

**Справка за научните приноси  
от доцент д-р Росица Стойчева Митева**

по конкурс за заемане на академична длъжност „професор“ (обявен в ДВ №47 от 04.06.2024 г.) в област на висше образование 4.1 Физически науки, по научна специалност „Хелиофизика“ на тема „**Изследване на слънчевата активност и космическото време**“ за нуждите на отдел „Слънце и слънчева система“ в Института по астрономия с Национална астрономическа обсерватория - Българска академия на науките (ИАНАО-БАН)

Научните изследвания след докторската ми степен са основно на тема слънчева активност, космическо време и техните прояви по време на два слънчеви цикли, което е изцяло по тематиката на обявения конкурс в ИАНАО-БАН.

За настоящия конкурс са представени 22 реферирани и индексирани в Scopus и/или Web of Science статии и доклади на конференции, които са публикувани за периода 2020-2024 година. Описаните резултати са свързани предимно с обработката на голям брой слънчеви събития, извършване на статистически анализ, предлагане на набор от критерии и осъществяване на взаимовръзката им с други прояви на космическото време, както и изграждането и поддържането на онлайн платформа със свободен достъп до пълната версия на каталозите. Използваните архивни бази данни са със свободен достъп. Следните прояви на слънчева активност са разгледани тук, а именно слънчеви избухвания, коронално изхвърляне на маса и енергетични протони и електрони. Космическо време е термин, описващ влиянието на слънчевата активност върху хелиосферата, планетните магнитосфери и атмосфери, технологии и човешко здраве, а основни прояви са междупланетните облаци от плазма и ударни вълни, геомагнитните бури и космическа радиация.

Кратък обзор на екстремните прояви на слънчева активност и космическо време са описани в статия **В1**, където са определени 50-те най-интензивни слънчеви избухвания, коронални изхвърляния на маса, енергетични протонни събития и геомагнитни бури от началото на индивидуалните им наблюдения и е намерена взаимната връзка между тях. Целта на изследването е установяване на скалиращи зависимости между силни събития, като е доказано, че интензивност в една проява на слънчева активност не означава непременно силни съпътстващи слънчеви събития. Поведението на различни прояви на космическо време по време на последните два слънчеви цикъла е количествено изследвано в статия **Г14**.

**1. Статистически анализ на слънчеви енергетични частици и връзката им с проявите на космическото време**

**1.1 in-situ Протони**

В статия **Г1** за първи път се предлага начин за корекция на интензитета на енергетични протони регистрирани от спътника SOHO/ERNE на енергии около 25 и 50 MeV, поради насищане на детекторите. За целта са използвани потоците на същите

събития, но наблюдавани с независим инструмент на спътника Wind/EPACT и е направена линейна корелация на потоците от свата спътника. В работата показваме, че въпреки за избрани събития корекцията на потока може да е голяма (намерени са разлики до 300 DPFU при ниските енергии и над 20 DPFU при високите), това не се отразява на резултатите от корелационния анализ, т.е. разликата е по-малка от пресметнатата статистическата грешка. Тези резултати имат значение при използване на данните от SOHO/ERNE във всички последващи изследвания.

Допълнително е изследвано влиянието на морфологията на активните области, източник на изследваните слънчеви събития, върху спектрите на енергетични протони, както и микровълновите емисии за набор от събития, свързани със силни слънчеви избухвания - над клад М5 през слънчев цикъл 23 (Г3). Активните области са групирани в група (А), които следват законите динамо теорията (Hale polarity law, Joy tilt law и др.), група (В) съставена от биполярни/мултиполярни слънчеви петна и група (U) - от единични слънчеви петна. Резултатите показват следното разпределение: А - 30%, В - 63%, U - 7%, въпреки че група А е най-многобройната от всички наблюдавани активни области. Пресметнат е спектралният индекс от микровълнови данни (т.е. в GHz радио диапазон). Намерена е силна корелация само между спектралните свойства на протонните събития или микровълновия (електронен) спектрален индекс с максимума на радиоemisията при група А+U. Резултатите имат значение при определяне на мястото откъдето протоните напускат слънчевата корона като за група В са определени по-високи стойности.

