

УДК 523.98+550.385+573.6
№ держреєстрації 0115U004031
Інв. №

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г.В. КАРПЕНКА
(ФМІ)**

79060, м. Львів-60, вул. Наукова, 5
тел. (032)2633088, факс (032)2649427

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ФМІ НАН України
академік НАН України
З.Т. Назарчук

2015.12.09

АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

“Комплексні дослідження геофективних проявів сонячної активності та її впливу на екологічну стабільність біогеосистем природно-заповідних територій”

Етап 3 “Дослідження зв’язків активних сонячних процесів та супроводжуючих їх геофізичних ефектів, змін регіонального клімату та окремих популяцій біоти Шацького біосферного резервату”

(назва наукової роботи)

Шифр теми П-64-15

Керівник НДР
пров. наук. співр.
канд. техн. наук, ст. наук. співр.
В.В. Кошовий

2015.12.01
Зав. відділу ФМІ НАН України
д-р техн. наук, проф.
Б.П. Русин

2015.12.01

Львів 2015

Рукопис закінчено 01 грудня 2015 р.

Керівник НДР

пров. наук. співр. відділу 8, к.т.н., ст.н.с.

В.В. Кошовий

Відповідальні виконавці

зав. лаб. відділу 8, к. т. н.

О.Л. Івантишин

ст. н. с. відділу 8, к. б. н.

І.М. Горбань

зав. відділу ЛЦ ІКД НАНУ та ДКАУ, к.т.н.

М.О. Мельник

Виконавці від ФМІ НАНУ

ст. н. с. відділу 8, к.т.н., ст.н.с.

І.М. Романишин

м. н. с. відділу 8

А.Б. Лозинський

м. н. с. відділу 8

О.В. Альохіна

гол. інж. відділу 8

Б.С. Харченко

пров. інж. відділу 8

І.Й. Курсіш

інж. I кат відділу 8

Х.О. Петрів

інж. I кат відділу 8

М.М. Корусь

інж. II кат відділу 8

Д.В. Івченко

ст.н.с., к.б.н.

П. Т. Ященко

Виконавці від ЛЦ ІКД НАН та НКА України

зав. лаб.

Л.В. Альохіна

н.с.

В.П. Мезєнцев

заст. зав. лаб.

З.І. Любінецький

м.н.с

Л.М. Каратаєва

н.с

Р.Т. Ногач

пров. інж.

В.К. Ліпський

НДР виконується в рамках Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2012-2016 рр. та на підставі розпорядження Президії НАН України від 26.02.2015 № 122.

Мета роботи: Дослідити вплив космічних факторів, зокрема активних процесів у сонячній атмосфері, на еволюцію стану біотичних та абіотичних компонентів біогеосистем природно-заповідних територій (ПЗТ) та оцінити ступінь і динаміку впливу цих факторів на екологічну стабільність цих територій для зниження екологічних ризиків, тобто продовжити дослідження для експериментального підтвердження запропонованої авторами, на попередніх етапах проекту, гіпотези про необхідність розширеного трактування терміну “геоефективність” сонячної події.

Термін виконання НДР: 2013-2016 рр.

Плановий обсяг коштів на виконання роботи у 2015 р. - 75 тис. грн.

Основні завдання 3-го етапу НДР (2015 р.).

1. Продовження перманентних спостережень спорадичної компоненти декаметрового радіовипромінювання Сонця та наземний моніторинг інфразвукового та геоелектричного полів, синхронний з декаметровими радіоастрономічними спостереженнями сонячної активності.
2. Поточний комплексний екологічний моніторинг динаміки змін стану абіотичних та біотичних компонентів (зокрема, біоіндикаторів) природних екосистем Західного Полісся.
3. Обробка і порівняльний аналіз даних про сонячну активність і її вплив на геофізичні явища та екологічний стан біогеосистем природно-заповідних територій Західного Полісся.
4. Розробка моделі формування приземного природного атмосферного інфразвуку та геоелектричного поля під впливом сонячних спалахів.
5. Розробка і апробація робочого спеціалізованого програмного забезпечення обробки даних для автоматизованого виявлення та ідентифікації декаметрових сонячних радіосплесків.

Основні наукові результати, отримані при виконанні 3-го етапу НДР (2015 р.).

1. Запропоновано критерій виявлення геліообумовлених збурень геофізичних полів (інфразвукового та геоелектричного) і розроблена методика обчислення параметрів збурень цих полів на основі розгляду їх як періодично корельованих випадкових процесів, що дозволить встановити кореляційні залежності між параметрами сонячних явищ та геофізичних полів.

Встановлено, що коливання атмосферних інфразвуку і електричного поля мають хаотичний характер як по розмаху, так і за приблизними періодами змін. При тому, загальний характер цих нерегулярних коливань впродовж чотирьох–шести годин залишається тим самим: вони не мають середнього систематичного тренду, розмах коливань помітно не зростає і не зменшується, типові періоди змін їх значень також помітно не змінюються. Цього достатньо, щоб важати коливання інфразвуку і електричного поля в атмосфері впродовж декількох годин реалізаціями стаціонарного випадкового процесу (Яглом А.М. *Кореляційна теорія стаціонарних випадкових функцій*. Л.: Гидрометеоиздат, 1981 – 280с.).

