, с цел подобряване на техните свойства по отношение на вискозитет, хидрофобност и якости.

Разработването и прилагането на държавна политика в областта ще могат да бъдат постигнати значителни ползи за общественото здраве и намаляване на риска за населението.

Всеки гражданин в България има право на здравословни и безопасни условия на труд, а децата трябва да растат в сгради с доказано качество. Постигането на единен подход на измерване на работните места, както и организиране на изследване на детските градини и училищата би могло да се постигне с общо национална стратегия за намаляване на риска от облъчване от строителни материали, с участието на редица ведомства и институции.

Литература:

1. Наредбата за основните норми за радиационна защита (ДВ, бр. 76 от 2012 г.)
2. Council Directive 96/29/EURATOM of 13 May 1996 laying down the basic safety standards of the health of workers and the general public against the danger arising from ionising radiation.
3. Commission Recommendation of 21 February 1990 on the protection of the public against indoor exposure to radon.
4. Council Directive of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States related to construction products.
5. Mustonen, R., Pennanen M., Annanmäki M. and Oksanen E. Enhanced Radioactivity of Building Materials. Final report of the contract No 96-ET-003 for the European Commission. Radiation and Nuclear Safety Authority – STUK, Finland, 1997; Radiation Protection 96, Luxembourg, 1999.
6. Markkanen, M. Radiation Dose Assessments for Materials with Elevated Natural Radioactivity. Report STUK-B-STO 32, Radiation and Nuclear Safety Authority – STUK, 1995.
7. Erdtmann, G. and Soyka .W. (1979) .The gamma of the radionuclide: tables for applied gamma ray spectrometry, New Yourk: Verlag Chemic
8. IEC 61452 (1995-09) Nuclear instrumentation – Measurement of gamma-ray emission rates of radionuclides – Calibration and use of germanium spectrometers. International Electrotechnical Commission, Geneva, 1995.
9. Наредба №25 от 2005 г. за изискванията за защита на лицата при хронично облъчване в резултат на производство, търговия и използване на суровини, продукти и стоки с повишено съдържание на радионуклиди (ДВ, бр. 64 от 2005 г.; изм., бр. 80 от 2005 г.).

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА СТАТИСТИЧЕСКИ ДАННИ ЗА КРИЗИ ОТ ПРИРОДЕН ХАРАКТЕР НА ТЕРИТОРИЯТА НА БЪЛГАРИЯ ЗА ДЕСЕТГОДИШЕН ПЕРИОД

Ралица Берберова

*Нов български университет, Департамент „Природни науки”
e-mail: rberberova@nbu.bg*

Ключови думи: статистически данни, кризи, природни процеси и явления, България

Резюме: Статията представя резултати от проучване и интерпретация на официални статистически данни за настъпили кризи на територията на България за десетгодишен период от време. Използват се публикувани данни от Националния статистически институт за периода 2010 – 2019 г. Резултатите показват, че кризите, причинени от природни процеси и явления, заемат трето място с очертаваща се тенденция на намаляване в тяхната поява. Наводненията, бурите и свлачищата са причинили най-голям брой природни кризи. Установява се необходимост от публикуване на по-подробни данни, за да могат да се проследят по-добре определени зависимости.

INTERPRETATION OF STATISTICAL DATA FOR NATURAL CRISES ON THE TERRITORY OF BULGARIA FOR A TEN-YEAR PERIOD

Ralitza Berberova

*New Bulgarian University, Natural Sciences Department
e-mail: rberberova@nbu.bg*

Keywords: statistical data, crises, natural processes and phenomena, Bulgaria

Abstract: The paper presents the results of research and interpretation of official statistical data for natural crises occurred in Bulgaria for a decade. Data used are based on National Statistical Institute and observing the period 2010 – 2019. Results show that the crises caused by natural processes and phenomena stay on third position. There is a downward trend in these crises. Floods, storms and landslides have caused the largest number of natural crises. There is a need to publish more detailed data so that certain dependencies can be better traced.

Въведение

Естествени атмосферни, хидроложки и геоложки процеси и явления, или комбинация от такива, могат да бъдат определени като природни бедствия и да породят криза в зависимост от силата и честотата на тяхното проявление, мястото и времето. Колкото даден район, в който се проявяват е по-гъсто населен и стопански развит, толкова по-сериозни са последиците от появата на подобни събития [1-3].

Тези явления и процеси не са равномерно разпространени – има райони, които са по-уязвими и рискови по отношение на появата на наводнения, други – към ерозионни и свлачищни процеси, трети – към атмосферни явления като бури, торнадо, смерч и др., такива – с по-висока сеизмична активност и т.н. [4-12]. Природните бедствия често са обвързани помежду си естествени процеси и явления – например, продължителни и/или интензивни дъждове могат да доведат до появата на наводнения, както и до активизирането на нови или стари свлачищни процеси; появата на земен трясък в свлачищен район може да го активизира; силно земетресение във воден обект може да предизвика вълна цунами; падане на мъглицата в горски или полски масив може да предизвика пожар; рязко покачване на температурите в район със снежна покривка може да доведе до бързо снеготопене и наводнение и т.н. [13-15].

Кризис от природен характер засягат България всяка година [14-19]. Целта на разработката е да се интерпретират данни за настъпили в страната ни кризи за десетгодишен период от време.

Обект и метод

Обект на проучване са настъпили в България кризи от природен характер за периода 2010 – 2019 г. Интерпретирани са официални данни, публикувани от Националния статистически институт (НСИ) в Секция „Регионална статистика и показатели за мониторинг“, подсекция „Кризисни събития“ [20].

За целта на настоящото проучване кризите са систематизирани по причина за тяхната поява, както следва:

- ✓ *Природни бедствия* – тук са отнесени свлачища; земетресения; наводнения; бури, торнадо, смерч, вихрушка; градушки; снежни бури, снегонавявания; залежавания, измръзвания; засушавания;
- ✓ *Пожари* – от всякакъв характер. Важно е да се има предвид, че част от пожарите може да са следствие на естествени причини (самозапалване при високи температури на средата или продължително засушаване, падане на мълния и т.н.) и е редно да бъдат отнесени в групата на природните бедствия. От представените в НСИ данни подобно разграничаване не е възможно, поради което те остават в общата група на пожарите;
- ✓ *Аварии и катастрофи* – аварии и катастрофи с превозни средства;
- ✓ *Замърсявания* – химически замърсявания, с битови и опасни отпадъци и др.;
- ✓ *Други кризи от природен и антропогенен характер* – в тази група са включени причини, различни от посочените до момента, както и епидемии по хора и животни, каламитет, които биха могли също да се причислят в известна степен към тези с природен характер.

Резултати и дискусия

Общият брой настъпили кризи в България за периода 2010 – 2019 г. е 42 414 съгласно данните от НСИ (Табл. 1).

За разглеждания период най-голям относителен дял заемат кризите, появили се вследствие на аварии и катастрофи (46,02 %), следвани от тези, причинени от пожари – 38,90 %. Природните бедствия са провокирали появата на 6 125 кризи или в процентно съотношение – 14,44 %, което ги поставя на трето място. Най-малък дял заемат кризите вследствие на замърсявания (0,32 %) и групата на други кризи от природен и антропогенен характер (0,33%).

Важно е да се отбележи, че относителният дял на кризите от природен характер е по-висок от посочения, тъй като: 1) част от пожарите може да са по естествени причини и 2) трябва да се вземат предвид и част от събитията в групата „Други кризи от природен и антропогенен характер“. Трябва да се обърне внимание и на факта, че от така представените данни в НСИ не може да се проследи дали проявата на един процес или явление, провокира една или повече кризисни ситуации – т.е. появата на едно природно бедствие може да засегне няколко общини, а оттам и повече от една кризисна ситуация.

Таблица 1. Брой кризи за периода 2010 – 2019 г. по причина за тяхната поява

Група	Брой кризи
Природни бедствия	6125
Пожари	16498
Аварии и катастрофи	19517
Замърсявания	134
Др. кризи от природен и антропогенен характер	140
ОБЩО	42414

В Таблица 2 са представени обобщените данни за броя кризи по вид на природния процес или явление, което е довело до тях. Най-голям относителен дял заемат кризите, причинени от наводнения (56,05 %). Бури, торнадо, смерч и вихрушка (12,91 %) и свлачищата (10,11 %) заемат второ и трето място. Най-малък дял се пада на кризите, причинени от земетресения (0,83 %), но въпреки това рискът от тях е много сериозен, тъй като страната ни се намира в силносеизмичен район [4-5]. Останалите природни бедствия са както следва: снежни

бури и снегонавявания – 9,44 %, залежавания и измръзвания – 7, 23 %, градушки – 1,88 % и засушавания – 1,55 %.

Таблица 2. Брой кризи за периода 2010 – 2019 г. по вид природно бедствие

Вид природно бедствие	Брой кризи
Свлачища	619
Земетресения	51
Наводнения	3433
Бури, торнадо, смерч, вихрушка	791
Градушки	115
Снежни бури, снегонавявания	578
Залежавания, измръзвания	443
Засушавания	95
ОБЩО	6125

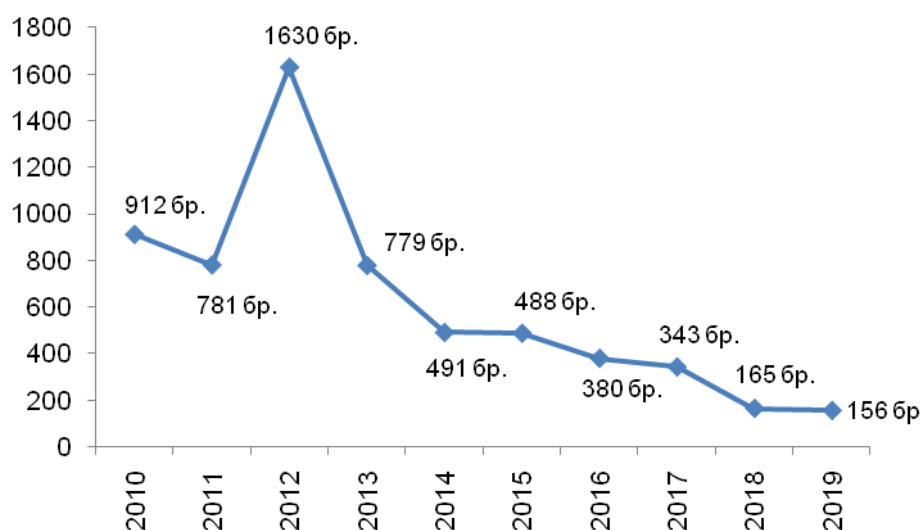
При отнасяне на разглежданите природни процеси и явления в три условни класификационни групи на природните опасности – геоложки, хидроложки и метеорологични [1, 2, 4, 5] (Табл. 3), се формира следното разпределение: кризите, причинени от геоложки опасности заемат 10,94 %; хидроложките, които са представени само от наводнения - 56,05 %; метеорологичните – 33,01 %.

Таблица 3. Брой кризи събития по класификационни групи за периода 2010 – 2019 г.

Група природно бедствие	Брой кризи
Геоложки (свлачища и земетресения)	670
Хидроложки (наводнения)	3433
Метеорологични (бури, торнадо, смерч, вихрушка, градушки, снежни бури, залежавания, засушавания)	2022
ОБЩО природни бедствия	6125

От Табл. 3 се вижда, че за проучените десет години малко над 89 % от кризите с природен характер в България се дължат на хидроложки и метеорологични процеси и явления. Както споменахме и в началото, отделните природни процеси и явления си взаимодействат, като едно такова събитие може да провокира или да допринесе за появата на друго. Това би могло да обясни факта, че кризите от наводнения са най-много. От една страна, България има гъста речна мрежа, излаз на море, езера и голям брой язовири и микроязовири. От друга страна, по брой кризите, причинени от бури, торнадо, смерч и вихрушка заемат второ място. Знаем, че тези атмосферни явления често се проявяват с интензивни и/или продължителни дъждове, което води до повишаване на нивото на водите в реки, езера и язовири, а оттам и до поява на наводнения вследствие на тяхното преливане и/или нарушение в хидротехническите съоръжения (диги, язовирни стени). Рязко покачване на температурите, понякога придружено и с дъждове, при наличие на снежна покривка, води до бързо снеготопене, което също е предпоставка за поява на наводнения. От така публикуваните в НСИ данни обаче, не може да се потърси зависимост в тези предположения, тъй като липсват данни за всички настъпили кризи от природен характер по брой, година и място на тяхната поява. Например, въз основа на публикувани данни на НСИ за брой кризи, причинени от наводнения и свлачища по области за периода 2010 – 2014 г., е установена корелация, която потвърждава, че наводненията при определени условия могат да активизират свлачищни процеси [13]. За момента публикуваните данни в официалната интернет страница на НСИ дават обобщена информация за броя настъпили кризи по години, като за отделна година могат да се проследят обобщени данни по области само за наводненията, пожарите, свлачищата и земетресенията [20]. При публикуване на по-конкретни данни има възможност да се потърсят зависимости и съответно резултатите ще бъдат по-коректни. Например, информацията, която подават общинските администрации ежегодно към НСИ за настъпили кризи и причините за тях на съответната територия, освен обобщена по области, би могла да бъде публикувана за отделните общини, което намалява териториалния обхват и би довело до по-точни резултати при интерпретацията на данните. Колкото по-точна информация има за честотата в появата на кризите, причините за тях,

местоположението им, установени взаимовръзки на процесите и явленията, толкова по-добре те могат да бъдат управлявани, което ще доведе до намаляване на последиците от тях.



Фиг. 1. Брой кризи от природни бедствия в България по години за периода 2010 – 2019 г.

Въз основа на данните от Фиг. 1, може да се очертае тенденция в посока намаляване на кризите от природен характер. Това може да се дължи на спад в появата на природни бедствия, по-добра превантивна дейност от страна на отговорните институции, проблем в процеса на натрупване и обработване на данните (липса на данни, неточни и/или непълни данни, промяна в методиката и др.). Това показва, че е необходимо да се потърси механизъм за по-коректна и устойчива във времето отчетност с цел натрупване на по-пълни и качествени данни за тези събития, процеси и явления.

Заклучение

Резултатите от интерпретацията на данните от НСИ за възникнали кризи в България за десетгодишния период от 2010 до 2019 г. показват, че:

- Природните процеси и явления заемат трето място като причина за появата на кризи в страната ни;
- Наводненията причиняват над 56 % от кризите с природен характер, следвани от бурите и свлачищните процеси;
- Има тенденция на спад в появата на кризи от природен характер;
- Непубликуването на по-подробни данни прави невъзможно проследяването на определени зависимости между отделните природни процеси и явления, породили кризи в страната ни.

В заключение може да се обобщи, че публикуването на по-пълни и устойчиви във времето официални данни за кризите от природен характер в страната ни, ще позволи тяхната по-точна и разностранна интерпретация. Получените от нея резултати ще са по-изчерпателни и приложими в превенцията от тези събития.

Благодарности: Настоящата работа е осъществена в Лаборатория по природни бедствия и рискове към Бакалавърски факултет на Нов български университет.

