

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна
Факультет радіофізики, біомедичної
електроніки та комп'ютерних систем
Кафедра космічної радіофізики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ підпис
ініціали, прізвище

“ ____ ” _____ 2019 року

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: **СОНЯЧНІ СПАЛАХИ IV ТИПУ**

Виконав: студент II курсу магістратури, групи РР-66
спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали,
освітньо-професійна програма «Радіофізика і електроніка»

Варгас Р.А. А.

Керівник
доктор фіз.-мат. наук,
професор

Мельник В. М.

РЕФЕРАТ

Варгас Р.А. А. Сонячні спалахи IV типу. Дипломна робота. Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2019. 31 с., 18 рис., 5 табл., 8 джерел.

КОРОНАЛЬНІ ВИКИДИ МАС, ІНТЕРФЕРОМЕТРІЯ, ДЖЕРЕЛО СПЛЕСКУ IV ТИПУ, ЯСКРАВІСНА ТЕМПЕРАТУРА РАДІОДЖЕРЕЛА.

Предмет дослідження: Корональний викид мас що є джерелом сплеску IV типу

Об'єкт дослідження: сплеск IV типу

Мета роботи: аналіз характеристик сплеску IV типу 14 серпня 2010 року на декаметрових довжинах хвиль

Методи дослідження: інтерферометричні спостереження за джерелом сплеску IV типу в декаметровому діапазоні довжин за допомогою УТР-2, аналіз потоків та часових профілей на радіотелескопі УРАН-2.

Результати дослідження: на основі даних, отриманих радіотелескопами УТР-2 та УРАН-2, була зроблена оцінка характеристик сплеску IV типу 14 серпня 2010 року: радіопотоки, величини поляризації, яскравісні температури радіоджерел, кутові розміри та відстані джерела від центру Сонця на різних частотах.

РЕФЕРАТ

Варгас Р.А. А. Солнечные вспышки IV типа. Дипломная работа. Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, 2019. 31 с., 18 рис., 5 табл., 8 источников.

КОРОНАЛЬНЫЙ ВЫБРОС МАСС, ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ, ИСТОЧНИК ВСПЛЕСКА IV ТИПА, ЯРКОСТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА РАДИОИСТОЧНИКА.

Предмет исследования: корональные выбросы масс, которые являются источником всплеска IV типа

Объект исследования: всплеск IV типа

Цель работы: анализ характеристик всплеска IV типа 14 августа 2010 на декаметровых дожинах хвиль

Методы исследования: интерферометрические наблюдения за источником всплеска IV типа в декаметровом диапазоне длин волн с помощью УТР-2, анализ потоков и временных профилей на радиотелескопе УРАН-2.

Результаты исследования: на основе данных, полученных радиотелескопами УТР-2 и УРАН-2, была произведена оценка характеристик всплеска IV типа 14 августа 2010: потоки s.f.u, степени поляризации, яркостной температуры источника, угловые размеры и расстояния от центра Солнца на разных частотах.

ABSTRACT

Vargas R.A. A. Solar flares of type IV. Diploma work. V.N. Karazin Kharkov National University, 2019. 31 pg., 18 fig., 5 table, 8 sources.

CORONAL MASS EJECTION, INTERFEROMETRY, SOURCE OF IV TYPE BURSTS, RADIO SOURCE BRIGHTNESS TEMPERATURE.

Subject: Coronal mass ejections, which are the source of type IV bursts

Object of the study: Type IV burst

Purpose of study: Analysis of the characteristics of the type IV burst on 2010 August 14 on the decametre wavelength

Research methods: interferometric observations of the type IV burst in the decameter wavelength range with the help of UTR-2, analysis of flux and time profiles on the URAN radio telescope.

Results of the study: on the basis of the data obtained by UTR-2 and URAN radio telescopes, the characteristics of type IV bursts were estimated on August 14, 2010: radio fluxes, polarization degree, radio source brightness temperature, angular dimensions and distances from the Sun's center at different frequencies.