Основною невинуватою характеристикою такого процесу $\xi(t)$ є кореляційна функція

$$R(u) = E[(\xi(t+u) - m)(\xi(t) - m)],$$

де m — математичне сподівання процесу $\xi(t)$,

E — знак усереднення по імовірнісному розподілу.

При випадковому характерові прийнятих сигналів вигляд кореляційної функції залишається незмінним до тих пір, поки не зміняться властивості самих сигналів. Крім цього, загасаючий характер кореляційної функції $R(u)$ зі зростанням u свідчить про відсутність в прийнятому сигналі регулярних коливань і про зменшення статистичного зв'язку відліків сигналів $\xi(t)$ і $\xi(t+u)$.

Тому ця модель вибрана для коректного виявлення питання про середній спектральний склад незбурених та збурених сонячною активністю коливань інфразвуку і атмосферного електричного поля.

З теорії випадкового стаціонарного процесу відомо:

$$f(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega t} R(u) d\omega,$$

де $f(\omega)$ — обмежена і неперервна функція ω , котра називається спектральною густиною процесу $\xi(t)$ і має зміст середнього спектру прийнятого сигналу.

Для знаходження моменту початку і тривалості геліообумовленого збурення інфразвуку і електричного поля доцільно використовувати огинаючу (в розумінні перетворення Гільберта) цих коливань.

З досвіду відомо, що і для інфразвуку, і для атмосферного електричного поля зміна огинаючих в часі від доби до доби має циклічний характер, тобто містить в собі приблизну повторюваність значень і випадкові відхилення від неї. Цього достатньо щоб вважати ці огинаючі реалізаціями періодично корельованого випадкового процесу (ПКВП). Математичне сподівання і середньоквадратичне відхилення ПКВП є не випадковими періодичними функціями часу, в даному випадку – доба (Драган Я.П., Рожков В.А., Яворский И.Н. *Методы вероятностного анали за ритміки океанологических процес сов. Л.: Гидролметеоиздат, 1987 – 319с.*).

З фізичних міркувань зрозуміло, що значення огинаючих незбурених інфразвуку і електричного поля не перевищують порогу, що задається сумою математичного сподівання і середньоквадратичного відхилення цих ПКВП для кожного моменту часу, а момент перевищення і час перебування огинаючої вище нього визначають час збудженого стану, однією із причин якого можуть бути сонячні спалахи. Для демонстрації суті інформаційної технології (ІТ), яка буде запропонована для виявлення геліообумовлених збурень природних геофізичних полів, які мають ритмічну структуру. На рис. 1, 2 наведено графіки, які характеризують часову залежність наступних параметрів цих полів зареєстрованих на природно-заповідній території Західного Полісся України:

- огинаюча і незбурений добовий хід природного інфразвуку, і поріг, що задається сумою математичного сподівання і середньоквадратичного відхилення ПКВП (верхній графік);

- сонячні збурення та збурення інфразвуку (середній графік);

- збурення атмосферного електричного поля (нижній графік).

Такий підхід дозволяє вивчити статистику часу початку і тривалості збудженого стану після початку сонячного спалаху, на основі якої в подальшому побудувати алгоритми оцінювання кореляційного зв'язку між сонячними спалахами і геліообумовленими збуреннями природних геофізичних полів.

Об'єктивний характер результатів такої методики визначення часу збурення атмосфери ґрунтується на тому факті, що при випадковому характері значень випадкового процесу його ймовірнісні характеристики є не випадковими.

2. Розвинута гіпотеза, яка покладена в основу розроблення моделі механізму формування геліообумовлених збурень приземного природного атмосферного інфразвуку і враховує сумарний вплив таких наслідків сонячних спалахів як сонячні космічні промені (СКП), посилений сонячний вітер та модульовані галактичні космічні промені (ГКП).

Враховуючи, що основними наслідками сонячних збурень (спалахи, КВМ) є СКП, посилений сонячний вітер та модульовані магнітними полями Сонця ГКП, то можна запропонувати наступну модель механізму формування геліообумовленого приземного природного атмосферного інфразвуку, яка враховує як послідовну дію кожного з цих чинників на середовище за певними фізичними механізмами, так і їх сумарну дію на основі явища оптико-акустичних перетворень в атмосфері (схематично представлена на рис. 3):

- вказані вище фізичні фактори, спричинені процесами сонячної активності, обумовлюють суттєві та неоднорідні в просторі зміни прозорості атмосфери;
- неоднорідна просторова модуляція прозорості атмосфери призводить до створення теплових неоднорідностей атмосфери і модуляції сонячної радіації, яка впливає на атмосферу;
- теплові неоднорідності атмосфери в результаті явища оптико-акустичного перетворення в атмосфері спричинюють виникнення атмосферного інфразвуку.