Литература:

1. Мардиросян, Г., 2020. Природни бедствия и екологични катастрофи – изучаване, превенция, защита. София: Академично издателство „Проф. М. Дринов”.
2. Мардиросян, Г., Б. Рангелов, А. Близнаков, 2011. Природни бедствия – възникване, последици, защита. София: АВИТ КОНСУЛТ.
3. Гецов, П., 2014. Национална аерокосмическа система за мониторинг и защита от природните екокатастрофи. София: Акад. издат. „Проф. Марин Дринов”
4. Геоложката опасност в България, карта в М 1:500 000
5. Илиев-Бручев И. (ред.). 1994. Геоложката опасност в България. Обяснителен текст към карта в М 1:500 000. Изд. на БАН

6. 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/>
7. 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/>
8. Министерство на регионалното развитие и благоустройството, Регистър свлачищата в България, <http://geozashtita.bg/>
9. Геозащита Перник, <http://gz-pernik.mrrb.government.bg/map/>, посетен на 11.10.2020 г.
10. Геозащита Варна, <http://gz-varna.mrrb.government.bg/map2/>
11. Геозащита Плевен, <http://gz-pleven.mrrb.government.bg/map2/>
12. Национална програма за превенция и ограничаване на свлачищата на територията на Република България, ерозията и абразията по Дунавското и Черноморското крайбрежие 2015-2020 г.
13. 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.
14. 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.
15. Берберова, Р. 2012. Природни бедствия в България – състояние и тенденции. НБУ. 147 с. ISBN 978-954-535-699-5.
16. 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.
17. 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*
18. 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)
19. 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)
20. Национален статистически институт, <https://nsi.bg>

НАМАЛЕНИ ПОЧВООБРАБОТКИ В БИОЛОГИЧНОТО ЗЕМЕДЕЛИЕ

Милен Чанев

Институт по земеделие – Карнобат, Селскостопанска академия България
отдел „Растителна защита и технологии“
email: m_apiaster@abv.bg

Ключови думи: *reduced tillage systems, no-till, organic farming*

Резюме: Намалените почвообработки в биологично земеделие датират от началото на 50 -те години, когато Rusch развива своите идеи. Може да се каже, че са възприети два подхода към консервационните почвообработки - Северно Американски и Европейски. Изследванията в Северна Америка са насочени главно върху нулевите почвообработки, като този тип почвообработки почти не се практикува в Европа, а тези в Европа са насочени върху намалената обработка на почвата чрез намаляване на дълбочината на обработка или прилагането на неинверсионни практики за обработка на почвата. Основните проблеми са свързани с контрола на заплевяването, усвояването на хранителните вещества, както и добивите. Системите с нулева и намалената обработка на почвата се считат за устойчиви варианти за консервационна на почвообработка. Дългосрочното прилагане на намалените почвообработки са ефективна стратегия за намаляване на емисиите на парниковите газове в сравнение с конвенционалната почвообработка, подобрява се структурата на почвата, благоприятства усвояването на CH₄ и инхибиране на емисиите на N₂O.

REDUCED TILLAGE IN ORGANIC FRMING

Milen Chanev

Institute of Agriculture - Karnobat, Agricultural Academy Bulgaria
Department of „Plant Protection and Technology“
email: m_apiaster@abv.bg

Keywords: *reduced tillage systems, no-till, organic farming*

Abstract: *Reduced start-up processing in organic farming dates back to the early 1950s, when Rusch developed his ideas. It can be said that two approaches have been taken to conservation start-up processing - North American and European. Research in North America focuses mainly on zero soil processing, with this type of soil treatment barely practised in Europe, and those in Europe focusing on reduced soil treatment by reducing the depth of processing or applying non-inverting soil treatment practices. The main problems are related to the control of entanglement, absorption of nutrients, as well as yields. No-till and reduced till soil treatment systems are considered sustainable soil conservation options. Long-term implementation of reduced soil treatments is an effective strategy to reduce greenhouse gas emissions compared to conventional soil processing, improve soil structure, favour CH₄ absorption and inhibit N₂O emissions.*

Въведение

Намалените почвообработки в биологично земеделие датират от началото на 50-те години, когато Rusch развива своите идеи. Rusch (1968) развива тезата, че е необходимо да се имитира стабилна, естествена екосистема и счита, че всеки почвен слой има своя адаптирана биоценоза, която не трябва да се нарушава от дълбока инверсионна оран. Основната концепция на фермерите от това време, които са обработвали земята по биологичен начин е била „плитка оран и дълбоко разрохкване“ (Mäder & Berner 2011). Van Kessel et al., (2012) считат, че в агроценозите се насърчават практики за управление без почвообработка и намалена почвообработка, като целта е да се намали ерозията, да се натрупа допълнителен въглерод (C) и да се намалят производствените разходи. Консервационните системи, с нулева и намалена

обработка на почвата, се считат за най-устойчиви. Този тип на управление на почвите се смята за по-устойчива от конвенционалната система и поради тази причина всяка година площите се увеличават с около 10.5 милиона хектара (Kassam et al., 2019), които преминават в система на намалени и/или нулеви почвообработки (Peixoto et al. 2020). Най-общо може да се каже, че са възприети два подхода към консервационни почвообработки - Северно Американски и Европейски. Изследванията в биологично земеделие в Северна Америка са насочени главно върху нулевите почвообработки, като те почти не се практикуват в Европа (Soane et al. 2012), а тези в Европа са насочени към намалената обработка на почвата чрез намаляне на дълбочината на обработка или прилагането на неинверсионни практики за почвообработка (Mäder & Berner 2011). Тези нововъведения често идват от земеделските производители, целящи да намалят входящите ресурси за стопанството, като спестяване разходите за гориво и труд и в същото време повишават плодородието на почвата (Mäder & Berner 2011).

Материал и метод

В настоящото изследване е направен обзор и е приложен сравнителен анализ на статии, доклади и материали, публикувани в интернет в следните научни база данни Scopus, ResearchGate, Google Scholar, OrganicEprints. При търсене в научните и специализирани база данни е използвана комбинация от ключови думи с логически заявки за периода от началото на 60-те години на миналия век до 2021 г. Основните ключови думи на латиница, които са ползвани са: "reduced tillage systems", "no-till" AND "organic farming", "reduced tillage systems", "no-till" AND "weed control", "pest control", "reduced tillage" AND "yields".

Резултати

В Европа най-често система на намалени почвообработки се прилага като се извършва култивиране и/или дисковане на малка дълбочина преди засаждане на културата, като това се използва главно при зърнени култури и маслодайна рапица (Melander, B., et al., 2013). Този тип плитка обработка на почвата може да улесни засяването на по-голяма площ от култури по-близо до оптималните дати през есента и през пролетта, което спестява разходи за гориво и труд (Cannell, 1985;). Като основни проблеми, които стоят пред земеделските производители, които желаят да преминат в системата на намалените почвообработки са уплътняване на почвата (Blanco-Canqui и Ruis, 2018; Peixoto et al., 2019a; Reichert et al., 2009), управление на плевелите (Bajwa, 2014; Dang et al., 2015a, Dang et al., 2015b ; Nichols et al., 2015) и стратификация на почвения органичен въглерод и хранителни вещества (Barth et al., 2018; Blanco-Canqui and Wortmann, 2020; Cade-Menun et al., 2010; Peixoto et al. 2020).

Факторите, които могат да повлияят на успешното прилагане на намалените почвообработки могат да се разделят на две групи агрономически и екологични (Soane et al. 2012). Избора за типа на почвообработката на земеделските производители, ще бъдат продиктуван предимно от агрономически фактори и големината на стопанството. Счита се че големите стопанства са по-подходящи за прилагане на нулеви или намалени почвообработки (Cannell, 1985; Morris et al., 2010; Soane et al. 2012).

Както биологичното земеделие, така и намалените почвообработки предоставят много ползи, както по отношение на почвеното плодородие, така и на биоразнообразието (Mäder, P., et al 2002; Mäder & Berner 2011; Triplett & Dick 2008).

Системата за биологично земеделие се различава фундаментално по нивото на почвеното плодородие, по борбата с вредителите, болестите и плевели и има по-високи изисквания за качеството на продукцията и стабилността на добивите в сравнение с конвенционалното земеделие (Lammerts van Bueren, E., et al., 2002). В биологичното земеделие не се допускат минерални торове, както и пестициди и основната цел е да се поддържа постоянно затворен хранителен цикъл във фермите, да се защитят качеството на околната среда и да се подобрят благоприятните биологични взаимодействия и процеси (Altieri, 1995).

Друг много важен аспект при биологично отглежданите културите е поддържането на почвеното плодородие и ползите, които то дава на почвата, на растенията и на качеството на произведената продукция. Дефицитът на азот (N) е основен проблем в системите за биологично земеделие (Alagu et al., 2017). Методите на култивиране в биологичното земеделие, разнообразните ротации на културите и прилагане на органичен тор, имат дългосрочен ефект, особено върху физичните, биологичните и микробните параметри на почвите (Raupp, J., et al, 2006). Дългосрочното приложение на животински тор подобрява качеството на почвата, натрупва се повече органична материя и микробна биомаса, като така се подобрява кръговрата на хранителни вещества в тази система на земеделие (Birkhofer, K., et al., 2008). Почвата в биологично земеделие има значително по-високо съдържание на органични вещества, по-мощен

почвен хоризонт, по-високо съдържание на органичен въглерод, по-нисък модул на разрушаване и по-малко ерозия в сравнение с почвата в конвенционалното земеделие. Редица проучвания показват, че системите за биологично земеделие редовно водят до положителен азотен (N) баланс (т.е. входът е по-голям от износа) (Watson et al., 2002; Pappa et al., 2006).

Едновременно с това съществуват и достатъчно данни, които сочат, че намаляването на интензивността на използване и прилагането на намалени почвообработки в системата на биологичното земеделие повишава устойчивостта и качеството на почвата и я предпазва от ерозия (Bernier et al., 2008; Carter, M., 1992; Krauss, M., 2017; Stockdale et al., 2006). Това се подкрепя и от факта, че при системите за намалени почвообработки органичният въглерод, микробната активност и структурата на почвата се подобряват в горния почвен слой в сравнение с изораните почви (Feng, et al., 2018; Mäder & Bernier 2011; Ussiri, et al., 2009). В допълнение може да се добави и факта, че в повърхностният почвен слой на системите с намалени почвообработки относително бързо се натрупват органични вещества (Carter, M., 1991; Carter, M., 1992). При проведен десет годишен експеримент, свързан с намалени почвообработки в биологично земеделие Armengot et al., (2014) установяват, че намалената обработка на почвата не се отразява на добивите в сравнение с конвенционалната и поддържа нивото на заплевяване във фермата на приемливи нива.

Предимства и проблеми на системите за намалени почвообработки

Управлението на плевелите е основен проблем на системите за намалени почвообработки, тъй като екологията и динамиката на плевелите са различни от тези в конвенционалните системи за обработка на почвата. Неправилно съставените сеитбообращения и натрупването на растителни остатъци намалява алелопатичните и физическите ефекти върху плевелите (Bajwa, 2014; Chauhan et al., 2012; Lee and Thierfelder, 2017; Nichols et al., 2015; Peixoto et al. 2020). Установено е, че многогодишните плевели са най-големия проблем в системата на намалените почвообработки, когато тя се прилага при отглеждане на зърнени култури (Cannell 1985; Melander, B., et al., 2013). Melander, B., et al., (2013) предлага борбата със заплевяването в тези случаи да се извършва чрез разнообразни сеитбообращения, използване на покривни култури, използване на различни стратегии за управление на стърнищата, както и прилагане на методи които да подсилват растежа на културите спрямо плевелите. По отношение на дългосрочното приложение на намалените почвообработки в биологичното земеделие и защитата от заплевяване Melander, B., et al., (2013) счита, че най-голям проблем е появата и борбата с многогодишните плевели. Според същия автор (Melander, B., et al., 2013) е необходимо провеждане на по нататъшни проучвания по отношение на борбата с плевелите в системите на намалените почвообработки в биологично земеделие. Успехът при борбата с вредителите в системите за намалени почвообработки зависи от комплекса от агротехническите мероприятия, които се използват в комбинация с намалената обработката на почвата. Murell (2020) предлага борбата с вредителите в системите на намалени почвообработки да се извършва чрез съставяне на подходящи сеитбообращения, използването на устойчиви на вредители сортове, използване на различни дати на засяване и прибиране на реколтата, задържане на растителните остатъци и сеитба на междинни култури. Това са алтернативни практики, които са напълно интегрирани със системите за намалени почвообработки и биологичното земеделие. Baldivieso-Freitas et al., (2015), както и Peixoto et al. (2020) стигат до извода, че намалените почвообработки в комбинация с торене с оборски тор не влияят отрицателно на добивите при зърнено-житни култури. Mäder & Bernier (2011) съобщават за по-ниските добиви в някои случаи и повишаване нивото на заплевяване. Също според тях често не е възможно да се определи дали и до каква степен намаляването на добива се дължи на конкуренцията с плевели или на недостиг на азот, поради забавената азотна минерализация през пролетта в системи за намалени почвообработки. Според Buchi et al. (2018) при правилен подбор на покривната култура дори при употребата и само за два месеца, тя би могла да увеличи драстично съдържанието на органичен въглерод и на общ азот в почвата, когато покривната култура се засява между две реколти на зимна пшеница, като тя поддържа заплевяването ниско дори и в условията на намалени почвообработки. Същият автор счита, че е най-удачно употребата на бобова култура в комбинация с редуцирана почвообработка. Според Mäder & Bernier (2011) в Европа системите за намалени почвообработки винаги се комбинират с прилагане на оборски тор и фуражни култури. Особено предизвикателство за системата за биологично земеделие е да се проучи до каква степен намалените почвообработки могат да повишат почвеното плодородие, без да се дисбалансира друг аспект на управлението, като борба с плевелите (Stockdale et al., 2006). Може да се каже, че намалената обработка на почвата може да осигури еквивалентни и дори по-високи добиви в сравнение с конвенционалната обработка на почвата при биологичното земеделие, ако управлението на плевелите се подобри и се осигури добро подхранване с оборски тор (Hofmeijer

et al., 2019; Mäder & Berner 2011). Намлените почвообработки подобряват физическите свойства на почвата с течение на времето и взимайки предвид това и факта, че повишават органично вещество (Carter, M., 1992), те увеличават, както почвената устойчивост, така и устойчивостта на ерозия (Kay, B., 1990; Soane, B., 1990; Carter, M., 1992), водят до намаляване на уплътняването на почвата (Ball, B., et al., 1988) и да подобри макропорьозността на почвата (Carter, M., et al., 1990). В дългосрочен план системата за биологично земеделие в комбинация с намалени почвообработки е по-ефективна от традиционната селскостопанска система по отношение намаляване на почвената ерозия и поддържане на производителността на почвата, както и за по-ефективно използване на ресурсите, което от своя страна да доведе до допълнителни ползи, както за околната среда, така и за хората (Reganold, J., et al 1987; Gadermaier, F., et al., 2012). Дългосрочното прилагане на практиките на нулевите и/или намалените почвообработки са ефективна стратегия за намаляване на емисиите на парниковите газове - CH₄ и N₂O в сравнение с конвенционалната почвообработка (Feng, et al., 2018; Six, et al., 2004; Van Kessel, et al., 2012). Друг аспект на дългосрочното прилагане на нулевите и/или намалените почвообработки е, че се подобрява структурата на почвата и следователно благоприятства усвояването на CH₄ и инхибиране на емисиите на N₂O (Feng, et al., 2018; Ussiri, et al., 2009;).

Заклучение

Консервационните системи, с нулева и намалена обработка на почвата, се считат за по-устойчиви в сравнение с конвенционалните системи за почвообработка. Поради тази причина все повече фермери преминават в система на намалени и/или нулеви почвообработки. Тези системи са предпочитани от фермерите, които обработват големи площи поради факта, че чрез тях те успяват да спестяват от разходите за гориво и труд и в същото време повишават плодородието на почвата. В Европа най-често тези системи на почвообработки се прилага като се извършва култивиране и/или дисковане на малка дълбочина преди засаждане на културата, като се използват главно при зърнени култури и маслодайна рапица. Използване и прилагането на намалени почвообработки в системата на биологичното земеделие повишава устойчивостта и качеството на почвата и я предпазва от ерозия.

Основните проблеми в системите за намалени почвообработки са уплътняване на почвата, управление на плевелите и неприятелите, както и стратификация на почвения органичен въглерод и хранителни вещества. Борбата с плевелите и неприятелите се извежда чрез съставяне на подходящи сеитбообращения, използването на устойчиви на вредители сортове, използване на различни дати на засяване и прибиране на реколтата, задържане на растителните остатъци и сеитба на междинни и покривни култури.

Друг много важен аспект е, че дългосрочното прилагане на практиките на нулевите и/или намалените почвообработки са ефективна стратегия за намаляване на емисиите на парниковите газове в сравнение с конвенционалната почвообработка

Благодарности

Автора изказва своите благодарности към доц. д-р Васелина Манев от ИЗ-Карнобат, ССА за насоките и напътствията, които му даваше при съставянето на този доклад!