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

КВМ – корональний викид мас (англ. CME)

NOAA – номер активної області на сонці

УТР-2 - український Т-подібний радіотелескоп 2-ї модифікації

УРАН-2 - Українські радіоінтерферометри Академії Наук

s.f.u. – сонячна одиниця потоку ($1 \text{ s.f.u.} = 10^{-22} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$)

LASCO - Large Angle and Spectrometric Coronagraph

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Методи дослідження сплесків IV типу.....	11
1.1 Спектрометричні дослідження.....	13
1.2 Інтерферометричні дослідження на УТР-2.....	14
2. Результати спостереження.....	16
2.1 Визначення напруженості магнітного поля ядра КВМ.....	24
3. Порівняння даних з попередніми дослідженнями.....	26
Висновки.....	29
Список літератури.....	31

Вступ

З метою дослідження властивостей та характеристик сплесків IV типу в даній роботі була розглянута та проаналізована подія на Сонці 14 серпня 2014 року. Її джерелом була активна область NOAA 1093 N12W56 над якою утворився КВМ (рис.1.), що спостерігався за допомогою радіотелескопів УТР та УРАН-2 на частотах від 32 до 16 МГц. Для того, щоб розібрати цю подію нам необхідно зрозуміти феномен КВМ та сплеску IV типу, розглянути їх характеристики і різновиди.

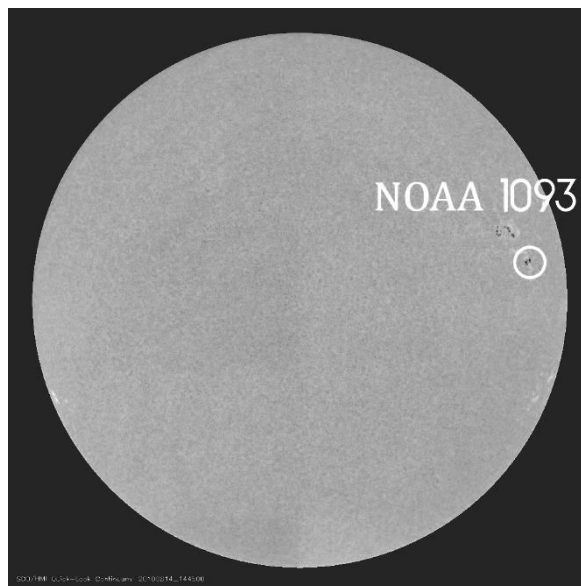


Рисунок 1. Активна область NOAA 1093 – джерело КВМ 14 серпня 2010 року. Зображення з апарату SOHO [2]

КВМ є найбільш потужним проявом сонячної активності. Корональний викид представляє собою плазмове утворення в формі магнітної петлі, яка поширюється від поверхні Сонця. У перехідній зоні та нижній короні КВМ можуть супроводжуватися спалахами, протуберанцями і іншими явищами а їх розповсюдження може асоціюватися з ударними хвилями, прискореними частинками та радіосплесками. Найбільш потужні КВМ залишають Сонце та

розповсюджуються в геліосфері. Такі явища спроможні викликати геомагнітні бурі на Землі та супровідні явища. Аналіз КВМ дозволив зробити їх класифікацію за різноманітними ознаками.