Наблюдения на протонни събития и определяне на техните свойства са използвани както като входни данни при моделиране на ускорението им и тяхното последващо разпространение от слънчевата корона до Земята (Г4), така и в сравнителния анализ между получените синтетични профили с наблюдаваните и оценка на модела. Това показва, че анализът на наблюдения е незаменима част при изграждането на физически модели базирани на реални събития. Работата е включена в обзорна статия (Г12) по прогнозиране на слънчеви енергетични частици. Моделът описан в Г4 е използван при подробния анализ на 26 протонни събития, свързани с коронални фронтни вълни (Г10), а именно за количествено описание на кинематиката на ударни вълни и параметрите на плазмата.

Нов каталог от слънчеви енергетични протони (максимум и интегрална стойност на потоците) в 10 енергетични канала (от 10 до 100 MeV) и свързаните с тях събития на космическо време е в процес на изграждане и ще бъде публикуван със свободен достъп.

## **1.2 in-situ Електрони**

Изграден е първият по рода си списък от 965 (800) in-situ наблюдавани слънчеви електрони използвайки данни от спътника ACE/EPAM с енергия в диапазона 103-175 keV (175-315 keV) за периода от 1997 до 2019 година (т.е. два пълни слънчеви цикъла), а резултатите са описани в статия **В2**. Първоначално събитията са определени визуално, като наблюдателят избира периода на фоновия поток и област около максимума на интензитета, а процедура пресмята средната стойност на фона, времето на началото и максимума, както и амплитудата и интегралния поток на събитието. За първи път е използван корелационен анализ, премахвайки влиянието на два контролни параметъра от

основната двойка параметри - като зависимостта между потока на слънчевите електрони от слънчевите избухвания е по-силна, в сравнение с тази от короналната маса (но разликата е в рамките на статистическата грешка). Установено е, че само около 30% (за ниски енергии) и 40% (високи) от електроните са придружени и от протонни събития.

## **2. Изследване на връзката на слънчевите избухвания с различни прояви на космическото време**

По тази тема за първи път е приключен систематичен преглед и определяне на взаимовръзката между слънчевите избухвания с други еруптивни процеси в слънчевата корона, както и със събития на космическо време.

### **2.1 Слънчеви избухвания от X-клас**

В статия **Г2** е представено изследване на 175 от най-интензивните слънчеви избухвания, от тип X (или поток в мекия рентген над  $10^{-4} \text{ W/m}^2$ ) по време на слънчеви цикли 23 и 24. Намерена е тяхната асоциация с: изхвърляне на коронална маса (съответствие в 76% от случаите като средната скорост е над 1100 km/s), междупланетни радио-избухвания от тип III (78%), конфигурация на слънчеви петна (57% с  $\beta\gamma\delta$ ), слънчеви енергетични протони (38%), геомагнитни бури (11%), както и разпределението им по големина на съответните параметри (съответно, интензитети, скорости, ъглови ширини, време, местоположение върху слънчевия диск). Предложен е метод за оценка на еруптивност на слънчевите избухвания като комбинация от наличието на определени наблюдателни характеристики като най-рестриктивният от тях е свързан с най-интензивните прояви на слънчева активност. Потвърждават се предишни оценки (10%) за броя на X-тип избухвания, които не са еруптивни, а именно 13% за целия период от два слънчеви цикъла.