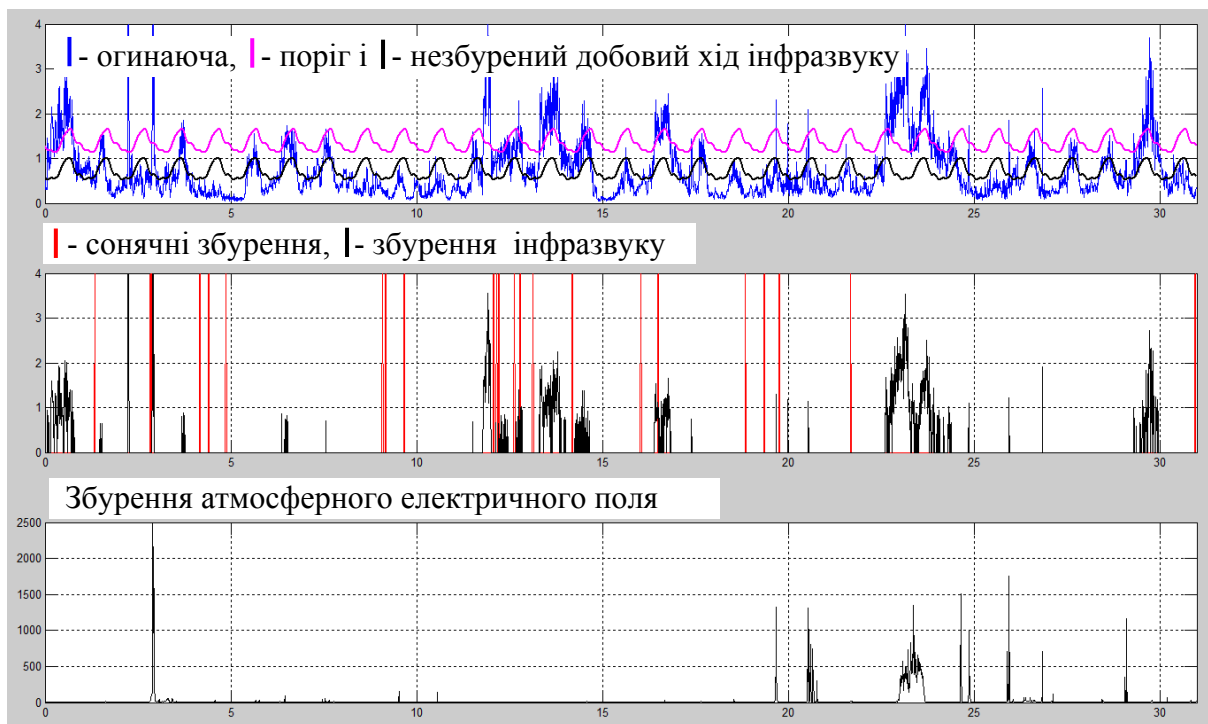


Рисунок 1 – Атмосферні інфразвук та електричне поле (травень 2013 р.)