Литература:

1. Alaru, M., L. Talgre, A. Luik, B. Tein, V. Ereemeev, E. Loit, 2017. Barley undersown with red clover in organic and conventional systems: nitrogen aftereffect on legume growth. *Zemdirbyste-Agriculture*, vol. 104, No. 2 (2017), p. 131–138, ISSN 1392-3196, e-ISSN 2335-8947, DOI 10.13080/z-a.2017.104.017
2. Armengot, L., Berner, A., Blanco-Moreno, J. M., Mäder, P., & Sans, F. X. (2014). Long-term feasibility of reduced tillage in organic farming. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(1), 339–346. doi:10.1007/s13593-014-0249-y
3. Bajwa, A. A., 2014. Sustainable weed management in conservation agriculture. *Crop Prot.* 65, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.07.014>.
4. Ball, B. C., Lang, R. W., O'Sullivan, M. F. and Franklin, M. F., (1988). Cultivations and nitrogen requirements for continuous winter barley on a gleysol and a cambisol. *Soil Tillage Res.*, 13: 333–352.
5. Baldovino-Freitas, P.; Armengot, L. and Sans, F.X. (2015) A1-512 Efecto del laboreo mínimo sobre el rendimiento, la abundancia de la flora arvense y el balance energético y económico en una rotación de espelta, garbanzos y trigo en la Región Mediterránea. Paper at: V CONGRESO LATINOAMERICANO DE AGROECOLOGIA SOCLA, La Plata, Argentina, 5-6 October, 2015.
6. Berner, A., I. Hildermann, A. Fließbach, L. Pfiffner, U. Niggli, P. Mäder, 2008. „Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. *Soil and Tillage Research*, 101(1-2), 89–96. doi:10.1016/j.still.2008.07.012

7. Birkhofer, K., Bezemer, T. M., Bloem, J., Bonkowski, M., Christensen, S., Dubois, D., Ekelund, F., Fließbach, A., Gunst, L., Hedlund, K., Mader, P., Mikola, J., Robin, Ch., Setälä, H., Tatin-Froux, F., Van der Putten, W., Scheu, S. (2008). Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(9), 2297–2308. doi:10.1016/j.soilbio.2008.05.007
8. Blanco-Canqui, H., Ruis, S.J., 2018. No-tillage and soil physical environment. *Geoderma* 326, 164–200. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011>.
9. Blanco-Canqui, H., Wortmann, C.S., 2020. Does occasional tillage undo the ecosystem services gained with no-till? A review. *Soil Tillage Res.* 198, 104534. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104534>.
10. Barth, V. P., Reardon, C. L., Coffey, T., Klein, A. M., McFarland, C., Huggins, D. R., Sullivan, T. S., 2018. Stratification of soil chemical and microbial properties under no-till after liming. *Appl. Soil Ecol.* 130, 169–177. <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2018.06.001>.
11. Cade-Menun, B. J., Carter, M. R., James, D. C., Liu, C. W., 2010. Phosphorus forms and chemistry in the soil profile under long-term conservation tillage: a phosphorus-31 nuclear magnetic resonance study. *J. Environ. Qual.* 39, 1647–1656. <https://doi.org/10.2134/jeq2009.0491>
12. Cannell, R. Q. (1985). Reduced tillage in north-west Europe—A review. *Soil and Tillage Research*, 5(2), 129–177. doi:10.1016/0167-1987(85)90028-5
13. Carter, M. R., (1990). Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. *Can. J. Soil Sci.*, 70: 425–433.
14. Carter, M. R., (1991). Influence of tillage on the proportion of organic carbon and nitrogen in the microbial biomass of medium textured soils in a humid climate. *Biol. Fertil. Soils*, 11:135- 139.
15. Carter, M. R. (1992). Influence of reduced tillage systems on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of the surface soil in a humid climate. *Soil and Tillage Research*, 23(4), 361–372. doi:10.1016/0167-1987(92)90081-I
16. Chauhan, B. S., Singh, R. G., Mahajan, G., 2012. Ecology and management of weeds under conservation agriculture: a review. *Crop Prot.* 38, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.010>.
17. Dang, Y. P., Moody, P. W., Bell, M. J., Seymour, N. P., Dalal, R. C., Freebairn, D. M., Walker, S. R., 2015a. Strategic tillage in no-till farming systems in Australia's northern grainsgrowing regions: II. Implications for agronomy, soil and environment. *Soil Tillage Res.* 152, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.12.013>.
18. Dang, Y. P., Seymour, N. P., Walker, S. R., Bell, M. J., Freebairn, D. M., 2015b. Strategic tillage in no-till farming systems in Australia's northern grains-growing regions: I. Drivers and implementation. *Soil Tillage Res.* 152, 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.03.009>.
19. Feng, J., Li, F., Zhou, X., Xu, C., Ji, L., Chen, Z., & Fang, F. (2018). Impact of agronomy practices on the effects of reduced tillage systems on CH₄ and N₂O emissions from agricultural fields: A global meta-analysis. *PLOS ONE*, 13(5), e0196703. doi:10.1371/journal.pone.0196703
20. Hofmeijer, M., M. Krauss, A. Berner, J. Peigné, P. Mäder, L. Armengot, 2019. "Effects of Reduced Tillage on Weed Pressure, Nitrogen Availability and Winter Wheat Yields under Organic Management", *Agronomy*, 9(4), 180. doi:10.3390/agronomy9040180
21. Gadermaier, F., Berner, A., Fließbach, A., Friedel, J., and Mäder, P. 2012. Impact of reduced tillage on soil organic carbon and nutrient budgets under organic farming. *Renewable Agriculture and Food Systems* 27:68–80.
22. Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R., 2019. Global spread of conservation agriculture. *Int. J. Environ. Stud.* 76, 29–51. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1494927>.
23. Kay, B. D., (1990). Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil Sci.*, 12: 1-52.
24. Krauss, M., Ruser, R., Müller, T., Hansen, S., Mäder, P., & Gattinger, A. (2017). Impact of reduced tillage on greenhouse gas emissions and soil carbon stocks in an organic grass-clover ley - winter wheat cropping sequence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 239, 324–333. doi:10.1016/j.agee.2017.01.029
25. Lammerts van Bueren, E. T., Struik, P. C., & Jacobsen, E. (2002). Ecological concepts in organic farming and their consequences for an organic crop ideotype. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 50(1), 1–26. doi:10.1016/s1573-5214(02)80001-x
26. Lee, N., Thierfelder, C., 2017. Weed control under conservation agriculture in dryland smallholder farming systems of southern Africa. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37, 48. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0453-7>.
27. Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., and Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296:1694–1697.
28. Mäder, P., & Berner, A. (2011). Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 27(01), 7–11. doi:10.1017/s1742170511000470
29. Melander, B., Munier-Jolain, N., Charles, R., Wirth, J., Schwarz, J., van der Weide, R., Bonin, L., Jansen, P., Kudsk, P. (2013). European Perspectives on the Adoption of Nonchemical Weed Management in Reduced-Tillage Systems for Arable Crops. *Weed Technology*, 27(01), 231–240. doi:10.1614/wt-d-12-00066.1
30. Morris, N. L., Miller, P. C. H., J.H.Orson, & Froud-Williams, R. J. (2010). The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment—A review. *Soil and Tillage Research*, 108(1-2), 1–15. doi:10.1016/j.still.2010.03.004
31. Murrell, G. E. 2020. Challenges and Opportunities in Managing Pests in No-Till Farming Systems. *No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture* pp 127-140. DOI: 10.1007/978-3-030-46409-7_8
32. Nichols, V., Verhulst, N., Cox, R., Govaerts, B., 2015. Weed dynamics and conservation agriculture principles: a review. *Field Crops Res.* 183, 56–68. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.012>.

33. Pappa, V., R. Rees, C. Watsaon. 2006. "Nitrogen transfer between clover and wheat in an intercropping experiment", *Aspects of Applied Biology* 79, 2006, pp. 291–295.
34. Peixoto, D. S., Silva, B.M., de Oliveira, G.C., Moreira, S.G., da Silva, F., Curi, N., 2019a. A soil compaction diagnosis method for occasional tillage recommendation under continuous no tillage system in Brazil. *Soil Tillage Res.* 194, 104307. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104307>.
35. Peixoto, D. S., de Castro Moreira da Silva, L., de Melo, L. B. B., Azevedo, R. P., Araújo, B. C. L., de Carvalho, T. S., Moreira, S., Curi, N., Silva, B. M. (2020). Occasional tillage in no-tillage systems: A global meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 140887. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.1408
36. Raupp, J., C.Pekrun, M. Oltmanns, U. Köpke, 2006."Long Term Field Experiments in Organic Farming", ISOFAR Scientific Series, no. 1. Verlag Dr. Köster, Berlin,p.183.
37. Six, J., Ogle, S. M., Jay breidt, F., Conant, R. T., Mosier, A. R., & Paustian, K. (2004). The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term. *Global Change Biology*, 10(2), 155–160. doi:10.1111/j.1529-8817.2003.00730.x
38. Soane, B. D., (1990). The role of organic matter in soil compactability: A review of some practical aspects. *Soil Tillage Res.*, 16:179–201.
39. Soane, B. D., B. C. Ball, J. Arvidsson, G. Basch, F. Moreno, and J. RogerEstrade. 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: a review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil Tillage Res.* 118:66–87, <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.015>
40. Stockdale, E., L. Philipps, C. Watsan, 2006. "Impacts of farming practice within organic farming systems on below-ground ecology and ecosystem function", *Aspects of Applied Biology* 78, 2006, pp. 43–46.
41. Reganold, J. P., Elliott, L. F., & Unger, Y. L. (1987). Long-term effects of organic and conventional farming on soil erosion. *Nature*, 330(6146), 370–372. doi:10.1038/330370a0
42. Reichert, J. M., Suzuki, L.E.A.S., Reinert, D.J., Horn, R., Håkansson, I., 2009. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil Tillage Res.* 102, 242–254. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002>.
43. Rusch, H. P. 1968. Bodenfruchtbarkeit. Eine Studie Biologischen Denkens. Haug, Heidelberg, Germany
44. Triplett, G.B. and Dick, W.A. 2008. No-tillage crop production: a revolution in agriculture! *Agronomy Journal* 100:153–165.
45. Ussiri, D. A. N., Lal, R., & Jarecki, M. K. (2009). Nitrous oxide and methane emissions from long-term tillage under a continuous corn cropping system in Ohio. *Soil and Tillage Research*, 104(2), 247–255. doi:10.1016/j.still.2009.03.001
46. Van Kessel, C., Venterea, R., Six, J., Adviento-Borbe, M. A., Linquist, B., & van Groenigen, K. J. (2012). Climate, duration, and N placement determine N₂O emissions in reduced tillage systems: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 19(1), 33–44. doi:10.1111/j.1365-2486.2012.02779.x
47. Watson, C. A., Atkinson D., Gosling P., Jackson L. R., Rayns F. 2002. "Managing soil fertility in organic farming systems". *Soil Use and Management*, 18:239–247.

ПРОБЛЕМИ В УПРАВЛЕНИЕТО НА РИСКА ОТ ЕКОЛОГИЧНИ БЕДСТВИЯ

Деян Гочев, Елица Узунова, Иван Стоев

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: dejan@space.bas.bg; elizauzunova@gmail.com; tuba.ivan@gmail.com*

Ключови думи: бедствия, прогнози, риск

Резюме: През последните 2 години неочаквано изникнаха нови предизвикателства в областта на управлението на риска от екологични катастрофи. От една страна това са драстичните прояви на взаимосвързаност между геофизичните феномени, а от друга – сериозната неадекватност на правителствените мерки. Последни но не по-важност са опасните резултати от комбинацията им. Предложени са някои коментари относно възможни решения на разглежданите проблеми.

PROBLEMS IN THE RISK MANAGEMENT OF ECOLOGICAL DISASTERS

Deyan Gotchev, Elitza Uzunova, Ivan Stoev²

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: dejan@space.bas.bg; elizauzunova@gmail.com; tuba.ivan@gmail.com*

Keywords: disaster, forecast, risk

Abstract: In the last 2 years new challenges unexpectedly emerged in the field of ecological disaster risk management. One area is from the increased radical manifestation of the interconnectivity of geophysical phenomena. The other is due to the grave and vast incapability of government measures. The last, but not least, is about the dangerous results of their combination. Some comments are offered about possible measures.

Основни въпроси на съвременната наука са:

„Защо нашият свят е такъв?“

„Дали условията на Земята са единствено благоприятни за развитието на разума, или биологичният интелект е етап от еволюцията на разума във Вселената?“

„Дали катастрофичните процеси през историята на Земята са прекъсвали необратимо еволюция на интелект, възникнал при несъвместими с новонастъпилите условия?“

„Нормалното“ състояние в Природата е хаос.

Отворен е въпросът за определяна на параметрите, които управляват нейните структурни йерархии. Някои (вода, органични молекули) вероятно имат ендо- (вулканизъм) и екзопроизход (комети), което е свидетелство за обща схема на обмен и невъзможност да се определи казуална, абсолютна „стрела на времето“. Общото им действие (радиационно, химически катализатори и разтворители) за генериране на мутации и асиметрии (напр. хиралност) в „капсуловани“ в геологични породи след катаклизъм форми на органични полимери, създава самоподдържащи се (напр. чрез влияние на фотосинтеза върху геологичната и химична еволюция на земната кора) квазиустойчиви състояния – напр. живот. За него липсва представа за минималната му фазова размерност (минимална жизнеспособна популация) и динамика на саморазрушаващите го фактори („болести“), както и за точното предназначение на някои от управляващите параметри (напр. за ДНК-„спътниците“ се допуска, че управляват търсещи алгоритми за ускоряване и запазване на еволюцията).

Някои хора живеят с нуждата да знаят. Независимо от това, рядко се питат:

„Какво се обърка?“ „Защо?“

Обсъжданата система може взривоподобно да премине през етапите на „конфликт-криза-катастрофа“. Поради нееднозначност на катастрофичните ефекти, за някои явления обикновено са невъзможни прогнозируемост и контрол, както и разделянето на техногенни от природни причини. Внезапността на настъпване на явленията е риск заради дестабилизиране на хомеостатичната адаптация на биоценозата. Причини могат да са: тектонични премествания, изригване на неизвестен и латентен супервулкан; удар от астероид или гравитационно влияние на мигриращ планетоид, които внезапно променят скоростта и оста на земното въртене. Това би обяснило някои от резките биологични и цивилизационни промени.

През последните 15 г. са регистрирани поне 26 мулти-килотонни астероидни (NEA – near Earth asteroids) попадения в ненаселени зони на Земята, т.е. оцеляването на цивилизацията ни е „руска рулетка“.

Установяването на евентуална проявявана квази-цикличност в NEA-попаденията върху Земята, предизвикващи нарастваща честота на вулканичните изригвания и земетресения, са повлияни от явления в далечния космос. За различните периоди (4 К г. и 35 М г.) са заподозрени звезда-спътник на Слънцето, действаща като „прашка“ на кометите в облака на Оорт, и/или диск „тъмна“ материя в галактичния център, през който осцилира траекторията на слънчевата система. Последната теза е крайно спорна заради възможното теоретично вариране на „тъмните“ параметри на диска, също и заради смесения и нееднозначно ясен произход на астероидите.

Геологичната „съдба“ на Луната и Марс, на Меркурий и новооткрития край него астероиден пояс изключват „Земната уникалност“ на сблъсък. Чрез дистанционно сондиране на земната повърхност се изследват и „астропроблеми“ – кратери, създадени от сблъсък на астероиди със Земята. До момента достоверно са установени над 200; диаметърът им варира от десетки метри до стотици километри; възрастта им – от години до милиарди години, като под милион години е за тези (~15 %) с диаметър под километър поради ерозията. Не е открита зависимост в географското им разпределение, въпреки нееднозначното тълкуване на съществуването на райони с повишена концентрация. Освен кратер, сблъсъкът причинява и резки изменения в хода на енто- и екзогеологичните процеси и биологичната еволюция.

Промените в геомагнитното поле влияе на атмосферния състав (отслабването на магнитосферен екран за слънчевия вятър намалява кислородното съдържание). Възможна е корелацията между честотата на инверсията му и внезапните прекъсвания в развитието на земните флора и фауна.