### **2.2 Слънчеви избухвания от M-клас**

Приключен е статистически анализ на почти 2200 слънчеви избухвания от тип M (потоци в мекия рентген над  $10^{-5}$ , но под  $10^{-4} \text{ W/m}^2$ ), описан в статия **В3** с цел определяне на приложимостта на този тип избухвания при прогнозиране на космическото време. Намерено е тяхното разпределение по слънчеви цикли 23 и 24, интензитет на емисията, време на нарастване (от начало до максимум), време на спад (от максимум до край на потока), хелио-ширина и дължина, скорости и ъглова ширина на свързаните с тях изхвърляния на коронална маса (41% за целия период, средна скорост около 600 km/s), тип на слънчеви петна (предимно от  $\beta$ ,  $\beta\gamma$  и  $\beta\gamma\delta$  магнитна конфигурация), брой и интензитет на слънчеви протонни (6%) и електронни събития (11%), междупланетни радио-избухвания от тип II (7%) и III (50%). Основните резултати включват и разпределение на горните асоциации в зависимост от големината на M-клас избухванията, т.е. от M1 до M8/9.

### 3. Изследване на слънчевите радиоизбухвания и връзката им с прояви на космическото време

#### 3.1 Радиоибухвания свързани със слънчеви енергетични електрони

Предишните работи по темата на конкурса включваха изследване на връзката между енергетични протони и радиоизбухвания. Тъй като радиоизбухванията са емисия от ускорени електрони, по-коректно е да се търсят зависимости с енергетични електрони, което е направено за първи път (В4). Съставянето на такъв каталог (В2) даде възможност да направим количествена оценка на тяхната взаимна връзка като за целта използвахме данни от 10 наземни радиообсерватория и 1 спътник и покрихме широк диапазон от радиочестоти (от 20 kHz до 3 GHz, разделени в 6 честотни интервала). А именно, в статия В4 са описани следните резултати след статистически анализ на радиоизбухванията свързани с над 830 електронни събития: разпределение на радиоизбухвания от тип II, III, IV: по честоти; в слънчеви цикли 23 и 24; в зависимост от хелио-дължината на активната област, от която произхождат потоците от електрони (междупланетните тип II, IV са по-често срещани и имат източна хелио-дължина, допълнително тип II са по-често наблюдавани при протонни събития в сравнение със слънчевите електрони); в зависимост от интензитета на потоците от електрони и в зависимост от интензитета на слънчевите избухвания и короналната маса (силна слънчева активност води до 30% повече радио-събития, особено за тип II и IV). Направена е и количествена оценка за източника на ускорени електрони: след изключване на липсата на данни, слънчевите избухвания имат принос за 29% от всички събития (горна граница), короналната маса за 18%, а смесен произход е установен при 17%.

#### 3.2 Каталог от радиоизбухвания от тип II

Съставен е каталог от слънчеви радиоизбухвания от тип II (които са емисия в следствие на разпространение на ударни вълни в короната) в диапазон 25-180 MHz и е определен е техния произход (74% със слънчеви избухвания и 73% с коронална маса). Изследването (Г9) покрива слънчев цикъл 24 и представя списък от 429 тип II, определени визуално от радио спектрите. Освен параметрично изследване на тези събития, е намерена и скоростта на ударните вълни прилагайки 3 различни модела. Не е открита силна корелация между скоростите на радиоизбухванията и скоростта на короналното изхвърляне на маса. Направена е оценка на радиоизбухвания придружени от единична проява на слънчева активност като и в двата случая оценките са около 10% от всички.

Изследването е разширено (Г18) като са включени резултати и от междупланетни радиоизбухвания от тип II (емисия в междупланетната среда) като общия брой на събитията достигна 518, разпределени в 3 категории: коронални, междупланетни и смесени. Тези радиоемисии са асоциирани с различни прояви на слънчева активност и космическо време (описани с общо 9 параметъра). Представени са количествени оценки за съвместната им поява и разпределението им като функция на интензитета на събитията. Обсъдено е и приложението им в модели за прогнозиране на космическо време.