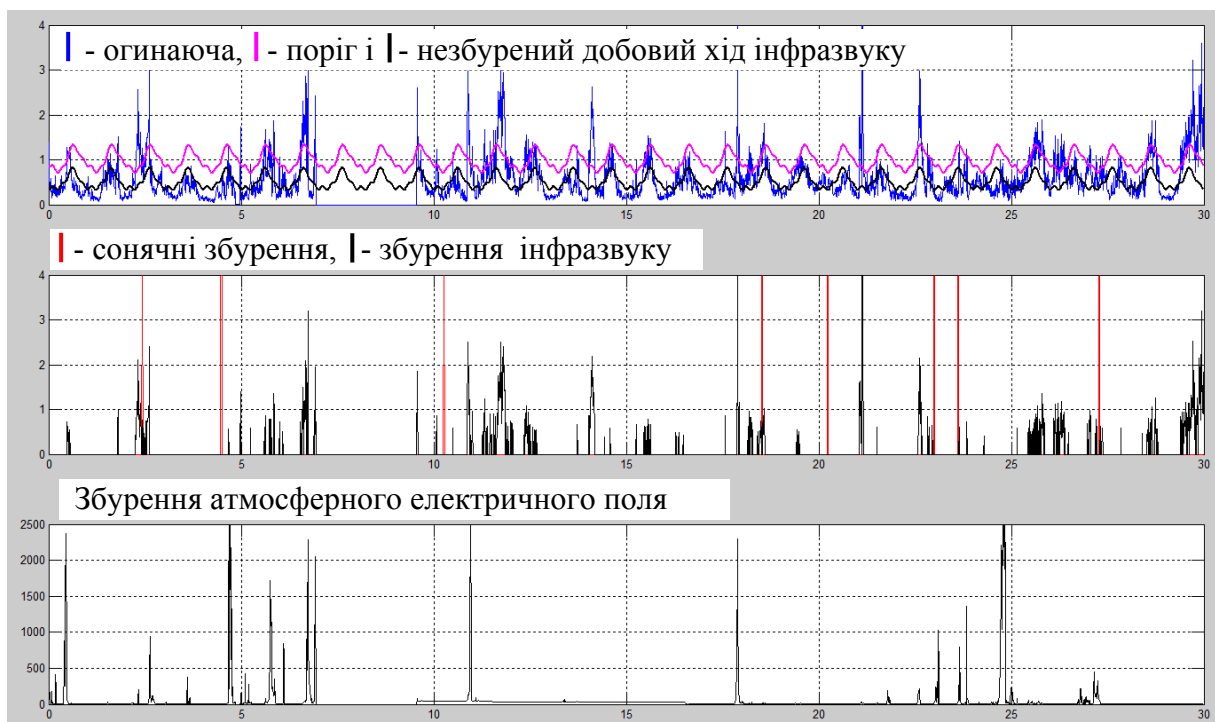


Рисунок 2 – Атмосферні інфразвук та електричне поле (червень 2013 р.)

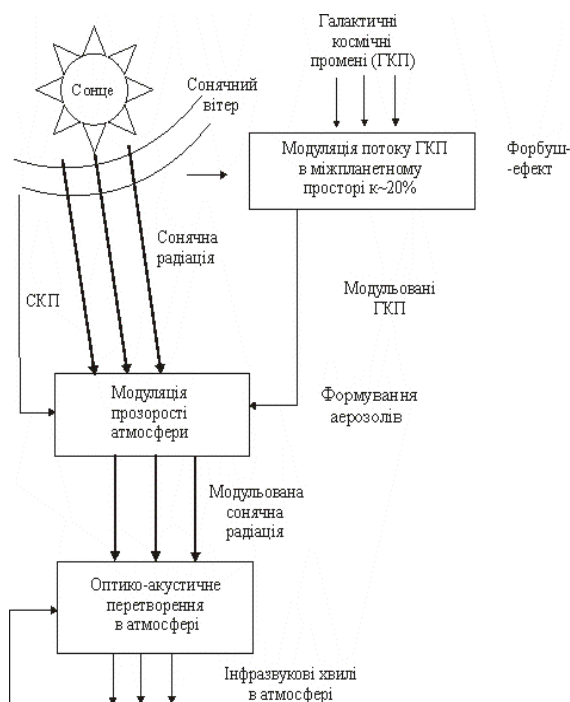


Рисунок 3 – Схематична модель механізму формування природного атмосферного інфразвуку під дією сонячних збурень

3. Проаналізовані та систематизовано сучасні методи оцінювання геоєфективності сонячних подій за даними про геліообумовлені збурення геомагнітного поля (тобто у вузькому розумінні терміну “геоєфективності”) на предмет застосування їх для оцінювання геоєфективності сонячних подій за сумісним аналізом геліообумовлених збурень геомагнітного, інфразвукового та геоелектричного полів (тобто у широкому розумінні терміну “геоєфективності”, запропонованого авторами проекту).

Зокрема проаналізовані статистичні методи обробки і аналізу геомагнітних даних, інфразвукових сигналів; регресійні методи прогнозу індексу Dst ; методи сумісної обробки параметрів сонячних подій та геомагнітного поля; статистичні методи сумісної обробки інфразвукового поля та сонячної активності; багатомірний статистичний аналіз геофізичних даних та екологічного моніторингу на основі формування агрегованого сигналу; методи аналізу космічної погоди на основі міжпланетних мерехтінь та спорадичного випромінювання Сонця в декаметровому діапазоні.

Для оцінки зв'язку збурень атмосферного інфразвукового поля із сонячними подіями вибрано і адаптовано до задачі даних досліджень алгоритм попереднього сумісного аналізу параметрів сонячних подій та інфразвукового поля на основі гістограмного підходу. Розроблений варіант алгоритму містить наступні етапи:

- виявлення збурень інфразвукового поля;
- оцінка параметрів виявлених збурень;
- побудова гістограми розподілу параметрів виявлених збурень інфразвукового поля з врахуванням параметрів сонячних подій.

4. Встановлено і оцінено конкретний вплив геомагнітної (за індексом D_{ST}) та сонячної активності (за числами Вольфа W) на природні вільноживучі популяції ряду видів тварин, зокрема у трофічних ланцюгах «хижак - жертва».

Зокрема для типових природно-заповідних територій Поліської екомережі, яка є важливим компонентом трансєвропейських міграційних шляхів, на прикладі території біосферного резервату (БР) ЮНЕСКО “Шацький” (Західне Полісся України), на яких проводилися міждисциплінарні дослідження впливу сонячної активності на функціонування біотичних компонентів біогеосистеми, встановлено наступне.