Нелинейно обусловените вариации на слънчевата активност съответства на промени в интензивността на слънчевата радиация. Тя корелира с честотата на ледниковите епохи на Земята. По количеството открити в слоевете лед нитрати, образувани от слънчеви изригвания, може да се оценява и съдържанието на озон в атмосферата, чието влияние за UV-защита е известно.

Многофакторната зависимост на влиянието на слънчевата радиация върху Земята се проявява с частична корелация и с промени в ексцентricитета на земната орбита (цикли на Миланкович с предполагаеми квазипериодичности (3600 г., 12000 г., 41000 г., 100000 г., 64 млн. г.). Споменатите катастрофични явления напоследък се усложняват от открития, предполагащи: влияния от елементи на междувездната и междугалактична среда. Гама-облъчване от космически произход (взрив на свръхнова, процеси около черна дупка) еднозначно води до глобално унищожение на земния живот поради смъртоносни мутации, нарушаване на йерархии в биоценозата.

Регулиращата роля на метаболизма на микробите също е елемент от обратните връзки, екстремално повлияни от климатичните и тектонични промени. Възможен резултат са катастрофични популационни промени.

Многобройни са примерите, когато климатични промени са променяли хода на - биологичната и цивилизационна еволюция. Климатът се определя от квазиравновесното взаимодействие с различно времево влияние и периодичности на различни физически явления:

- атмосферна и океанска циркулация (~1000 г.);
- космическо лъчение, електромагнитни полета;
- слънчева активност;
- геологични промени;
- изменения на земните орбитални параметри;
- целенасочени или случайни антропо/техногенни въздействия (~100 г.).

Дже малки, незабележими събития може радикално да изменят поведението на комплексна система (напр. климат) до състояние на липса на познатия ред в природните

явления. Този хаос възниква в детерминирани свят, описван от класическата физика. Може би е показателно, че е бил случайно открит като основна характеристика на климатични процеси. Интерес е изследването на синергетичните характеристики (роля на “малки параметри”, подобие на мащаби, “прозорци на чувствителност”) за засушаването в Сахара, заледряването на Антарктида, заселването на Гренландия, “малката ледена епоха” в Европа.

Математически и термодинамично концепцията за глобална температура е абсурдна, също и да се обсъжда абсолютен постоянен тренд на глобалната температура. Статистиката е подвеждаща. Липсват коректно измерени, представителни по време масиви от наблюдателни данни, както и общовалиден физически обусловен начин за усредняване. Причината е в начина на определяне на тегловите коефициенти за различните наблюдателни точки според техните физико-географски особености. Температура се определя само за хомогенна среда. Климатът не се определя само от един вид температура. Неравномерното разпределение на нейните градиентите са първичен климатообразуващ фактор. Съществуващите данни еднозначно и напълно доказват „мозаечното“ разпределение по време, продължителност и място на периоди на относително затопляне или охлаждане по земната повърхност. Характеристиките на това разпределение засега са със спорно естество на прогностичния им потенциал. Друга причина за некоректност е са начините за определянето на средна температура. Разликата между геометрична и аритметична средни температури може да е значима за някои процеси, което да не се съблюдава предварително при избора на начина за смятане. За климатичните процеси на пренос са определящи термичните градиенти.

Потвърждават се данните (геологични и за биоразнообразие) за повторемост на внезапни, радикални изменения в климата в полярните и преходните области Според анализа на ледови кернове от последния ледников цикъл са регистрирани поне 26 квази-периодични ($T = 1470$ г., или заради хаотичен пропуск, $T = 3 - 4000$ г.) внезапни климатични промени траещи по 50-ина години. Температурата се е увеличавала с 10-ина градуса, което изменяло океанската циркулация и екосистемите. Това налага преразглеждане на представите за: обратна връзка; мащаби, честота и темпо на процеса; генериране на промени. Заради сложността и нееднозначността на климатичните модели се казва, че когато след десетилетия разберем тяхната погрешност, ще е може би късно. Предполагамата обща история на земната група планети е работна хипотеза в тяхното изучаване. То интензифицира взаимодействието на концептуално ниво (физически фактори и еволюционни сценарии) между планетарните (Марс, Венера, спътници на Юпитер) и земни климатичните модели.

Оптимизираното използване на особеностите на наблюдателните техники и комбинирането на разномасшабен времеви мониторинг и анализ биха допринесли за изясняване ролята на фактори (релефа, разположението, височината), влияещи на баланса и тренд-флуктуациите на въздушния пренос на влага. Непознаването, или пренебрегването на обратните връзки (замърсяване, изтощаване на рекреационен ресурс) в природните и икономически процеси води до деградация на околната среда и необратими нарушения в естествените цикли във водните басейни.

Заради пространствените и времеви мащаби на процесите в океана, той е значим инертен енергиен и газов резервоар, създаващ и регулиращ дълготрайни взаимоподдържащи се еволюционни трендове. За това допринасят и обеми и масите на биоценозите (химически регулатор), както и функциите му на преходна област между литосферата и атмосферата. Глобалната свързаност на промените в океанската циркулация (поради влияние на релефа и симетрични компенсирания в атмосферната циркулация) неведнъж са причинявали гибел на цивилизации в различни континенти. Например нарастващите температурни градиенти променят взаимодействието океан-атмосфера, атмосферната циркулация. В резултат възникват рушащи инфраструктурата голямомащабни солитони.

Неизбежни са промени в биоценозите. Промяната в климата влияе върху разпространението и мутирането на болестотворни агенти, които до момента са били нетипични за съответните райони. Освен от епидемии, промените в крайбрежните райони налагат нови изиквания за градско планиране. Усложняват се логистичните процедури (евакуация, застраховане, адаптация, възстановяване) за защитата на населението от природни бедствия. Непредсказуеми са резултатните финансово-икономическите глобални неравновесия в обществото.

Невъзстановяемото годишно топене на снегове и ледници нарушава връзката „воден баланс-биоценоза“, неравномерно усилва ерозията и наводненията, променя градиентите на въздушен пренос и албедото, което създава и хаотизира положителни обратни връзки. Заради фрапантни несъответствия на прогнозите за повишаване нивото на океана с действителността е открита конкуренцията, но не е изяснена, между процесите на образуване и унищожение на ледници в Гренландия и Антарктида. Поради разтапяне на вечно замръзналата почва се

изпаряват “парникови” газове, руши се антропогенната инфраструктура, което деградира глобално демографски и икономически съотношения.

Освен термичните промени, на водния кръговрат влияят и неравномерно пространствено и времево разпределените аерозоли. Увеличаващият се принос на различните по произход и свойства антропогенни аерозоли създава преходни области в облакообразуването, чиято неопределеност налага преосмисляне на хода на фазовите преход и на динамиката на фронтовите системи. Измерването на слънчевата яркост регистрира промени в коефициенти на отражение в спътникови снимки около облака. Наскоро се установи, че облакът е заобиколен от преходна зона от водни капки и хидратирани аерозоли. Тя е “невидима” и се простира около облака до 20–30 km. Естествено размерите на тази преходна област зависи от вида облак. В някои случаи заемат от 30 % до 60 % от “чисто” небе около облачни системи. Това променя началните условия в климатичните модели. Поради затопляне нараства честота на горските пожари. Преносът на аерозоли от дима влияе върху атмосферния състав, облакообразуването и албедото. Обсъжданите взаимовръзки се усложняват и поради Форбуш-ефекта - слънчева активност е в противофаза с попадащите на земята космически лъчи. Последните имат влияние върху интензивността на облако-образуване. Намалването им стимулира затопляне.

Изброените примери обясняват липсата на съгласие относно значението на термина ‘климатични промени’. Въпреки това се коментира ‘геоинженерство’ като целенасочени голямо мащабно изкуствено въздействие (ИБ) върху природната среда с цел противодействие на антропогенни влияния върху климата. Новият термин се отнася до два вида ИБ-отстраняване на излишъка от въглероден диоксид и управление на слънчевата радиация чрез отразяването ѝ обратно в Космоса.

Техногенните въздействия, освен че създават полигони за отчуждаване и съхранение на радиоактивни, промишлени и токсични отпадъци, допълнително усилват естествената патогенност на някои райони (разломи, блата, рудни находища, електромагнитни аномалии) и съответните им ендемични популации, превръщат и мегаполисите в патогенни зони. Макар че понякога отделни явления (термично причинено втвърдяване на почви) допринасят за съхранение на цивилизационните артефакти, климатичните промени затрудняват консервацията и реконструкцията им и предимно ги разрушават посредством ерозия и корозия, стимулирано развитие на микроорганизми, екстремални събития- наводнения, свлачища, урагани.

Въпреки енергийния потенциал на разрушителни природни явления (ураган, земетресение, мълния), синергетичната парадигма използва нелинейните нестабилности в атмосферната и океанска енергетика за създаване опции за техногенно въздействие върху нейни елементи- налягане, пренос на маса, фазови преходи на водата, термичен радиационен баланс.

“Управлението на риск” е некоректно твърдение, понеже вероятност е неадекватна за този процес. Тя е формулирана за дискретни, линейни, повторяеми явления. Комплексният прогноза на сценарии за развитие е невъзможен при съществуващите информационен дефицит, слаб понятиен апарат и оценъчни критерии, управленски снобизъм и елитарност. Нужно е да се създават методи за: филтриране на шума и дезинформацията в моделирането на кризи и сведенията за катастрофи, търсене на нови вътрешни (структурни, трансформационни, флукуационни) системни характеристики.

Важно е регулирането на определените в „мозайката” от кризисни противоречия вектори на активност да е с минимални съотношения „енергиен разход/ефект”, „уязвимост/трайност” и „време на прилагане/спектр”. Постигането на тези цели е чрез множество техники за целенасочено въздействие и промяна върху динамиката и структурата на обществото, геосферите и съответните биоценози. „Екзотиката” на тези изкуствени въздействия (ИБ) се определя от мащабите и физическите им форми на влияние чрез дозирано прилагане на енергии в предварително подбрани управляващи периоди и области, като поради многозначността на естествения фон ефектите му са не винаги регулируеми.

Това превръща проблема и в социален, поради мобилизиране за преосмисляне в дългосрочна перспектива на разнообразните елементи от множеството цивилизационни избори и цели. Това включва нов поглед към технологиите и взаимодействието между наука и култура. Главният фокус е защитата на човечеството от природни бедствия. За него е полезен градивният плурализъм в мненията.

ЕКОЛОГИЯ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКА РЕВОЛЮЦИЯ

Надя Маринова

*Нов български университет
e-mail: nmarinova@nbu.bg*

Ключови думи: развитие, технически прогрес, Космос, хора, съоразения, възможности

Резюме: Най-специфични и значими за хората като социални същества се явява опосредстваният начин на взаимодействие с природата, благодарение на различни технически приспособления, започвайки с каменната брадва и копие и завършвайки със съвременния ядрен реактор. При такова взаимодействие също става обмен на вещества между човека и природата, но темповете на неговото развитие и нарастване съществено се отличава от непосредствения обмен, тъй като това нарастване не се ограничава от количествени показатели, а е обусловено от развитието на знанията и съответното усъвършенстване на техническите приспособления, използвани от хората.

ECOLOGY AND SCIENTIFIC-TECHNOLOGICAL REVOLUTION

Nadya Marinova

*New Bulgarian University
e-mail: nmarinova@nbu.bg*

Keywords: development, technical progress, Space, humans, facilities, opportunities

Abstract: The most specific and significant for people as social beings is the indirect way of interaction with nature, thanks to various technical devices, starting with the stone ax and spear and ending with the modern nuclear reactor. Such interaction also involves the exchange of substances between man and nature, but the pace of its development and growth differs significantly from the immediate exchange, as this increase is not limited by quantitative indicators, but is determined by the development of knowledge and the corresponding improvement of technical gadgets used by humans.

Взаимодействието на Човека с Природата съществува още от времето на неговата поява на Земята. Това взаимодействие има както непосредствен, така и опосредстван характер. Основата на непосредственото взаимодействие на човека с природната среда съставлява общия за всички организми биологичен обмен на вещества в процеса на хранене, дишане и различни други физиологични функции. Обаче, най-специфични и значими за хората като социални същества се явява опосредстваният начин на взаимодействие с природата, благодарение на различни технически приспособления, започвайки с каменната брадва и копие и завършвайки със съвременния ядрен реактор. При такова взаимодействие също става обмен на вещества между човека и природата, но темповете на неговото развитие и нарастване съществено се отличава от непосредствения обмен, тъй като това нарастване не се ограничава от количествени показатели, а е обусловено от развитието на знанията и съответното усъвършенстване на техническите приспособления, използвани от хората.

Ако нашите предци биха ограничавали своята дейност само с приспособяване към природата и използване на нейните готови продукти, то те никога не биха се отделили от животинското състояние, към което са се намирали първоначално. Началото на човека е могло да даде само такава не съвсем природна форма на дейност, каквато е трудът, главната особеност на който се явява изготвянето на едни предмети (продукти) с помощта на други предмети (оръдия на труда). Трудовата дейност, давайки на човека колосални преимущества пред останалите животни в борбата за оцеляване, в същото време го изправя пред опасността с времето да стане силата, способна да разруши природната среда на неговия собствен живот. Тази опасност,

възникнала заедно с човека, достига своята пределна степен на границата между второто и третото хилядолетие от новата ера.

Антропогенните изменения в биосферата протичат едновременно в много направления, а темповете им се ускоряват в съответствие с ускоряването на темповете на развитието на обществото. Още в началото на миналото столетие много специалисти обръщат внимание на това, че мащабите на антропогенните процеси често са съпоставими, а даже и превъзхождат мащабите на аналогичните процеси в природата, което води до значителни изменения в природните условия на планетата, като цяло. Във втората половина на 20-ти век тези изменения в природната среда стават достатъчно забележими не само за специалистите, а и за всеки понаблюдателен човек. Проблемите на околната среда стават предмет на масово обсъждане. Въпросите по опазването на природната среда се издигат на първо място в преговорите на най-високи нива и в международните документи.

Широк размах получава масовото международно движение за опазване на природата, което по много въпроси започва да се съединява с движението за мир и демокрация. Проблемите на околната среда стават предмет на сериозни научни изследвания и неотменима страна на организацията на съвременното производство. Постепенно те стават и задължителен елемент на възпитанието и образованието на хората.

Независимо от бързото всеобщо признаване и постигнатите успехи в опазването на околната среда, като цяло, темповете на нежелателните изменения в природата изпреварват мерките по тяхното предотвратяване.

В предния раздел се анализираха някои общи черти на природната среда и особеностите на взаимодействието на човешката общност с нея в процеса на производството на материални блага. Основа на това взаимодействие се явява нарастването на опосредствеността в отношенията между човека и природата. Крачка след крачка човек поставя между себе си и природата, отначало преобразуването с помощта на своята физическа енергия *оръдия на труда*, след това с помощта на тях и натрупаните знания *енергията* на парните машини, електрическите установки и т.н., и накрая, между човека и природата възниква трето крупно звено на опосредстване - преобразуваната с помощта на електронно-изчислителните машини *информация*.

Природната среда се оказва във все по-голяма степен въвличана в производствения процес. С развитието на производството се усложняват и качествено променят не само вътрешните социални връзки, но и тези, които е прието да се наричат външни социални връзки - връзките на обществото с природата. За развитието на тези социални връзки се забелязва обща тенденция - в съответствие с увеличаването на звената за опосредстване на взаимодействието между обществото и природата едновременно се изостря необходимостта от съзнателен контрол и регулиране на цялата съвкупност от антропогенни процеси както в самото общество, така и в природната среда. Тази необходимост нарасна особено рязко с началото на *научно-техническата революция*, същността на която представлява, преди всичко, *електронизацията на информационните процеси и широкото използване на управляващи системи във всички области на обществения живот*.

Ако възникването на предишните (по вещества и енергии) звена на опосредстване на връзките между човека и природата обуслови традиционните скокове в развитието на обществото, то социалните последици от възникването на третото звено (информационното) е трудно да се оценят. С *първото звено* (изготвянето на оръдия на труда) е свързан скокът от животинския свят в социалния свят, с *второто звено* (използването на силови установки) - скокът е в по-висша форма на обществени отношения, с *третото звено* е свързана обусловеността за прехода на обществото към социално равенство. За първи път се появява възможността за рязко увеличаване свободното време на хората за тяхното пълноценно и хармонично развитие. Освен това, научно-техническата революция обуславя необходимостта от качествено ново отношение към природата, тъй като до крайна степен се изострят противоречията между обществото и природата, които преди това са съществували в неявна форма.