#### **4. Изследване на геомагнитни бури, техните слънчеви и междупланетни източници**

##### **4.1 Силни геомагнитни бури**

Направен е корелационен анализ между 18 параметъра за 111 силни геомагнитни бури, т.е. с големина на Dst индекса надвишаващ 100 nT (**Г7**). Най-силна корелация е намерена между Dst и производението между скоростта на слънчевия вятър с южната компонента на междупланетното магнитно поле, както и със скоростта на междупланетните коронални изхвърляния на маса. Значително по-слаба е връзката между геомагнитните бури и останалите прояви на космическо време: избухвания, коронална маса, енергетични частици, плътност и налягане на потоците от слънчев вятър. Потвърдени са резултатите от предишни изследвания като е направена количествена оценка на по-честата поява на геомагнитни бури след бързи (44%) и хало (75%) тип изхвърляне на коронална маса, асоциацията им с енергетични частици е около 30%, а с избухванията варира между 30-40% в зависимост от интензитета. Другата посока на асоциацията също е направена, като оценките дават много ниски стойности, под 10%.

За по-малка извадка (25 геомагнитни бури) е направено статистическо изследване за влияние на посоката на короналното изхвърляне на маса и грешките при определяне на техните скорости (**Г5**). А именно, използвайки методи за 3D визуализация е направена оценка за пространствената скорост на 12 от тези избухвания, използвайки 3 модела (сферичен, елиптичен и цилиндричен). Включително е направена оценка за грешката при определяне на скоростите. Повторен е корелационния анализ с различни параметри на слънчевата плазма и Dst индекса на геомагнитната буря. Показано е, че комбинацията от силни скорости и подходяща ориентация (директно насочени към Земята) на короналната маса има положителен ефект върху появата и интензитета на геомагнитната буря.

##### **4.2 Слаби геомагнитни бури**

В доклад на конференция (**Г8**) е представена първата версия на каталог от слаби (Dst индекс под -50 nT) до силни геомагнитни бури по време на слънчев цикъл 24 (171 събития). Предложена е методика за асоциацията им с коронална маса и междупланетни ударни вълни (около 40% във всеки от случаите).

Горният каталог е разширен до 546 геомагнитни бури (**Г6**) и е направен сравнителен анализ с повече прояви на слънчева активност, вкл. слънчеви избухвания и енергетични частици: протони и електрони. Междупланетният и/или слънчевият произход на геомагнитните бури е определен и е представен корелационен анализ. Появата на изследваните събития на космическото време е също определена. Получените резултати са сравнени с тези за силни геомагнитни бури (**Г7**), които очаквано показват по-силна зависимост във всички показатели. Докладваните количествени оценки и в двете статии могат да се използват при изграждането на модели за прогнозиране.

## 5. Изграждане на каталози на слънчеви еруптивни събития и космическо време

На базата на представените научни изследвания и с цел тяхната широка популяризация, по моя инициатива в ИАНАО-БАН сме изградили онлайн платформа със свободен достъп <https://catalogs.astro.bas.bg/>, където различните каталози са дадени в табличен вид:

- Слънчеви енергетични протони
- Слънчеви избухвания от X и M-тип
- Радио избухвания, свързани с енергетични частици
- Геомагнитни бури
- Радио избухвания от тип II

С изключение на последния каталог, който покрива само слънчев цикъл 24, останалите каталози включват събития за слънчеви цикли 23 и 24.

### Сътрудничества

Допълнително в конкурса са представени статии в сътрудничество с други колективи относно изследване на атмосферни промени по време на пълни слънчеви затъмнения (Г13), с цел изграждане на прототипи за йонизиращо лъчение (Г15, Г16 и Г17), както и на радиоантена (патент) за наблюдение на слънчеви избухвания.

Две статии (Г11 и Г12) в колектив от повече от 30 съавтора, за включени за сведение.

### Нови научни направления

Планираните изследвания в близко бъдеще са свързани с обработката на радио-данни от станцията LOFAR, с цел подкрепа на екипа при експлоатация на получените данни от българската станция LOFAR-BG.

Допълнително интерес за мен представлява и предстоящото изграждане на станция за слънчеви наблюдения в оптичния диапазон, както за самостоятелни научни изследвания и мониторинг на слънчевата активност, така и в подкрепа на радио-наблюденията.

Личен интерес представлява също така и изследването на влиянието на космическото време върху спътници и космически отломки, с цел изграждане на наблюдателен екип в България и обработка на събраните данни.

01.08.2024

/д-р Росица Митева/