1). Для популяцій фонових видів характерним є зростання чисельності їх популяцій у роки підвищеної геомагнітної активності. Такий механізм взаємозв'язку з високим коефіцієнтом кореляції встановлено у ланцюгу «хижак – жертва», де ріст чисельності зайця русака (*Lepus europaeus*) (жертва) ($r = 0,76$) сприяє підтримці росту популяції лисиці звичайної (*Vulpes vulpes*) (хижак) ($r = 0,66$) (рис. 4).

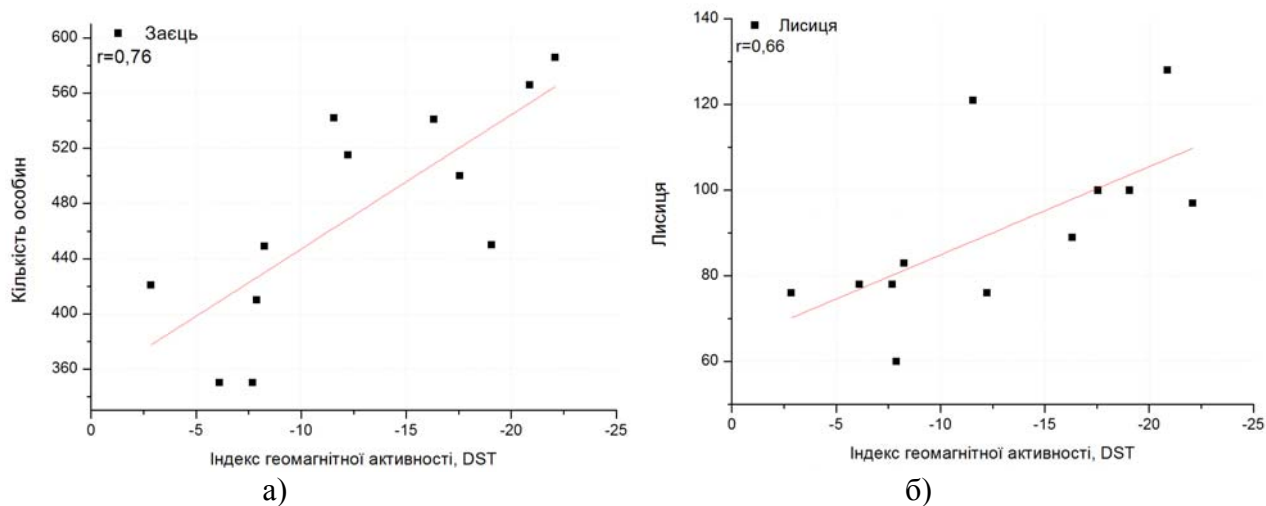


Рисунок 4 - Залежність між кількістю особин тварин БР «Шацький» та індексом геомагнітної активності D_{ST} : а) – кількість особин зайця русака (*Lepus europaeus*); б) – кількість особин лисиці звичайної (*Vulpes vulpes*)

2). Для дендрофільних видів ссавців (на прикладі білки звичайної (*Sciurus Vulgaris*) та куниці лісової (*Martes martes*)), для яких характерною є залежність цих видів від різних параметрів із збереженням механізму регуляції чисельності їх популяцій у ланцюгу «хижак – жертва», встановлено:

- зменшення чисельності білки звичайної (*Sciurus Vulgaris*) при підвищенні геомагнітної активності ($r=-0,79$) (рис. 5);

- тенденції до депресії популяцій куниці пов'язані із підвищенням рівня сонячної активності, яка у даному випадку описується числами Вольфа ($r=-0,49$) (рис. 6), і, відповідно, рівня геомагнітної активності, що дозволяє стверджувати, що чинником зменшення чисельності куниці у періоди підвищеної геомагнітної активності є зменшення кількості білки, яка є основним кормом у цьому трофічному ланцюгу.

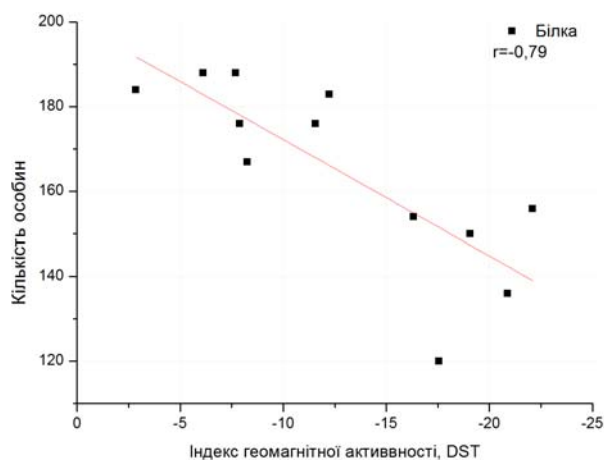


Рисунок 5 – Залежність між чисельністю популяції білки звичайної (*Sciurus Vulgaris*) та індексом геомагнітної активності D_{ST}