Възникването на всяко следващо звено на опосредстване на взаимодействието между човека и природата в същото време е означавало и премахване на преди това съществуващите естествени ограничения в използването на природните фактори. Даже най-примитивното оръдие на труда от момента на неговото използване съществено премахва ограниченията в процесите на обмяна на вещества между човека и природата. Тези процеси тръгват не толкова чрез нуждите на организма на човека, колкото чрез изкуственото изготвяне на оръдия на труда.

Най-важната черта на научно-техническата революция се оказва в това, че за първи път във взаимодействието между обществото и природата е достигната *пределната опосредственост* (по обхват) на всички естествени фактори на производството и по този начин се откриват принципно нови възможности за по-нататъшно развитие на обществото като съзнателно контролиран и регулиран процес. Следователно, за първи път най-пълно се

реализира същността на труда като опосредстван, контролиран и регулиран обмен на вещества между човека и природата. За всички предишни етапи в развитието на обществото е била характерна *частична опосредственост* и следователно частичен контрол и регулиране на обменните процеси в природата.

Обаче, възникналите сега технически възможности за най-пълно проявление на същността на труда не съответстват на съществуващите социални възможности. Съвременното общество не може да се развива по-нататък без промяна на социалната обстановка, без възможност за регулиране на протичащите процеси в интерес на цялата човешка общност, именно затова, че с развитието на науката и техниката са премахнати естествените ограничения за използването на естествените ресурси на производството. В тези условия подчиняването на производството само на егоистичните интереси на предприемачите е пълно с възможности за сериозни обществени последици. Доказателство за това е заплахата от екологична криза. Това е ново и затова все още сравнително слабо изучено явление, възникнало в хода на развитието на научно-техническата революция.

Не е случайно, че опасността от екологична криза съвпада с научно-техническата революция. В резултат на премахването на вътрешните ограничения за развитието на производството изключително остра форма приема *новото противоречие* - противоречието между вътрешните безгранични възможности за развитието на производството и естествено ограничените възможности на природната среда. Това противоречие, както и по-рано възникващите, може да бъде решено само в този случай, ако естествените условия на живота на обществото бъдат все повече обхванати от възможността за регулиране от страна на хората чрез изкуствените средства.

Мерките за подмяна технологиите в производството, преработката на отпадъците, борбата с шума и т.н., които се организират в развитите страни, само отдалечават настъпването на катастрофата, но не са способни да я предотвратят, тъй като не отстраняват коренните причини за разточителното използване на природните ресурси.

Екологичното съдържание на научно-техническата революция се проявява също и в това, че в хода на нейното разгръщане възникват необходимите технически предпоставки за осигуряване новия характер в отношението към природата (възможност за преход към затворени производствени цикли, възможност за ефективно използване на енергията и т.н.). За изпълнението на подобни задачи се изисква съществено преобразуване на съвременната техника и цялата система на нейната организация. Такова преустройство на науката и техниката по отношение към природата накратко може да бъде наречено *екологизация на общественото развитие*.

Това не трябва да се разглежда като временен период в историята на човечеството, а като постоянно направление на обществения прогрес, който може отсега нататък да се осъществява само, ако бъде едновременно и прогрес в отношенията на хората към природните условия. Новият характер на тези отношения не е случайно "отклонение" в развитието на обществото, а реализация на обективната необходимост за социално развитие.

До известно време хората са могли да използват отделни участъци от природата и отделни нейни закони, без да осъзнават тяхната взаимовръзка в системата на биосферата и без да се замислят сериозно над своята планетарна роля. Към осъзнаването на своята планетарна функция хората стигат само в степента, в която мащабите на тяхната дейност приемат глобален характер и човечеството се превръща в геологичен фактор за изменение на земната повърхност.

Особеност на съвременния етап в развитието на обществото се явява фактът, че производствената дейност на хората следва да стане геологична (планетарна) не само по мащаби (количествено), но и по характер (качествено), оптимално включваща се в структурата на природните кръговрати на веществата и енергиите и ставайки по този начин функционално необходим компонент на биосферата. Обаче, като най-активен и високо организиран компонент, съзнателно регулиращ цялата съвкупност на биосферните процеси, обществото ще стане постепенно основно управляващо звено за осигуряване целостта на биосферата, която по този начин ще еволюира в качествено ново състояние – *ноосфера*.

В заключение следва да се осъзнае, че в ноосферата не природната среда, а обществото ще се явява в ролята на цялото, в което природната среда ще присъства като неотменим компонент на системата, изцяло подчинен на нея. Но това е дело на бъдещето, а засега, преди да стане цяло по отношение към природната среда, обществото е длъжно да опознае законите на целостта на биосферата и да се научи да ги използва в своята дейност. Само в този случай е възможна еволюцията на обществото от ролята на част от биосферата към ролята на цялото в отношенията с природната среда. Необходимо условие за такава еволюция е развитието на екологичното съдържание на научно-техническата революция в системата на обществените отношения.

Литература:

1. Мардиросян, Г. Аерокосмически методи в екологията и изучаването на околната среда: Част 1: Методи и средства за дистанционно аерокосмическо изучаване на Земята, София: Академично издателство "Проф. Марин Дринов", 2003, 208 с. ISBN 954-430-939-X (1)
2. Маринова, Н., З. Гаргаров, Д. Анастасовски. Рисковете в икономическата и финансова дейност. София, 2015, 39 с.
3. Маринова, Н. Управление на проекти за постигане на устойчиво развитие, НБУ, София, 2014, 212 с.
4. Маринова, Н., К. Карадочева. Заетост, образование и предприемачество. Осма международна научна конференция, 2019.
5. Хаджиев, Кр. Самоуправляващи се работни екипи – теория и методология. Икономическа световна библиотека, Свищов, 2010.
6. Хаджиева, В. Система на националния организиран пазар – същност и характеристики. Електронно списание „Диалог“, книга № 3/2010.

АСТМАТА – НАРАСТВАЩО СОЦИАЛНО-ЗНАЧИМО И ЗАВИСЕЩО ОТ ЕКОЛОГИЧНИ ФАКТОРИ ЗАБОЛЯВАНЕ. ПРЕВЕНЦИЯ И ЛЕЧЕНИЕ С БЪЛГАРСКА ФИТОТЕРАПИЯ

Роксандра Памукова – Майкълсън

Факултет по обществено здраве, Медицински университет – София
e-mail: r.pamukova@foz.mu-sofia.bg

Ключови думи: екология, бронхиална астма, лекарствени растения, фитотерапия, природосъобразен терапевтичен метод

Резюме: Бронхиалната астма (БА) е едно от най-често срещаните хронични заболявания в световен мащаб, засягащо всички възрастови групи от деца до възрастни хора. Според Световната здравна организация (2019) болелите от астма са приблизително 262 млн души, като болестта е причинила 461 000 смъртни случая. Прогнозира се, че до 2025 г. могат да бъдат засегнати още 100 млн души. [16, 29].

Урбанизацията е свързана с повишеното разпространение на болестта. Експозицията към екологични алергени увеличават риска от заболяването, включително въздух замърсен с дим, химикали и др. Същевременно, вирусните респираторни инфекции са основната причина за обострян timer на бронхиалната астма (астматични пристъпи).

Анализираме подробно позитивните резултати, постигнати от българските фитопрепарати Бронхо Пам и Имуно Бронхо Пам при терапии на бронхиалната астма. Ефективността им е обуславяна от техния фитохимичен състав и фармакологично действие. Фитотерапията е биологичен природосъобразен медицински метод.

ASTHMA – A RISING SOCIALLY SIGNIFICANT DISEASE CAUSED BY ENVIRONMENTAL FACTORS. PREVENTION AND THERAPY WITH BULGARIAN PHYTOTHERAPY

Roxandra Pamukoff – Michelson

Faculty of Public Health, Medical University – Sofia
e-mail: r.pamukova@foz.mu-sofia.bg

Key words: Environment, bronchial asthma, medicinal plants, phytotherapy, ecologically friendly therapeutic method

Abstract: Asthma is one of the most common chronic diseases worldwide affecting all age groups from children to the elderly. According to the World Health Organization asthma affected an estimated 262 million people in 2019 and caused 461 000 deaths. It is likely that by 2025 a further 100 million may be affected [16, 29].

Urbanisation is associated with increased asthma prevalence. Exposure to a range of environmental allergens increase the risk of asthma, including air pollution, exposure to chemicals, fumes, etc. At the same time, viral respiratory infections are the main cause of acute exacerbations of bronchial asthma (asthma attacks).

We analyse in detail the positive results achieved by the Bulgarian phytopreparations - Broncho Pam and Immuno Broncho Pam in asthma therapies. Their effectiveness is due to their phytochemical composition and pharmacological effect.

Въведение

Бронхиалната астма (БА) е едно от най-често срещаните хронични заболявания в световен мащаб, засягащо всички възрастови групи от деца до възрастни хора. Според Световната здравна организация (СЗО) през 2019 г. болелите от астма са приблизително

262 млн души, като болестта е причинила 461 000 смъртни случая. Прогнозира се, че до 2025 г. могат да бъдат засегнати още 100 млн души. От 60-те години на XX век, в редица развити страни се наблюдава рязко увеличение на заболяемостта от астма. Въпреки новите лечения и подобрените инхалатори за приложение на локални терапии, през последното десетилетие в повечето държави не са наблюдавани значими подобрения, водещи до намаляване на смъртността и хоспитализацията при деца и при възрастни [16, 29].

Екологични фактори увеличават риска от астма. Сред тях са замърсяването на въздуха с алергени, дим, химикали и др. Те изострят симптомите на астмата и причиняват други респираторни симптоми. Урбанизацията е свързана с повишено разпространение на болестта, поради множество фактори на "неприродосъобразния" начин на живот [16, 29].

Целта на настоящата статия е да проучи екологичните фактори, допринасящи за увеличаването на риска от бронхиална астма, както и иновативни български терапии за профилактиката и лечението на заболяването.

Екологични фактори, допринасящи за увеличаване на риска от астма

Епидемиологични проучвания доказват, че полиароматните въглеводороди (PAHs), както и органофосфатни инсектициди са причинители на бронхиалната астма. За много химикали в околната среда настоящите проучвания дават противоречиви резултати във връзка с повишения риск асоцииран с белодробното заболяване. Такива са живак, кадмий, арсен, олово и др. Продължават изследванията на химикалите с опасни свойства, увреждащи човешкото здраве и околната среда, и повишаващи риска от астма [22].

Атопията (предразположение към развиване на реакции на алергична свръхчувствителност) също е значима причина за развитие на заболяването [29]. Същевременно, вирусните респираторни инфекции са основната причина за обостряния на бронхиалната астма и могат да допринесат за появата на болестта при високорискови малки деца [5, 8].

Българска иновативна природосъобразна терапия с лекарствени растения без странични ефекти

Бронхо Пам е комплекс от лекарствени растения, изобретен от проф. д-р Д. Памуков от Научно-практическа база по фитотерапия към МНЗ за лечение на бронхиална астма, както и остър, спастичен и хроничен бронхит при деца и възрастни, преминал клинични изпитвания и регистриран като лекарство средство в България, СССР, по-късно Русия и други държави. Ефективността му се обуславя от биологичноактивните вещества, съдържащи се във водния извлек от лечебни растения. Мащерката (*Herba Thymus vulgaris*), ментата (*Folia Menthae x Piperitae*) и градинският чай (*Folia Salviae officinalis*) притежават противовъзпалително, противовирусно, противогъбично и бактерицидно действие. Мащерката (*Herba Thymus vulgaris*) действа успокояващо върху гладката мускулатура на бронхите, като оказва противоспастичен ефект, който се увеличава от ментата (*Folia Menthae x Piperitae*) и сладкия корен (*Radix Liquiritiae*). Ментата (*Folia Menthae x Piperitae*) от своя страна предизвиква рефлексно разширяване на коронарните и алвеоларните съдове. Сладкият корен (*Radix Liquiritiae*) притежава секретолитично, отхрачващо и противоалергично действие. Комплексът от лекарствени растения косвено подобрява дишането и сърдечната дейност, нормализира кръвната картина, оказва успокоително действие върху болковия синдром. Следва да се отбележи, че при клиничните изпитвания на Бронхо Пам не са наблюдавани странични ефекти [3, 4, 22].

В България са проведени проучвания в съответствие с нормативните актове и добрата клинична практика на фитопрепарата от лекарствени растения за лечение на бронхиална астма Бронхо Пам в НИХФИ, в Научно-практическата база по фитотерапия към МНЗ при 267 възрастни индивиди и при 102 деца над 3-годишна възраст в продължение на 6–18 месеца. Рандомизирани, двойно-слепи, плацебо-контролирани клинични изпитвания са направени от водещи български специалисти в катедра по Пневмология и фтизиатрия към Медицинска академия – 60 пациенти с остра и хронична бронхиална астма, наблюдавани в продължение на 30 дни (1 месец) от екип под управлението на П. Добрев и с участието на Н. Алексиев, В. Максимов, Д. Османлиев и др., както и в Научния институт по педиатрия (НИП) към Медицинска академия – 61 деца, ръководени от Ш. Ниньо и В. Андреева – 60 дни (2 месеца) [3, 17, 21, 23].

Двойно-сляпото, плацебо-контролирано едномесечно клинично изпитване, проведено при 60 възрастни от 21 до 60-годишна възраст в катедра по Пневмология и фтизиатрия към Медицинска академия от колектива на П. Добрев потвърждава ефективността на българския фитопрепарат. При 73,3 % астматичните пристъпи са изчезнали, а при 16,7 % са намалели в края на 4-тата седмица [17].

Екипът, ръководен от Ш. Ниньо и В. Андреева в Научния институт по педиатрия, I Клинико-лабораторен комплекс – ПУЛМО-алергологична клиника към Медицинска академия провежда клинични изпитвания при деца с бронхиална астма и бронхопневмопатии в продължение на 60 дни. При децата с бронхиална астма (БА) в продължение на една година след спиране на лечението с Бронхо Пам пристъпите на бронхиална обструкция са повлияни благоприятно – разреждане и по-леко протичане при 79,54 %, а при 2,27 % през този период не се проявява пристъп. Не са наблюдавани явления на непоносимост. Фитопрепаратът се приема с удоволствие от децата, и предлаганата разфасовка (филтърни сашети) предоставя възможност за точно и индивидуализирано дозиране [3, 23].

При повечето от децата с БА (64 %), лекувани за 6–18 месеца (терапията обхваща зимните месеци), не е наблюдаван пристъп по време на лечението и 3 години по-късно. Подобни резултати се демонстрират при клиничните изпитвания в СССР. Клинико-фармакологични изследвания се провеждат в Държавната химико-фармацевтична академия "Санкт Петербург". Като предимства на Бронхо Пам се отчитат: "Съчетание на отхрачващи, муколитични, противовъзпалителни, противомикробни, противовирусни свойства." Регистрираната клинична ефективност на фитопрепарата в комбинирана терапия с антибиотици е в най-високата група от проучваните препарати за лечение на хронични инфекциозно-възпалителни заболявания на дихателните органи (86 % – 91 %). Странични ефекти на Бронхо Пам не са описани. Проучвания на противовирусния ефект на препарата се правят в American Botanical Council. Следва да се отбележи, че проведените изследвания, както и над 30-годишната употреба на фитопрепарата Бронхо Пам показат липса на странични ефекти, което повишава значимостта на изследваната фитокомбинация от лекарствени растения при деца и възрастни [2, 3, 23].

Съвременни рационализирани формули и терапии. Интервенционни проучвания.

Бронхо Пам има над 30-годишна история на употреба, като е с доказана добре установена ефективност и безопасност, но при някои от случаите действието му се проявява след по-продължителен период на употреба. Затова рационализираната серия фитопрепарати от лекарствени растения – Бронхо Пам (воден извлек, подобрена рецепта с *Echinacea purpurea*), Имуно Пам Плюс (капсули) и Имуно Бронхо Пам (капсули) е създадена от научен колектив от проф. д-р Д. Памуков и д-р Р. Памукова.