Джерелом КВМ виступають магнітні структури (рис.2.), що знаходяться у зонах над активними областями. Енергія магнітного поля трансформується у ви-

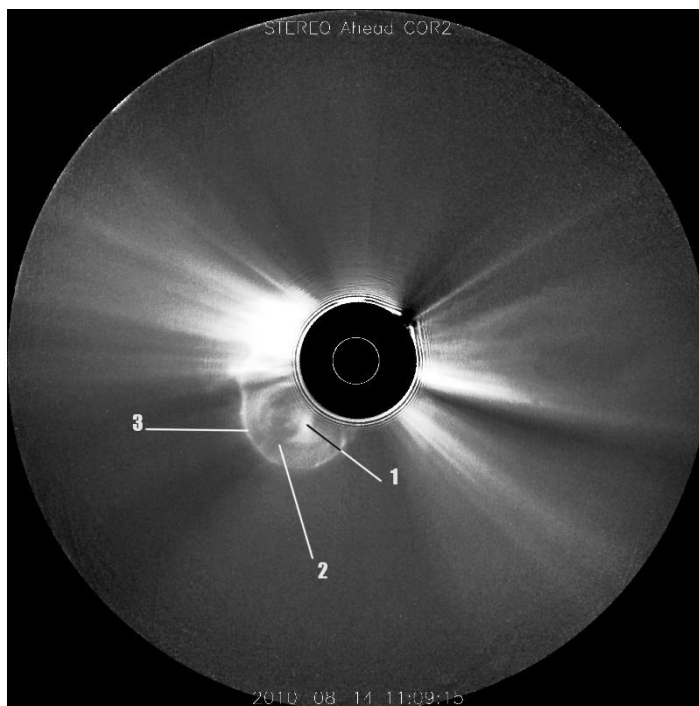


Рисунок 2. Спостереження коронального викиду з космічної станції STEREO-A. Числами позначені основні складові КВМ: 1 – ядро , 2 – темна область, 3- фронт ударної хвилі. [8]

кид маси в корону та геліосферу і подальше випромінювання енергії на всіх довжинах хвиль. Багато з цих вивержень мають форму петлі але також реєструються КВМ у вигляді «наповнених бутелей», «спайків», «гало» або «пузиря». Величина магнітного поля КВМ поблизу Сонця оцінюється в 1 Гаус на відстані $1.5 R_s$ [4]. Маса викиду, що дрейфує у міжпланетний простір має значення 10^{15} - 10^{16} грам (Gosling *et al.*, 1974; Jackson *et al.*, 1993) [5].

Явища, які були утворені сонячним спалахом, спостерігались в діапазоні частот 16 – 33 МГц, та мали свої відмінні характеристики, пов'язані з різноманітними процесами. Ці характеристики зведені в таблиці 2.

Таблиця 1. Статистичні властивості КВМ, що визначені коронографами [3]

Коронограф	OSO-7	Skylab	Solwind	SMM	LASCO
Період спостереження	1971	1973-74	1979-85	1980(84)-89	1996-2003
Поле зору (R_{sun})	2,5-10	1,5-6	3-10	1,6-6	1,2-32
Число зареєстрованих СМЕ	27	115	1607	1206	8008
Середня швидкість (км/с)	-	470	460	350	489
Середній розмір (град.)	-	42	43	47	47
Маса (10^{15} г)	-	6,2	4,1	3,3	1,6

Сплески IV типу це радіовипромінювання, що пов'язане з КВМ. Передній фронт радіовипромінювання дрейфує від високих до низьких частот, а відповідна лінійна швидкість джерела може бути від 200 км/с до 1500 км/с. Дані сплески реєструються на частотах від 1 МГц до 2ГГц, але зазвичай події такого типу відбуваються на частотах нижче 200 МГц.

Зазвичай джерела сплесків IV типу підіймаються в короні зі швидкістю приблизно декілька сотень км/с і відстежуються до висот декількох сонячних радіусів над фотосферою. Іноді сплески II типу спостерігаються на фоні сплесків IV типу і таким чином називаються сплесками типу II-IV. Сплески IV типу реєструвалися на низьких частотах від 14 до 1 МГц. Тривалість сплесків IV типу зменшується зі збільшенням частоти: тривалість сплеску типу IV на 80 МГц не перевищує 40 хвилин, але при значно нижчій частоті тривалість збільшується до 120 хвилин. Потоки сплесків IV типу при фіксованій частоті спочатку збільшуються, а потім повільно зменшуються до фонових показників.