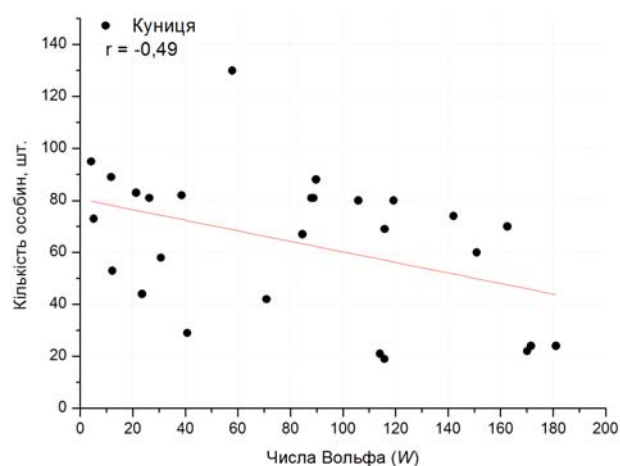


Рисунок 6 - Залежність між чисельністю популяції куниці лісової (*Martes martes*) та числами Вольфа (W)

Отримані результати свідчать про те, що умови в заповідних природних комплексах, де максимально обмежені фактори антропогенного впливу, дозволяють чітко встановити і кількісно оцінити зв'язки між динамікою змін чисельності популяцій окремих видів тварин і динамікою сонячної активності, а також, відповідно, визначати і прогнозувати об'єктивні періоди зміни чисельності популяцій і простежувати реальні тенденції у трофічних ланцюгах.

5. В рамках попередніх досліджень прогностичних властивостей декаметрового (ДКМ) радіовипромінювання Сонця в частині дослідження зв'язку потоку протонів I_p з енергією $E_p > 25$ MeV з параметрами континуальних мікрохвильових і ДКМ радіосплесків та в частині оцінки ролі протонних спалахів при формуванні геоєфективності сонячних подій показано, що точність прогнозу потоку протонів дуже сильно залежить від інтенсивності ДКМ компоненти континуальних сплесків, причому вона значно вища для спалахів, що супроводжуються потужними континуальними ДКМ радіосплесками.

Прогнозування протонних спалахів є однією з найбільш актуальних завдань, що вирішуються в сонячній радіофізиці, зокрема і при оцінюванні геоєфективності сонячних подій. Сучасні методи прогнозування протонних спалахів ґрунтуються на встановленні зв'язку параметрів континуальних радіосплесків з параметрами протонів СКП. Протонні спалахи мають характерний U-подібний тип частотного радіоспектру з максимумами в метровому і сантиметровому діапазонах довжин хвиль і з мінімумом у дециметровому діапазоні. За параметрами континуальних мікрохвильових сплесків можна оцінювати загальну кількість прискорених частинок та їх енергетичні спектри, а за параметрами метрових і ДКМ сплесків - про умови виходу прискорених частинок.

У проекті проведені попередні дослідження зв'язку потоку протонів I_p з енергією $E_p > 25$ MeV з параметрами континуальних мікрохвильових і ДКМ радіосплесків з метою оцінювання можливості подальшого поліпшення точності прогнозу потоку протонів за параметрами радіосплесків. Найкраща точність прогнозу поки що досягнута за параметрами континуальних μ -сплесків на частоті спектрального мікрохвильового максимуму. У цьому випадку залишкова дисперсія між розрахунковими і спостережуваними значеннями інтенсивності потоку протонів склала $\sigma^2 \approx 0.63$. Наявність такої досить великої залишкової дисперсії пов'язана з тим, що параметри μ -сплесків не відображають умов виходу частинок у верхніх шарах сонячної корони. Тому дані дослідження ґрунтувалася на припущенні (Мельников В.Ф., Подстригач Т.С., Дайбог Е.И., Столповский В.Г. // *Космические исследования*. – 1991. - Т. 29. - С. 95-103), що подальше поліпшення точності прогнозу потоку протонів повинно бути пов'язано з кількісним обліком умов виходу, а зробити це можна за параметрами метрових-декаметрових радіосплесків. В результаті досліджень на цьому етапі проекту показано, що точність прогнозу потоку протонів дуже сильно залежить від інтенсивності ДКМ компоненти континуальних сплесків, причому вона значно вища для спалахів, що супроводжуються потужними континуальними ДКМ радіосплесками (рис. 7, де F_{dec} – миттєве значення потоку радіосплеску).