Интервенционно проучване от типа на кръстосан дизайн (Cross-over design) на Имуно Бронхо Пам при 142 пациента във възрастова група 18–77 години, е проведено под ръководството на Ч. Михайлов, Вътрешно отделение на МБАЛ – Благоевград (2017). От тях 64 са с бронхиална астма (БА). При 52 души (81,3 %) – изчезва задуха и не се проявява пристъп, при 9 (14,06 %) се отчита разреждане и по-леко протичане на пристъпите в края на 4-тата седмица, 3 лица (4,68 %) не се повлияват. Значително подобряване на качеството на живот отчитат 58 души (90,6 %) – отличен ефект 25 лица (39,1 %), много добър – 33 (51,5 %), задоволителен – 4 (6,3 %), незадоволителен – 2 (3,15 %).

С ХОББ са 34 от изследваните лица, Като значим рисков фактор за развитие на заболяването се счита експозицията на прахови частици и газове от атмосферния въздух в населените места, в домовете и на работното място. След 4-седмична терапия с Имуно Бронхо Пам при 3 лица (8,9 %) изчезва задухът, намален е при 29 (85,2 %), не се повлияват 2 души (5,9 %). Отчитат подобро качество на живот с отличен ефект – 30 лица (88,2 %), не са доволни – 4 (11,8 %).

Позитивни резултати бяха отчетени при проведено от нас интервенционно проучване от типа на кръстосан дизайн (Cross-over design) на 243 лица във възрастова група 18–80 години над 18 годишна възраст с астма, остър и хроничен бронхит, както и с инфлуенца, лекувани с комплексни терапии, включващи 2 фитопрепарата от лекарствени растения – Бронхо Пам (воден извлек, подобрена рецепта с *Echinacea purpurea*) и Имуно Бронхо Пам (капсули) (2011-2019). От тях с бронхиална астма (БА) са били 112 пациента При 84,8 % (95 души) астматичните пристъпи са изчезнали, а при 14,2 % (16 души) са намалели в края на 4-тата седмица. Не се е повлиял 1 пациент (8,9 %). Следва да се отбележи, че отново не се отчетоха странични ефекти.

Наблюдения върху 117 пациента (2021) с понижена O₂ сатурация (SpO₂ 88-94%) след ОВИ демонстрират, че дихателната функция и съдържанието на кислород в кръвта се подобряват при комплексна терапия с антибиотици и фитопрепаратите Имуно Бронхо Пам (капсули), Имуно Пам Плюс (капсули), включваща инхалации с отвара от Бронхо Пам (с *Echinacea purpurea*) по следната схема: 3 сутрин и 3 вечер по 3–10 min на всеки 60 min. При повечето пациенти 105 (90,5 %) пулсовият оксиметър отчете плавно повишение на стойностите с по 1-2 единици на всеки 2–3 дни. Сатурацията се нормализира в края на терапията. Същевременно, бяха обещаващи резултатите, наблюдавани при деца.

Фармакологично действие на лекарствените растения, съдържащи се във фитопрепаратите Бронхо Пам и Имуно Бронхо Пам

Лабораторни проучвания на екстракт от мента (*Folia Menthae* x *Piperitae*) доказват ефективността на билката срещу respiratory syncytial virus, принадлежащ към семейство Pneumoviridae. Ботаническият хибрид *Mentha* x *Piperita* се съдържа в Бронхо Пам [19].

Едно от основните лекарствени растения в Бронхо Пам и Имуно Бронхо Пам е *Salvia officinalis*. Етеричното му масло инхибира размножаването на грам-отрицателни бактерии *Aeromonas hydrophila*, *Aeromonas sobria*, *Escherichia coli*, *Klebsiella oxytoca*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas morgani*, *Salmonella anatum*, *Salmonella enteritidis*, *Salmonella typhi* и *Shigella sonnei* [6,14,30]. Олеиновата киселина, два терпеноиди и други биологично активни вещества инхибират размножаването на мултирезистентни бактерии като ванкомицин-резистентен *Enterococcus*, пеницилин-резистентен *Streptococcus pneumoniae* и метицилин-резистентен *Staphylococcus aureus*. Същите биологично активни вещества потенцират ефектите на аминогликозидите върху метицилин-резистентния *Staphylococcus aureus* [14, 30].

Актуалност придобива изследване върху ефективността на лекарственото растение при SARS-CoV. Етеричното масло на *Salvia officinalis* е показало активност срещу остър респираторен коронавирус SARS-CoV, който е бил получен от хракка на пациент, хоспитализиран с диагноза SARS (тежък остър респираторен синдром) във Франкфуртската Университетска Болница. Етеричните масла са били оценени по отношение на тяхната инхибиторна активност срещу репликацията на SARS-CoV и HSV-1 in vitro [6, 7, 9, 20].

Glycyrrhiza glabra се препоръчва в ръководство за ефективни комбинирани терапии на COVID-19 от Първата афилирана университетска болница в Zheijang, публикувано през 2020 г. Те са базирани на опита със 104 пациенти с потвърдена инфекция, приети в лечебното заведение [7, 15, 25, 26].

Glycyrrhiza glabra се съдържа в Бронхо Пам и демонстрира при изследвания, проведени от проф. д-р Памуков в Научно-практическата база по фитотерапия към МНЗ, кортикостероидоподобно действие, като е с изразен антиалергичен и противовъзпалителен ефект, заключаващ се в прекраяване на възпалителните реакции, предизвикани от хистамина, серотонина и брадикинина. Има секретолитично и отхрачващо действие [4, 7, 21].

Цветовите от ехинацея (*Flores Echinacea purpurea*) се съдържат в рационализираната рецептура на Бронхо Пам, както и в новия препарат Имуно Бронхо Пам. Те са показали ефективност при профилактиката на инфекции на горните дихателни пътища при деца, като растението проявява имуномодулиращ ефект [28].

Корените джинджирил (*Radix Zingiber Officinalis*) се съдържат в рецептурата на Имуно Бронхо Пам и са с благоприятен ефект при респираторни инфекции, както и алергичен ринит. Те проявяват бактерицидно действие спрямо *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Streptococcus pneumoniae* и др. [10]. При изследвания при опитни животни и деца не се наблюдават странични ефекти [11, 12].

Проучвания на проф. д-р Памуков на бял бор (*Tur Pinus sylvestris*), съдържащ се в Имуно Бронхо Пам, демонстрират, че той улеснява отхрачването, действа омекчително и антисептично на лигавиците при възпаления на горните дихателни пътища.

Дискусия и изводи

Астмата е едно от най-често срещаните хронични заболявания в световен мащаб, засягащо всички възрастови групи от деца до възрастни хора. Екологични фактори увеличават риска от болестта. Бронхиалната астма е най-често срещаното хронично заболяване при децата – засяга приблизително едно на всеки десет деца.

Бронхо Пам за профилактика и лечение на бронхиална астма, остри и хронични бронхити, както и ОВИ при деца и възрастни, изобретен от проф. д-р Димитър Памуков, директор на Научно-практическа база по фитотерапия към МНЗ, е клинично изследван и е утвърден в пулмологията у нас и в други държави.

Проучвания на Института по микробиология към БАН установяват, че екстракт, получен от билковия комплекс Бронхо Пам инхибира репликацията на РНК вирусите на грипни щамове А /H1N1/ и А /H3N2/, като намалява инфекциозните титри с 3,5 lg и 2,5–3,5 lg съответно. Получените от БАН данни, демонстриращи противовирусната активност на фитопрепарата Бронхо Пам несъмнено разширяват практическата му значимост при неговото използване [21].

На базата на дългогодишни изследвания, формулата е рационализирана от научен екип от автора и Р. Памукова.

Българската серия препарати Бронхо Пам и Имуно Бронхо Пам е носител на над 15 международни награди за иновативен принос към медицината, сред които златен медал от

Москва (Международен салон за изобретения и иновативни технологии „Архимед 2013“), златен медал Еврика от Брюксел („Eureka-Innova“, 2013), Grand Prix от Франция („Eureka-Innova“, 2013), специален приз от Китай („PPC“, 2016) и др. [6, 7].

Фитотерапията предлага биологичен и по-безвреден медицински метод с минимален риск от евентуално лекарствено увреждане на организма, особено при децата. Същевременно растенията, сред които са и култивираните билки отделят кислород (O₂) при биохимичните процеси на фотосинтеза. Около 100 милиарда тона атмосферен въглерод (C) годишно се превръщат чрез тях в биомаса, поддържайки енергийния баланс на биосферата [18]. Целесъобразно е да продължат изследванията относно ползите от лекарствените растения за екосистемите и хората.

Литература:

1. Ахтарджиев, Х. Фармакогнозия. София, Медицина и физкултура, 1979.
2. Вотяков, В., А. Коломиец. Патогенез и терапия персистентных инфекций, протекающих с синдромами иммунодефицитов. Клиническая медицина, 1991, 69 (5), с. 29–37.
3. Лесиовская, Е., Е. Мельникова, Е. Тамм, М. Дьякова, В. Болотова, Е. Коноплева, Е. Петренко, Н. Фролова, Л. Пастушенков. Клиническая фармакология препаратов для лечения хронических инфекционно-воспалительных заболеваний органов дыхания. Терра Медика Нова, № 4 '97 <http://infomedik.info/med/8770408.htm> (Достъп: 17.08.2021).
4. Памуков, Д., Х. Ахтарджиев. Природна аптека. Земиздат, София, 1989.
5. Памуков, Д. Билки за желята и детето - I част. София, Гей- Либрис, 1995.
6. Памукова-Майкълсън, Р. *Salvia officinalis*: антимикробно действие при коронавируси и други патогени. Приложение при респираторни заболявания. Обща медицина. 2020, 22 (4), с. 80–86.
7. Памукова-Майкълсън, Р., А. Воденичарова, Ч. Михайлов. Ефект от комплексни терапии при респираторни заболявания и COVID-19. Обща медицина, том XXII, бр. 6/2020, с. 59–66.
8. Ahanchian, A., Jones, C., Chen, Y.S., Sly, P.D. Respiratory viral infections in children with asthma: do they matter and can we prevent them? BMC Pediatrics, 2012 Sep 13, 12, p. 147.
9. Ahmad, G., Esmaeilzadeh, M. Pharmacological properties of *Salvia officinalis* and its components. Journal of Traditional Complementary Medicine 2017 Oct; 7(4), pp. 433–440.
10. Akoachere, J., Nidip, R., Chenwi, E., Nidip, L., Njock, T., Anong, D. Antibacterial effect of *Zingiber officinale* and *Garcinia kola* on respiratory tract pathogens. East African Medical Journal 2002 Nov; 79(11), pp. 588–592.
11. Amit A., Saxena, V. Pratibha, N., Bagchi, M., Bagchi, D., Stohs, S. Safety of a novel botanical extract formula for ameliorating allergic rhinitis. Toxicology Mechanisms and Methods, 2003; 13(4), pp. 253–261.
12. Anh, N., Kim, S., Long, N., Min, J., Yoon, Y., Lee, E., Kim, M. Kim, T., Yang, Y., Son, E., Yoon, S., Diem, N., Kim, H., Kwon, S. Ginger on Human Health: A Comprehensive Systematic Review of 109 Randomized Controlled Trials. Nutrients, 2020 Jan; 12(1), pp. 157–167.
13. Brush, J., Mendenhall E., Guggenheim A., Chan T., Connolly E., Soumyanath A. The effect of *Echinacea purpurea*, *Astragalus membranaceus* and *Glycyrrhiza glabra* on CD69 expression and immune cell activation in humans. Phytother Res. 2006, 20, pp. 687–695.
14. Chouhan, S., Sharma K., Guleria S. Antimicrobial activity of some essential oils—present status and future perspectives. Medicines. 2017; 4, p. 58.
15. Deng-hai, Zh., Kun-lun, W., Sheng-qiong, X. Z. et al. Methodology. In silico screening of Chinese herbal medicines with the potential to directly inhibit 2019 novel coronavirus. Journal of Medicinal Chemistry, Volume 48, Issue 4, 24 February 2005, pp. 1256–1259.
16. Dharmage, Sh., J. L. Perret, A. Custovic. Epidemiology of Asthma in Children and Adults. Frontiers in Pediatrics 2019; 7, p. 246.
17. Dobrev, P., N. Alexiev, V. Maximov Z. Yankova, P. Nikolova, V. Vladigerova, D. Osmanliev, A. Gocheva, S. Stankova, A. Kostova, E. Paunova. Clinical tests of Broncho Pam herb tea for the treatment of bronchial asthma. Department of Pulmonology and Phtysiatry Medical Academy, Sofia, 1985.
18. Field, CB etc. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. Science 281 (5374). July 1998, с. 237–240.
19. Li, Y.X., Liu, Y.B., Ma, A.Q., Bao, Y., Wang, M., Sun, Z. L., In vitro antiviral, anti-inflammatory, and antioxidant activities of the ethanol extract of *Mentha piperita* L. Food Science Biotechnology, 2017; 26(6), pp. 1675–1683.
20. Loizzo, M. R., Saab, A. M., Tundis, R., Statti G. A. et al. Phytochemical analysis and in vitro antiviral activities of the essential oils of seven Lebanon species. Chemistry & Biodiversity, 2008, 5, pp. 461–470.
21. Manolova, N, Serkedjieva J, Ivanova V. Antiinfluenza activity of the plant preparation “Broncho Pam”. Fitoterapia. 1995, 66 (3), pp. 223–226.
22. Mattila, T., T. Santonen, H. R. Andersen, et al. Scoping Review-The Association between Asthma and Environmental Chemicals. International Journal of environmental research and public health, 2021, Feb 1; 18(3), p. 1323.
23. Ninio, Sh., Andreeva, V. Clinical Tests of Broncho Pam Herbal Combination on Children Suffering from Bronchial Asthma, Recurring and Chronic Pneumopathies. Pulmological-Allergological Clinic, First Clinical Laboratory Complex, Medical Academy, Sofia, 1985.
24. Polansky, H., Lori ,G. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): first indication of efficacy of Gene-Eden-VIR/Novirin in SARS-CoV-2 infection. International Journal of Antimicrobial Agents 2020 Jun, p. 55–56.

25. The First Affiliated Hospital, Zhejiang University School. Medicine Handbook of COVID-19 Prevention and Treatment Compiled According to Clinical Experience. Zhejiang. 18.03.2020. https://www.researchgate.net/publication/339998871_Handbook_of_COVID-19_Prevention_and_Treatment (Retrieved: 19.03.2020).
26. Qamar, M. T., L.-Ling Chen, S. M., Alqahtani, M., Alamri, A.. Structural basis of SARS-CoV-2 3CLpro and anti-COVID-19 drug discovery from medicinal plants. *Journal of Pharmaceutical Analysis*. Available online 26 March 2020 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095177920301271> (Retrieved: 06.04.2020).
27. Sharifi-Rad, M., Ozcelik, B., Altı, G., et al. *Salvia* spp. plants-from farm to food applications and phytopharmacotherapy. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 80: pp. 242–263
28. Weber, W., Taylor, J., Stoep, A., Weiss, N. Standish, L., Calabrese, C. *Echinacea purpurea* for prevention of upper respiratory tract infections in children. *Journal of Alternative and Complimentary Medicine* (New York), 2005 Dec,11(6), pp. 1021–1026.
29. WHO. Asthma. 03.05.2021 <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/asthma> (Retrieved 15.10.2021)
30. Wińska, K., Mączka, W., Łyczko, J. et al. Essential Oils as Antimicrobial Agents–Myth or Real Alternative? *Molecules*. 2019 Jun; 24(11), p. 213.

Session 5

***Space Material Science
and
Nanotechnology***

Chairman: Prof. Dimitar Teodossiev
Secretary: Daniela Shuleva

SAFETY IN AEROSPACE ENGINEERING

Adelina Miteva

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

Keywords: Safety, aerospace engineering, reliability and safety in engineering design

Abstract: Safety is the most important aspect of all areas of technology. Particularly in aerospace engineering, safety is critical as it directly affects people's lives. However, modern systems engineering is becoming more complex and often includes multiple components, countless software lines, globally deployed development teams, and complex operating environments. As a result, it is becoming increasingly difficult to secure these complex systems. Here some aspects of system safety in aerospace engineering are presented.