Таблиця 2. Характеристики різних типів сплесків у радіодіапазоні

Типи сплесків	Характеристики	Тривалість	Частотний діапазон	Чим супроводжується
Буря сплесків I типу	Короткий вузькосмуговий сплеск, виникає у великій кількості	Одиночний сплеск: 1 секунда Сонячна буря: - дні	80-200 МГц	Активні регіони на Сонці, протуберанці, спалахи.
Сплеск II типу	Низькочастотний сплеск, може супроводжуватися другою гармонікою	3-30 хвилин	1-150 МГц	Ударні хвилі, сонячні спалахи.
Сплеск III типу	Виникають групами або поодинці, іноді мають другу гармоніку. Швидкий частотний дрейф	Одиночний сплеск: 1-3 секунди Група: 1-5 хвилин Буря: хвилини - часи	10кГц - 1ГГц	Активні регіони на сонці, сонячні спалахи.
Сплеск IV типу	<u>Стаціонарний вид сплеску IV типу:</u> Широкосмугове випромінення із тонкою структурою <u>Сплеск IV типу що рухається:</u> джерело випромінювання рухається від поверхні Сонця.	Десятки хвилин – часи	1МГц-2ГГц	Сонячні спалахи
Сплеск V типу	<u>Виникають у малих інтервалах часу.</u> <u>Супроводжують групи сплесків III типу.</u>	1- 3 хвилини	10-200 МГц	Сонячні спалахи, ударні хвилі.

В той же час можна відмітити затримку між максимумом радіопотоку та поляризації, яка становить приблизно 10 - 15 хвилин від початку сплеску. Пікові значення поляризації можуть сягати 90%. На низьких частотах яскравісна температура $T_b(K)$ змінюються від $10^6 K$ на частотах 100 МГц і 169 МГц до $10^8 K$ на 16 - 30 МГц. Спостереження за допомогою геліографу “Nancay” (Франція), який працює на частотах 169, 327 та 408 МГц, виявили радіопульсації з інтервалом 2 секунди у сплесків IV типу. Цей тип пульсації також реєструвався на радіотелескопі в Цюріху на частотах 140-250 МГц протягом 5 хвилин. Іноді сплески IV типу мають тонку структуру (так звані файбер сплески) [1].

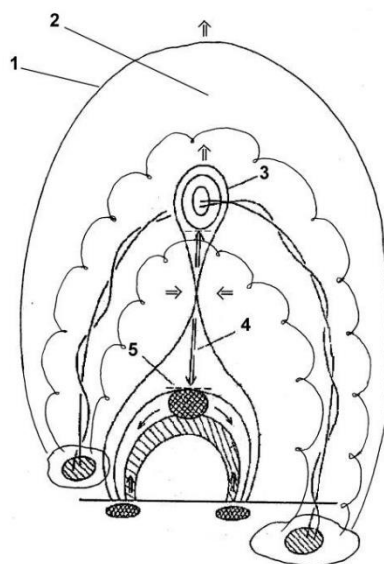


Рисунок 3. Структура КВМ у вигляді магнітного жгута що вивергається 1 – фронтальна структура; 2 – порожнина; 3 – ядро в центрі жгута; 4 - плазмований струмінь в області перез’єднання; 5 – ударна хвиля.