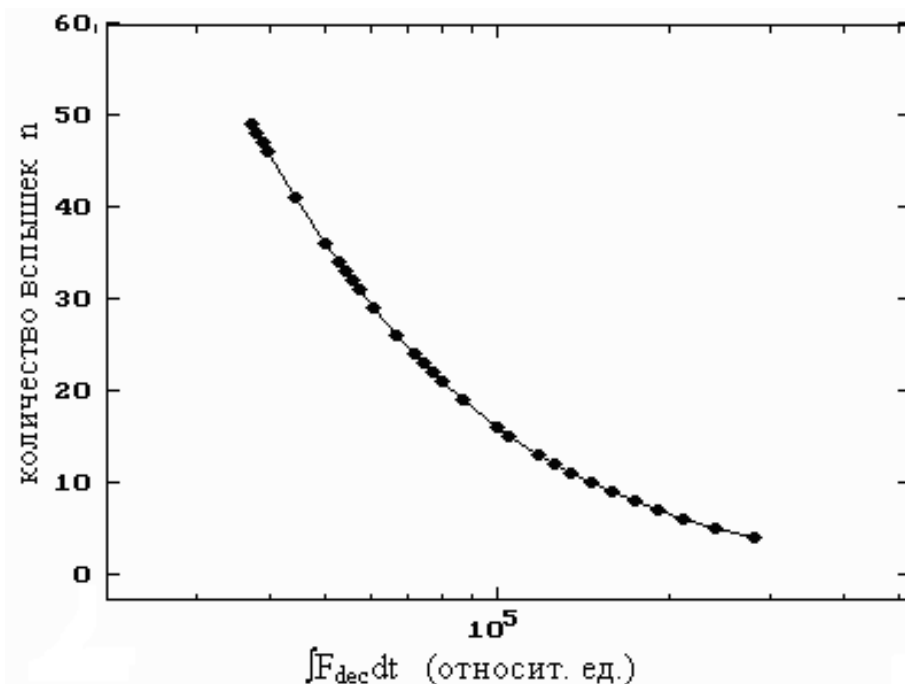


Рисунок 7 - Залежність точності прогнозу потоку протонів з енергією >25 MeV від інтенсивності декаметрової компоненти континуальних радіосплесків

Отриманий проміжний результат підтвердив, що для оцінки прогностичних властивостей радіосплесків необхідні подальші детальні дослідження зв'язку між параметрами ДКМ радіосплесків, зокрема їх типами, і потоком протонів з метою пошуку залежності, яка б дозволяла враховувати умови виходу частинок залежно від інтенсивності ДКМ компоненти континуальних сплесків.

6. Розроблено алгоритми, створено і апробовано в тестовому режимі спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволяє автоматизувати основні процеси оброблення даних спостережень ДКМ радіовипромінювання Сонця, зареєстрованого радіотелескопом УРАН-3, зокрема: відображення динамічних спектрів та часових профілів для обраних частот в діапазоні 16÷32 МГц, виявлення та ідентифікацію ДКМ радіосплески II типу і визначення їх основних параметрів, таких як швидкість дрейфу в частотних піддіапазонах, інтенсивність, тривалість та частотну ширину сплесків на ряді вибраних частот. Це створює нові технічні можливості для реалізації наступного етапу досліджень прогностичних властивостей ДКМ радіовипромінювання Сонця, на якому планується розпочати оброблення великих масивів даних експериментальних спостережень, проведених впродовж 2010-2015 рр. з використанням радіотелескопа УРАН-3 (Шацьк, Волинська обл.).

Враховуючи основні особливості ДКМ радіосплесків як елементів зображень в координатах динамічних радіоспектрів (частота-час-інтенсивність (колір)), для автоматизованого виявлення радіосплесків, зокрема II типу як найбільш вірогідних передвісників геофізичних збурень, та визначення їх основних параметрів запропоновано застосувати математичний апарат перетворення Радона.

На основі зареєстрованих радіотелескопом УРАН-3 ДКМ радіосигналів програмно формуються динамічні спектри радіовипромінювання Сонця. Цей спектр є, по суті, тривимірним об'єктом, який містить інформацію про час, частоту і амплітуду сигналу. Для візуалізації використовується його двовимірна проекція, в якій значення амплітуди представлені відповідним кольором. Якщо використати в першому наближенні лінійну апроксимацію зображення радіосплесків II типу в площині координат $(\omega-t)$, то застосування перетворення Радона до таких об'єктів дозволяє локалізувати радіосплески цього типу у

відповідності до їх основного параметру — швидкості дрейфу, котрий обумовлений певним кутом нахилу апроксимуючої прямої.

Кінцевий результат застосування запропонованого методичного підходу і розробленого програмного забезпечення для оброблення даних спостережень ДКМ радіовипромінювання Сонця представлений на рис. 8, на якому показано вікно програми, котра за даними пошуку радіосплесків (кут нахилу) і усередненим профілем частини простору Радона, яка відповідає умовам пошуку, будує розподіл амплітуд.