БЕЗОПАСНОСТ В АЕРОКОСМИЧЕСКАТА ТЕХНИКА

Аделина Митева

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

Ключови думи: Безопасност, аерокосмическа техника, надеждност и безопасност в инженерното проектиране

Резюме: Безопасността е най-важният аспект на всички области на техниката. Особено в аерокосмическата техника безопасността е от решаващо значение, тъй като пряко засяга живота на хората. Съвременното системно инженерство става все по-сложно и често включва множество компоненти, безброй софтуерни линии, глобално разгърнати екипи за разработка и сложни операционни среди. В резултат на това става все по-трудно да се защитят тези сложни системи. Тук са представени някои аспекти на безопасността на системите в космическата техника.

Introduction

Nowadays, the topic of system safety in aerospace engineering receives a lot of public discussion and attention: the investigation of aircraft accidents. Safety is the most important aspect of all areas of technology. In aerospace technology/industry in particular, safety is of paramount importance as it directly affects people's lives. However, modern engineering systems are becoming more and more complex. Thus, it becomes more and more difficult to ensure the safety of these complex systems [1-12].

Aerospace engineering is a type of engineering. Let us first briefly recall what these are engineering in general and science; what is the difference between engineers and scientists. Engineers apply principles of natural science in their work. They design and build structures, products, processes, or systems that improve people's lives and make useful and necessary items. Items, that did not exist before or existed, but have already been improved. The greatest dream, goal and happiness of an engineer are to create something new, such as the Seven Wonders of the World and the International Space Station. And of course, happiness for a scientist is to understand something in the universe that people have never known or understood before. It is clear that in order to become a successful space scientist, you really need to understand the design of satellites, what is possible with them and what is not. And in a similar way, to be successful as a space engineer, you really need to understand the physical principles to understand the environment in which you will work, to understand the materials you will be working with and to develop systems that scientists will then use

to discover the secrets of the universe. Science and engineering are interconnected: a good engineer must understand science, and a good scientist must understand engineering.



Fig. 1. International Space Station [2, 3]

Safety is a system property that is dependent on many elements: hardware, software, human behavior (pilot error), and of course interactions between all of these three factors.

Hardware damage

In the past, before the advent of modern computers and software, security and safety were closely related to damage of equipment/hardware and components. These are actually things that can break or not work properly (like an engine failure, valves etc.). The traditional approach to mitigating the consequences of equipment failure is to provide redundancy for components. Indeed, if we had full redundancy in most hardware systems so that we can tolerate failures. It is used a lot. But it has made the system much more complex and several times more massive than the original system.

So there are always trade-offs. Redundancy is just one option. Another option that you can use is to try to remove the component. You might consider redesigning something in the system so that you do not need the often damaged part. Therefore, redundancy sometimes causes its own problems.

Safety and reliability is not the same thing. In the engineering context, however, they refer to two different concepts. Safety usually means that event X will never happen, while reliability usually means that event Y always happens. Understanding this distinction is crucial to our discussion of the various factors that affect system safety. A certain situation can be both safe and reliable, neither safe nor reliable, or any combination of the two. Reliability speaks of failures, especially of components. This may or may not have an impact on safety. Safety is not necessarily about failure. Safety is associated with accidents.

For example case of something that's unreliable but safe: suppose the engine of an airplane does not start on the ground.

When we talk about reliability, we usually talk about hardware components which either work or don't work, whereas safety issues that it is much more difficult to lead to accidents and you are really trying to look at it from a systems point of view. You can take reliability and decompose into properties individual components. All of these components are reliable, and you can put them together and find out the reliability of this assembly. Safety is a system property (an emergent property of the system), not a component property. Safety always depends on the context and on the environment. So if I ask you about any component - is it safe or not? Answer: it depends on the circumstances. What is the context? What kind of environment?

There are accidents that are caused by:

- component failures;
- component interaction accidents.

Component interaction accidents are of two types:

- accidents caused by interactions among components;
- accidents with no component failure.

Software failure

Software plays an irreplaceable role in many engineering systems. However, software can also contribute to system crashes. But what do we mean when we say "software glitch"? Actually, the problem is not in the software itself. In fact, the "curse of software" is that it always does exactly what it is told to do. To understand the role of software in accidents, it is important to view software in the context of how it interacts with other components and with human operators.

Software is absolutely essential for a successful mission. Software is simply a sequence of instructions, a process, a sequence of steps that a computer must follow. Software doesn't crash like hardware. This is a completely different failure. This problem has existed in software from the very beginning. The software design failed. The bottom line is that we'd better tell the software to do the right thing from the beginning and by a systems viewpoint (how all parts of the system interact with one another).

In software, redundancy is a very different issue, from hardware, and can add significant complexity to the system. It is very, very difficult to test, because the software is so complex that it can be tested any possible combination of inputs it can take years or decades. Redundancy for software also adds a lot of complexity. Only to synchronize the computers it takes a lot of time and effort.

Software — and its interactions with hardware and humans — also played a role in aviation accidents. Again, the curse of software shocks: the software did exactly what it was designed to do, but it wasn't designed for all possible operating conditions.

The aviation software design did not accommodate all of the possible system situations that it could be in. And therefore, it prevented the pilot from doing what the pilot really wanted to do. The interaction between software and people is critical.

Human error

Here we look at some of the problems that can be caused by people or their interactions with software. The software is executed in accordance with the project. In this case, the software engineers were not mistaken. The way it usually works is software engineers need to be told what software needs to do, and this is done through software requirements. And requirements are of course a very important part of systems engineering.

One of the first things you should do when you start designing an aerospace system is figuring out what your system is supposed to do. And this is what we call requirements writing. Until you have not a set of requirements, you really don't know what exactly you should design and build. It turns out that the software developers didn't just forget to write this command down in the software sequence. They really met the requirements for them. In other words, the original system requirements, which were then transformed into software requirements, did not really indicate the whole situation in which the system could arise.

Who is responsible for translating system requirements into software requirements? Engineers are people. Everything comes back to people. People talk about human error and talk about drivers or pilots - operators. But there are still people who design, and people make mistakes. If we want to understand why the software was wrong, because software is just design, we really need to understand a thing or two about the people who created it. Software is always design. This is always what the engineers thought about. But we are checking something. Before you launch something into space, be it hardware or software, you test it many times. Many tests have been done, but they weren't perfect. We never know exactly the conditions in space.

We should try to test the systems according to the philosophy of testing aerospace systems:

- Test it like you're going to fly it;
- Fly it like you tested it.

We must not forget the importance of taking a systems view of the entire safety and security situation because we have the interplay of all these different pieces of physical hardware, software and people, and that is really a lot of where your approach to system safety comes from. And it's really hard to get a complete picture of the safety system if you look at only one of the areas, such as software. One really has to look at the whole system.

We often hear that the cause of the accident was "human error". This is especially true in the aerospace industry, where pilot error is cited as a contributing factor to many aircraft accidents. Human error is not a cause, but rather a symptom of the context in which the error occurred. This explanation highlights the difference between the traditional view and the systemic view of the human factor. And if you take a closer look at some of the common mistakes you encounter in your daily life (For example, when entering a store, do you always open the door correctly - push or pull?), consider whether they are due to human error or poor design.

We conclude with a few words of wisdom about designing with people in mind from Donald Norman. This is from a book called "The Design of Everyday Things":

"Of course, people do make errors. Complex devices will always require some instruction, and someone using them without instruction should expect to make errors and to be confused. But designers should take special pains to make errors as cost-free as possible. Here is my credo about errors:

If an error is possible, someone will make it. The designer must assume that all possible errors will occur and design so as to minimize the chance of the error in the first place, or its effects once it gets made. Errors should be easy to detect, they should have minimal consequences, and, if possible, their effects should be reversible." [1, 2; (pp. 34, 35)]

The designer always strives for immediate safety engineering. Three principles are applied to achieve safety in Engineering Design [7].

- The principle of safe existence (safe-life behavior) implies that that all components and their relationships within the product will survive the intended stress and operational life without failing or generating a fault.

- The principle of limited failure (fail-safe behavior) implies that a functional fault or damage can occur during the operational life of the product without causing serious damage to the product.

- The principle of redundancy implies that the safety and security of the product is enhanced by including reserve elements that can fulfill some or all of the product's functions in case of failure. In the case of passive redundancy, the reserve element supports required functionality even when all components are functioning normally. With passive redundancy, the reserve element is only activated in the case of a failure. When the original and reserve elements operate according to differing modalities it is known and is the principle redundancy. Back-up elements can be employed in parallel, serial, quartet, cross-quartet, two-out-of-three and comparative redundancy.

If risk cannot be excluded by applying the three principles listed above, complementary indirect and indicative safety equipment is incorporated.

Nanotechnology Safety in the Aerospace Industry

Nanotechnology, the science of materials and devices with at least one dimension in the 1 nm to 100 nm range, can be applied to any field of industry and everyday life. The aerospace industry finds technology that reduces component scale and weight of particular interest. Nanomaterials can also provide corrosion, weathering, and thermal resistance that would allow aerospace products to function in a variety of environments. As the use of nanomaterials increases, questions arise about the safety of nanotechnology, especially in applications where living things are at risk of exposure. In aerospace manufacturing, it means preventing pollution of an object, the people inside it, and the environment around it. Even some materials that are not toxic in bulk or at microscale, such as gold, silver, and platinum, can become lethal at nanoscale. The aerospace industry may be better prepared for the safety of nanotechnology than other industries because it is already adapted to the use of composites, and it is in the composition of composites, coatings and other sensitive devices / sensors that nanomaterials are most likely to be found in this area. In summary, the aerospace industry is expected to implement nanomaterials on a large scale in the future. Because of the prior adoption of composite materials in construction, and given the strict safety requirements of both composites and nanomaterials, aerospace companies may already have the perspective required to use these products safely [8, 9, 10].

Conclusion and future plans

The easiest way to correct mistakes is the undo button in the word processor. This is what we really need to do. It is not necessary to always prevent human error if that is not possible. We can also make it recoverable and easier to fix. This is absolutely important, especially in aerospace systems, because these are systems on which human lives depend, and safety is absolutely essential if we have an air transport system and if we are going to explore space.

Accidents can happen with or without component failure. Software always does what you tell it to do. It is better to design it properly.

Redundancy doesn't always solve problems. Redundancy can cause new problems and it is not always the answer. You must be very careful.

We must take a systematic view of accidents. You really need to understand the whole system, how these components are interacting and interacting with the human. And human behavior is always influenced by both design and context.

Safety and reliability they are not identical.

So once again, the software did exactly what it was designed to do. But the design didn't incorporate all of the human factors that people really needed to use it.

The system safety is a very important field and it can be applied to many areas of human life besides just aerospace. E.g.: nuclear power, health care, nanotechnology etc.

Each country has official websites for the results of aviation accident investigations [3, 4]. When you read about an accident, try to see if you can understand something about what happened.

But there are many other aspects of the safety in aerospace engineering and the effect of material properties on it. Nanotechnology safety in the aerospace Industry will be the subject of our next future study [8, 9].

References:

1. Норман, Д. Дизайн привычных вещей, Litres, 2020.
2. Norman, D. A. The Design of Everyday Things, 1988. Currency Doubleday, New York, 2013.
3. <https://www.mtitc.government.bg/bg/category/193/okonchatelni-dokladi-ot-priklyuchili-razsledvaniya-na-aviacionni-subitiya-prez-2020-godina>; Доклады от авиационно разследване в България.
4. НАРЕДБА № 13 от 27.01.1999 г. за разследване на авиационни Происшествия.
5. Alderliesten, R. (2018). Introduction to Aerospace Structures and Materials. Delft University of Technology; DOI: <https://doi.org/10.5074/t.2018.003>; ISBN 978-94-6366-075-4.
6. Stapelberg, R. F. (2009). Handbook of reliability, availability, maintainability and safety in engineering design. Springer Science & Business Media.
7. Grote, K.-H., H. Hefazi (Eds.). Springer Handbook of. Mechanical Engineering; ISBN 13: 9783030470340; Springer International Publishing; 2021.
8. Miteva, A..On the microstructure and mechanical properties of nanocomposites, Proceedings SES 2012, ISSN 1313–3888, Sofia, Bulgaria; 220–225, 2013.
9. Asmatulu, R. (Ed.). Nanotechnology safety, Newnes, 2013.
10. Miteva, A.. Nanotechnology in military applications, Proceedings SES 2020, Sofia; p-ISSN 2603–3313; e-ISSN 2603–3321; 362–366, 2020.
11. <https://courses.edx.org/courses/course-...>
12. <https://youtu.be/8jjVmWHWLP0>.

HARDNESS – TYPES AND APPLICATION

Anna Bouzekova - Penkova

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
email: a_bouzekova@abv.bg*

Keywords: *Hardness, hardness tests, metals, alloys, hardness testers*

Abstract: *This article presents a brief review on the types of hardness and various methods for measuring it, namely through Brinell, Rockwell, Vickers, Knoop and others. The factors influencing the choice of hardness measurement methods and applications for hardness measurement on different materials are considered.*

ТВЪРДОСТ – ВИДОВЕ И ПРИЛОЖЕНИЕ

Анна Бузекова - Пенкова

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
email: a_bouzekova@abv.bg*

Ключови думи: *Твърдост, тестове за твърдост, метали, сплави, твърдомери*

Резюме: *В тази статия се прави преглед на видовете твърдост и на различните методи за измерване на твърдостта, а именно Бринел, Рокуел, Викерс, Кнуп и други. Разгледани са факторите, които оказват влияние върху избора на методите за измерване на твърдостта и приложенията за измерването на твърдост върху различни материали.*

Introduction

Each engineering and design activity is associated with the calculation and sizing of mechanically loaded parts and structures operating in various conditions both on Earth and in space. Therefore, the main mechanical characteristic that determines the behavior and suitability of any material is hardness. It is defined as the property of a material to withstand a uniformly and gradually increasing load of a certain size applied to it, causing a compressive stress on its surface. The test is fast, relatively easy, and can be applied to the finished product without damaging or destroying the material [1-10].

Most often, the hardness of substances is measured in special units - kgf/mm² (kilogram-force per square millimeter of area). It is evaluated by the so-called hardness number, which characterizes the stability of the material. The size of the numbers is determined according to the measurement principle, denoted by the Latin letters HB (Brinell method), HV (Vickers method), HR (Rockwell method) [2, 3, 4, 7, 10].

There are three main types of hardness:

- Surface (determined by the ratio of the size of the load to the surface of the imprint);
- Projection (the ratio of the load to the projection area of the imprint);
- Volume (ratio of load to imprint volume).

In addition, the hardness of physical bodies is measured in four ranges:

- Nanohardness. The nano range only controls the penetration depth of the indenter, which should be less than 0.2 microns.
- Microhardness. The micro range adjusts the load value of the indenter up to 2 N (1 - 200 g) and the penetration depth of the indenter is more than 0.2 µm.
- Hardness at low loads. The macro range regulates the amount of load on the indenter from 200 g to 5 kgf.

- Macrohardness. The macro range adjusts the load on the indenter from 2 to 30 kN [2, 4, 10].

Types of hardness measurement methods

According to the method of applying the load, hardness testing methods are divided into static and dynamic.

Static methods: In static methods, the degree of penetration of the indenter into the material is assessed (dent or scratch method). In this case, the hardness value is equal to the load relative to the indentation surface or is inversely proportional to the indentation depth at a given fixed load. The imprint is usually made with a hardened steel sphere (Brinell and Rockwell methods), a diamond cone (Rockwell method) or a diamond pyramid (Vickers method, micro hardness measurement). Since a steel sphere and a diamond cone are used to determine the hardness by the Rockwell method, additional notations are often introduced - V (ball) and A (cone). Using special tables or diagrams, we can recalculate the hardness numbers. The Rockwell hardness number can be converted to a Brinell hardness number.

• Hardness determination by the Brinell method (HB)

The hardness determined by this method is denoted HB, where H - hardness (from English - hardness), B - Brinell (the method is named after the Swedish engineer J. A. Brinell).