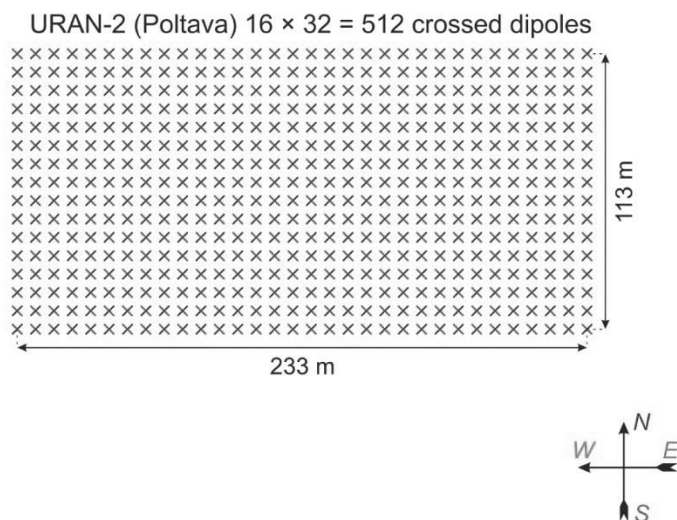
1. Методи дослідження сплесків IV типу

Дослідження сплеску IV типу 14 серпня 2010 року на декаметрових довжинах хвиль проводились на радіотелескопах УТР-2 та УРАН-2.

Радіотелескоп УТР-2 складається з 12 секцій, що утворюють три плеча (Північне, Західне та Південне) літерою Г (рис.4.). Північна та південна частини мають в своєму складі 720 широкосмугових диполів, а Західна частина

складається з 600 диполів. Також цей інструмент обладнаний широкосмуговою багатоступінчастою системою затримки часу та розподіленою системою підсилення антени. На виході можна утворити п'ять антенних променів які контролюються незалежно один від одного. Сигнали з 12 секцій можна обробляти паралельно, що дозволяє проводити синтез цифрової апертури.

Рисунок 4. Схематична будова радіотелескопу УРАН-2-2



Спостереження в інтерферометричному режимі з УТР-2 також були підкріплені спостереженням на УРАН-2-2 (рис.3.). Цей радіотелескоп знаходиться в Полтавській області, він складається із 512 перехрещених диполів та має ефективну площу $28,000 \text{ м}^2$. Останні оновлення апаратури дозволили розширити частотний діапазон (8-32 МГц) та поліпшити чутливість. Після попередньої фільтрації, підсилення та перетворення в АЦП отриманий сигнал відправляється на комп'ютер де виконується подальша фільтрація та реєстрація. Сигнали записуються за допомогою цифрового спектрального аналізатора (DSPz), який дозволяє проводити спостереження з частотно-часовою роздільною здатністю 4кГц - 100 мілісекунд.

1.1 Спектрометричні дослідження

Вимірювання щільності потоку радіовипромінювання космічних джерел вважається первинним завданням будь-якого радіотелескопа. найбільш важливим питанням при цьому є калібрування інструменту. Розрізняють два основних способи визначення щільності потоку [5]. Перший спосіб полягає в порівнянні потужності сигналу, прийнятого антеною радіотелескопа від досліджуваного радіоджерела, з потужністю сигналу каліброваного шумового генератора, що заміщує антену на вході приймача. При неполяризованому сигналі, прийнятому радіотелескопом, що реєструє одну з ортогональних поляризацій, рівність цих потужностей визначає щільність потоку випромінювання джерела як

(1)

$$S_{\text{и}} = \frac{2P_{\Gamma}\eta_{\text{к}}}{A_{\text{е}}\eta_{\text{а}}}$$

Де $A_{\text{е}}$ – ефективна площа антени, P_{Γ} – спектральна потужність калібровочного генератора, $\eta_{\text{к}}$ та $\eta_{\text{а}}$ – КПД антени та ланцюгів калібровки. Для використання цього способу необхідно визначити потужність шумового генератора і здійснити абсолютну калібровку антенної системи до входу приймача. Інший спосіб полягає в порівнянні потужності сигналу P_{Γ} , прийнятого радіотелескопом від досліджуваного радіоджерела, з сигналом $P_{\text{е}}$ від еталонного каліброваного радіоджерела з відомою щільністю потоку $S_{\text{е}}$ на частоті спостереження:

$$S_{\text{и}} = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{е}}} S_{\text{е}}$$