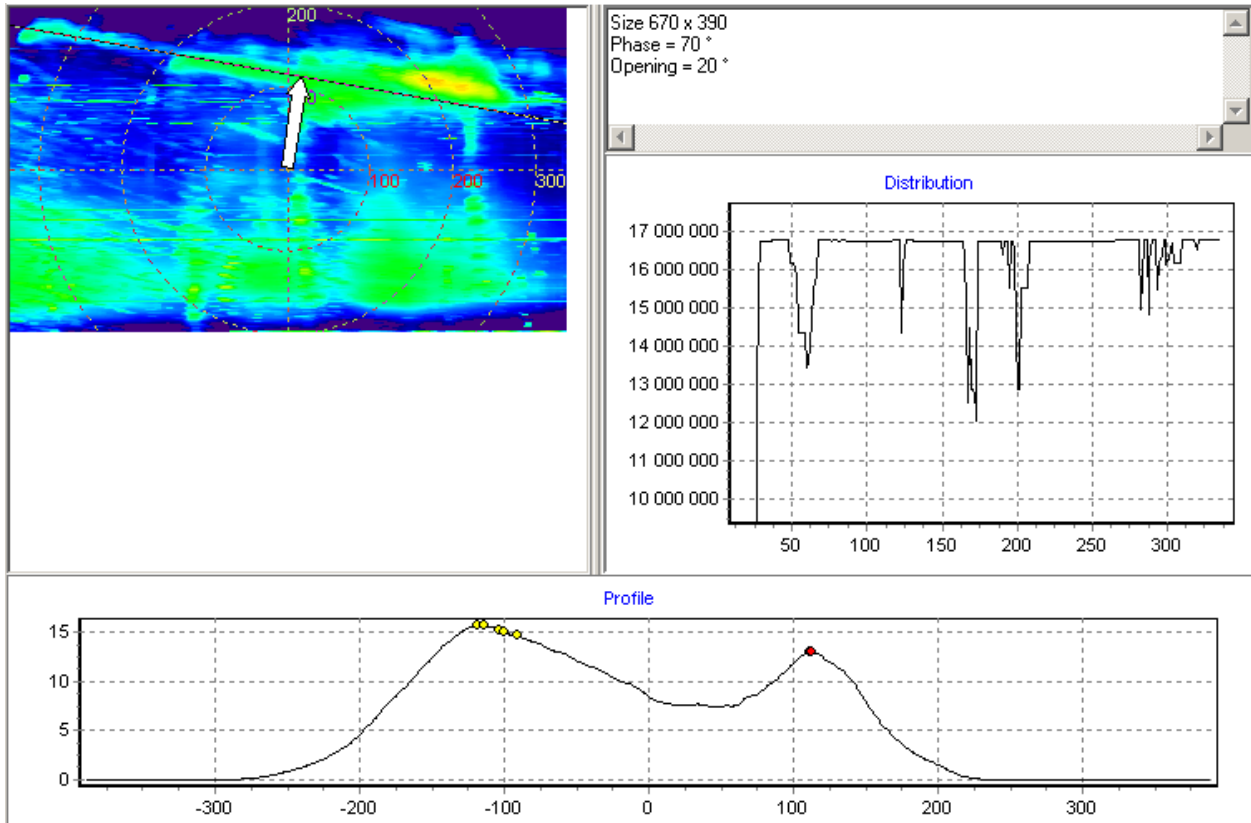


Рисунок 8 - Приклад локалізації положення в часі радіосплеску з певним кутом нахилу.

Виявивши положення радіосплеску з допомогою розробленого програмного забезпечення можна обчислити його параметри: тривалість, швидкість дрейфу, частотну ширину тощо.

Публікації за 2015 р.

1. Альохіна О.В. Геоінформаційна складова інформаційно-аналітичної системи управління розвитком біосферного резервату «Шацький» / О.В. Альохіна, В.В. Кошовий, І.Й. Курсіш та ін. // Природа Західного Полісся та прилеглих територій. – 2015. – № 12. – С. 25-32.

2. Альохіна О.В. Впровадження принципів сталого розвитку на території біосферного резервату «Шацький» / О.В. Альохіна, І.М. Горбань, Д.В. Івченко, Н.А. Піць // Природа Західного Полісся та прилеглих територій. – 2015. – № 12. – С. 18-25.

3. О.В. Альохіна, І.М. Горбань, Д.В. Івченко, В.В. Кошовий І.М. Романишин. Оцінка антропогенних перетворень ландшафтних структур біорезервату ЮНЕСКО «Шацький» за даними дистанційного зондування Землі / 15 Українська конференція з космічних досліджень. 24-28 серпня 2015р. Тези доповідей конференції. – с.196.

4. O. Alohkhina, O. Ivantyshyn, V. Koshovyy, A. Lozynskyi, V. Mezentsev Some aspects of expanded interpretation of the term "geoeffectiveness" of active solar processes" / Third UK-

Ukraine-Spain Meeting on Solar Physics and Space Science. Collection of abstracts. Lviv, Ukraine, 7-11 September, 2015. the European Office of Aerospace Research & Development.- P.48.

5. О.Л. Івантишин, В.В. Кошовий, А.Б. Лозинський, Р.Т. Ногач. Засоби автоматизованого визначення параметрів сплесків спорадичної компоненти декаметрового радіовипромінювання Сонця, зареєстрованого радіотелескопом УРАН-3 / 15 Українська конференція з космічних досліджень. 24-28 серпня 2015 р. Тези доповідей конференції. – с.140.