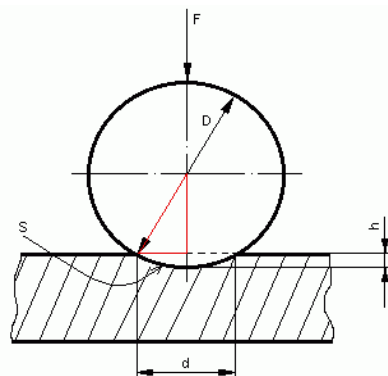


Fig. 1. Brinell hardness test

The test temperature must be within the range of 20 ± 10 °C. The measurement is carried out by inserting a hardened steel ball of diameter D into the test piece under a load F applied for a specified time. After removing the action of the load, the diameter d of the imprint on the surface is measured. The Brinell hardness number is defined as the ratio between the applied load and the face of the spherical imprint [1].

$$(1) \quad HB = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi D h} ;$$

$$(2) \quad HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} .$$

Where: F - load in N (kgf); S is the area of the recess in mm²; h is the depth of penetration (of the imprint); D is the diameter of the steel ball in mm; d – imprint diameter, mm.

The values of the diameter of the sphere D and the force F are chosen according to the following dependence:

- D is selected according to the sample thickness δ and can be from 2 to 10 mm. The imprint on the sample must not exceed 0, 25 to 0,6. D or $d = (0.25 \text{ to } 0.6) \cdot D$.

- F is chosen according to the type of material and must be proportional to the square of the ball diameter and is 43, 36, 29, 7, and 1.54 kN (3000, 750 and 187.5 kg, respectively). It works for a certain time depending on the material; for example, for ferrous metals 10 or 30 seconds, for non-ferrous metals 30 seconds and for bearing alloys it is 60 seconds.

The hardness by this method is recorded in units without dimension before its designation, which may be: HBS when using a steel ball for metals with a hardness of less than 450 units; HBW - when using a hard alloy ball with a hardness from 450 to 650 units [1-4].

• Determination of hardness by the Rockwell method (HR)

The hardness determined by this method is designated HR, where H is hardness (from English - hardness), R - according to Rockwell (the method is named after the American metallurgist S. Rockwell who developed this method).

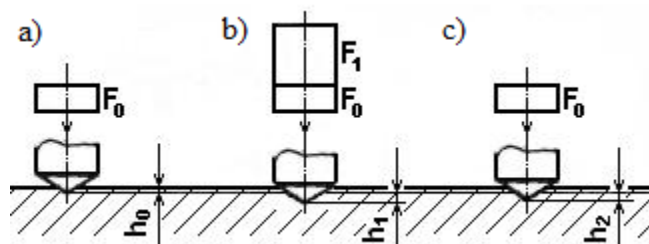


Fig. 2. Rockwell hardness test

When measuring hardness by this method, the penetrating body is a diamond cone (for hard materials and hardened steels) with a peak angle of $120^\circ \pm 30^\circ$ (Fig. 2) and a spherical curvature at the tip with a radius of 0.2 mm. For testing softer materials, a hardened steel sphere with a diameter of 1.588 mm is used as an indenter. Rockwell hardness is determined by the depth of insertion of the indenter (cone or sphere) into the material under study. The measurement is performed using an indicator clock. It detects the penetration of the indenter into the material. For the numerical characteristic of the hardness, a conditional scale with numbers is introduced, plotted in the reverse order of the movement of the arrow. The sinking of the tip to a depth of 0.002 mm corresponds to a division of the hardness reading scale. One full turn of the arrow corresponds to a penetration of 0.2 mm. With the assumed direction of movement of the arrow, the greater the sinking, the lower the value obtained for the hardness.

The loading is performed in the following sequence. The diamond cone (or sphere) is pressed against the surface of the object with a force F_0 (preload), as a result of which it sinks to a certain depth (Fig. 2a). This position is taken as the starting point, the scale of the indicator with which the penetration is measured is adjusted so that its arrow under the action of the preload F_0 shows 0 (100). Then to the force F_0 is added another, larger force F_1 - the main load (Fig. 2b). Under the action of the total load $F = F_0 + F_1$ the cone penetrates to a greater depth. At this moment, the entire device is under stress and undergoes elastic deformations, which are also read by the indicator. Consequently, its arrow shows the sum of the depth of sinking under the action of the second (main) load F_1 and the deformations of the instrument. The main load F_1 is removed (Fig. 2c), as a result of which only the preliminary load F_0 remains on the cone. In this case, the hand of the indicator clock returns as much as the elastic deformations of the instrument and the test material caused by the action of the second load F_1 .

Depending on the type of nozzle, the load is different. For a cone, a preload $F_0 = 98.1$ N (10 kgf) and a main load $F_1 = 1342$ N (140 kgf) are used, i.e. the total load is $F = 1470$ N (150 kgf). The reading is done on the scale "C" of the device ("C" - cone-cone), which has 100 divisions. For a sphere, the same preload F_0 and main load $F_1 = 882$ N (90 kgf) are introduced, i.e. the total load is $F = 981$ N (100 kgf). The test is performed in the same way, but a scale "B" ("B" - Ball-sphere) is used, which has 130 divisions. It is applied for hardness from 60 HB to 240 HB. Reported hardness is between 25 and 100 HRB.

Under the conditions adopted in this way, the Rockwell hardness, expressed in arbitrary units, is associated with the sinking of the indenter by the following formulas:

$$(3) \quad \text{HRC} = 100 - \frac{h - h_0}{0,002} \quad \text{- for scale "C";}$$

$$(4) \quad \text{HRC} = 130 - \frac{h - h_0}{0,002} \quad \text{- for scale "B".}$$

The "A" scale is sometimes used. It operates with a diamond cone and a total load of $F = 588$ N (60 kgf) at the same preload F_0 . This scale is used for Vickers hardness above 700 HV. Hardness scales from 70 HRA to 86.5 HRA can be reported. On the indicator, the two scales ("A" and "C") coincide and are marked with the letter "C" [1-4].

• Determination of hardness by the Vickers method (HV)

The hardness determined by this method is denoted HV, where H is hardness (from English - hardness), V - Vickers (on behalf of the English military industrial concern Vickers Limited).

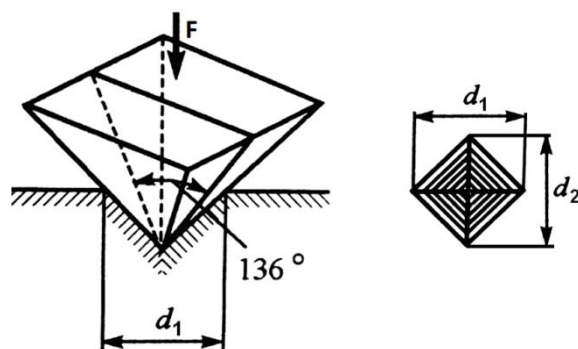


Fig. 3. Vickers hardness test

This method is universal. The hardness test is carried out in the same way as in the Brinell method, but for the penetrating body, a tetrahedral diamond pyramid with an apex angle of $136^\circ \pm 20^\circ$ is used, pressed against the surface (Fig. 3). Hardness is calculated as the ratio of the load applied to the pyramid to the area of the imprint (in addition, the area of the imprint is taken as the area of a part of the surface of the pyramid, and not as the area of the rhombus).

$$(5) \quad HV = \frac{F}{S}, \text{MPa(kgf/mm}^2\text{)}.$$

To calculate the area of an imprint, its diagonals are measured with an accuracy of 0.001 mm and their arithmetic mean is determined.

$$(6) \quad S = \frac{d^2}{2\cos 22^\circ} = \frac{d^2}{1,8544} = \text{mm}^2,$$

$$(7) \quad HV = \frac{F}{S} = \frac{1,8544F}{d^2}, \text{MPa(kgf/mm}^2\text{)},$$

where F is in kgf and S is mm^2 .

The diagonals of the imprint are measured with a microscope attached to the instrument. Determination of hardness is carried out according to tables, as in the Brinell method [1-4].

• Determination of hardness by the Knoop method (HK)

The hardness determined by this method is denoted HK, where H - hardness (from English - hardness), K - Knoop (Knoop). The Knoop method is sometimes used to more accurately measure the hardness of very thin layers. The method is an improved modern version of the Vickers method [9]. The diamond tip is pyramid-shaped with a diamond-shaped cross-section. The imprint has diagonals of different lengths, one of which is 7 times longer than the other. Imprint depth is 1/30 of the length of the large diagonal. The resulting hardness, determined by measuring the large diagonal, is called Knoop hardness [5-8].

Dynamic methods: Dynamic methods estimate the energy loss when interacting with the material [1]. The measure of hardness is the height of the bounce of a steel ball from the surface of the studied metal (Poldi's method, Shore's method) or the decay time of the oscillation of the pendulum whose support is the studied metal (Kuznetsov - Herbert - Rebinder method).

• Determination of hardness by the Poldi method (HP)

The hardness determined by this method is denoted by HP, where H - hardness (from English - hardness), P - Poldi. The hardness test is performed with a steel sphere which strikes both the test metal and the reference sample (Fig. 4a), the hardness of which is known. The comparison of the obtained imprints on the standard and the tested material allows determining the hardness of the latter. The hardness of the test material is determined by the following formula:

$$(8) \quad HP = HB = \frac{HB_0(D - \sqrt{D^2 - d_0^2})}{D - \sqrt{D^2 - d^2}};$$

where D is the diameter of the steel ball; d is the diameter of the recess on the surface of the test material; d_0 - diameter of the reference sample [2,8].

• Determination of hardness by the Shore method (HSx)

The hardness determined by this method is denoted HSx, where H - hardness (from English - hardness), S - Shore (on behalf of Albert Shore), x - scale type.

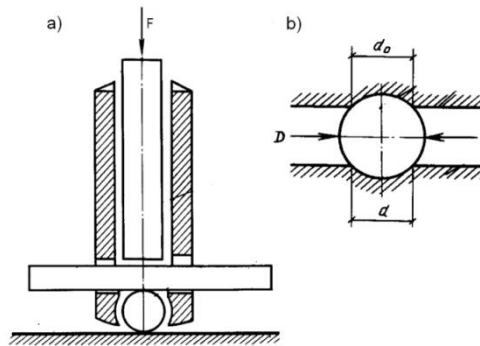


Fig. 4. Poldi hardness test:
a) Poldi percussion device, b) imprint made of steel sphere

The measurement is based on the free fall of the diamond indicator onto the test surface from a certain height. For testing, special equipment is used to accurately record the height of the rebound. The mass of the used impactor with a diamond tip is 36 grams. This method uses two types of indentation, shown in Figure 5 [2,8].

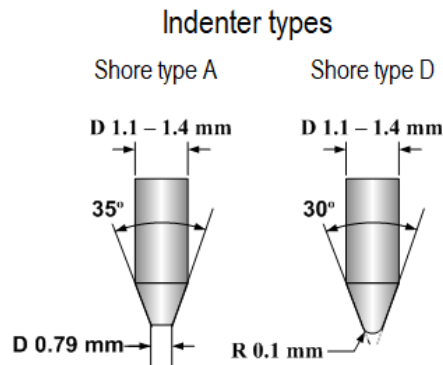


Fig. 5. Shore hardness test: a) indenter type A (for soft materials), b) indenter type D (for hard materials)

• Determination of hardness by the Kuznetsov - Herbert - Rebinder method

The hardness is determined by the decay time of the oscillations of the pendulum, which is supported by the metal under study [2].

Application of the methods and conclusion

The choice of hardness testing method depends on several factors: the level of hardness (and scale limitations), sample thickness, size and shape of the workpiece, flatness and condition of the sample surface, location of the dent, productivity, and type of tested material, measurement tasks, conditions for its implementation, available equipment and other factors. It is important to select a suitable hardness scale for good repeatability of test results. The choice of a suitable hardness scale depends on the expected hardness range of the material under test (which can be determined from its overall composition and processing history or some trial and error) and the type of indenter. Sometimes, however, the scale has to be defined and chosen to suit a given set of circumstances. In general, the scale using a diamond indenter (Rockwell and Vickers) is used to test hardened steels and alloys; while ball indents (Brinell and Rockwell) are used for more ductile materials.

Depending on the scale used in the Shore hardness testers, they are used to measure:

- Shore A - measuring the hardness of rubber, elastomers, neoprene, silicone, vinyl, soft plastics, felt, leather and other similar materials;
- Shore D - measuring the hardness of plastics, PVC, epoxy resins, plexiglass, etc.;
- Shore A0 - measuring the hardness of foam, sponges, etc.

Materials are the foundation of all human activity. Without improving their mechanical properties, including hardness and its measurements, the development of mankind (as well as aerospace and related industries) would be unthinkable. According to the obtained value of hardness, preliminary

conclusions can be made for other mechanical properties of the metal (alloy), as most of the properties of metals and alloys are determined by the same indicator - their structure and their heat treatment; the hardness measurement makes it possible to assess the presence (or absence) of hardened surfaces in parts as a result of different types of heat treatment of alloys associated with a change in the cross-sectional structure of the part [1, 6, 10, 11]. As an example: it is possible to create the tensile curve of the materials by hardness measurement results on the application of a method of finite element. In the future, due to the lack of unified world standards of hardness, an analysis of the compliance of our and foreign standards for methods of measuring hardness can be carried out.

In our department in SRTI-BAS was synthesized a new Al-based alloy, namely aluminum alloy 7075 strengthened with nanoparticles of diamond powder and Tungsten.

Several samples of the so modified, with nanodiamonds and TungstenW, aluminium alloy 7075 (AA7075+W+ND), prepared in our department, were a part of the DP-PM module of the international outer space experiment "Obstanovka" (carried out in the Russian sector of the International Space Station).

The aim of this international space experiment was to investigate influence of the outer space environment on the properties of the alloy (AA7075+W+ND) for 28 months. After this exposure to the outer space influence, the samples were returned to the Earth for future research. Today the comparative analysis of the properties of the samples, including the hardness measurements, (One of the samples was stored in terrestrial conditions, and the other sample was mounted on the outside of the International

Space station for the same period) has already been done [12-14]. They need to be checked to see if the data has changed over time.

References:

1. Geller, Yu. A., A. G. Rakhshadt. Materials Science, Metallurgiya [in Russian], Moscow, 1975.
2. Metals Handbook, 9th ed., Mechanical Testing, Vol. 8, 1990.
3. Dieter, G., Mechanical Metallurgy, S1 ed., Mc Graw Hill, 1986.
4. Dowling, Mechanical Behavior of Materials, Prentice Hall, 1993.
5. Dumanskiy, I. O., V. M. Aleksandrov, V. L. Sytin, Measurements of hardness of metals and alloys Arkhangel'sk: SAFU, 2013 [in Russian].
6. Anikin, A. A., S. B. Venig, A. G. Zhukov, S. B. Stetsyura, K. Yu. Chernenkov. Metallurgy, Saratov, 2015 [in Russian].
7. Herrmann, K., et al. (ed.). Hardness testing: principles and applications. ASM International, 2011.
8. Vasilevich, Yu. V., Ye. Yu. Neumerzhitskaya, A. M. YAznevich, N. N. Kuzmenko. Measurement of hardness of metals, Minsk, 2010 [in Russian].
9. Brinell, J. A., II Cong. Int. Méthodes d'Essai (Brief on steel ball tests) (Paris), 1900 [in French].
10. Tabor, D.. The Hardness of Metals, Clarendon Press, Oxford, 1951.
11. Miteva, A.. On the microstructure and strengthening of aluminium and aluminium alloys, Tribological Journal BULTRIB, BULTRIB '12, Sofia 2013, 3, pp. 367–370.
12. Bouzekova – Penkova, A.. Investigations of the mechanical properties of a dispersion-reinforced aluminum alloy intended for outer space, SES 2013, Sofia, Bulgaria, 2013, pp. 492–496.
13. Bouzekova – Penkova, A., K. Grigorov, M. Datcheva, C. A. Cunha. Influence of the outer space on Nanohardness properties of Al- based alloy, C. R. Acad. Bulg. Sci., 69 (10), 2016, pp. 1351–1354.
14. Bouzekova-Penkova, A., M. Datcheva, R. Iankov. Mechanical properties of the enhanced with nanodiamond and tungsten strengthened aluminium alloy being exposed in the Outer space, International Journal "NDT Days", Vol. II (4), 2019, pp. 396–401.