(2)

У цьому випадку відношення $P_{\text{е}} / S_{\text{е}}$ являє собою відносний коефіцієнт передачі антени і при близькому розташуванні досліджуваного і каліброваного радіоджерел або незначній зміні параметрів антени при зміні її орієнтації

дозволяє визначити щільність потоку випромінювання досліджуваного радіоджерела. В іншому випадку необхідно враховувати зміну параметрів антени при переході до еталонного джерела і/або використовувати велике число калібраторів. [6]

1.2 Інтерферометричні дослідження на УТР-2

Під час інтерферометричних спостережень сплеску 14 серпня 2010 року була задіяна конфігурація Західне + Південне плече телескопу (рис.5.) для визначення місцезнаходження джерела сплеску IV типу відносно центра Сонця. Однак в цьому режимі можна було проміряти кутову відстань тільки в одному напрямку, в діагональній площині між Західною та Південною секціями радіотелескопу. Кутову структуру можна дослідити при порівнянні експериментальної залежності функції видимості до розміру бази інтерферометра. Кутовий розмір джерела за гаусовим розподілом яскравості можна записати вираз, через який можна знайти діаметр джерела половинної яскравості

(3)

$$\theta = \frac{2\lambda\sqrt{\ln 2}}{\pi L} \sqrt{-\ln \gamma_n}$$

Нормована величина $\gamma_n = \gamma / \gamma_0$ визначається відношенням функції видимості інтерферометру на даній базі до функції видимості вимірної за допомогою інтерферометра з "нульовою базою".

(4)

$$\gamma_n = \exp\left(-\left(\frac{\pi\theta L}{2\sqrt{\ln 2}\lambda}\right)^2\right)$$

Зробимо акцент на тому, що промірявши функцію видимості на двох довільних базах, можна обчислити кутовий розмір як:

(5)

$$\theta = \frac{2\lambda\sqrt{\ln 2}}{\pi L} \sqrt{\frac{\ln(\gamma_1 / \gamma_2)}{L_2^2 - L_1^2}}$$

де λ – довжина хвилі, $L_{1,2}$ – довжини баз інтерферометрів, γ_1 і γ_2 – виміряні на цих базах функції видимості. При цьому застосування виразу і аналіз залежностей $\gamma(L)$ передбачають сталість параметрів інтерферометра при зміні довжини бази.

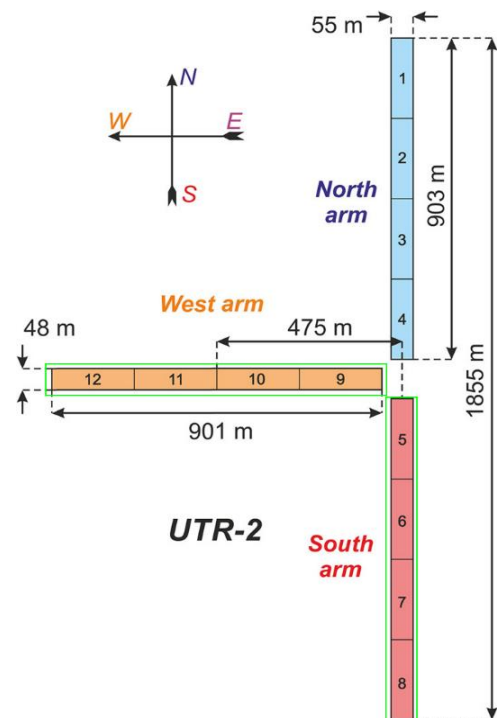


Рисунок 5. Схематичне зображення УТР-2. Зеленими рамками означені Південне та Західне плече, що застосовувались для інтерферометричних вимірювань.

При використанні нерухомих інтерферометрів параметри їх антенних систем повинні бути ретельно прокалібровані. Щоб визначити кутову відстані від Сонця, потрібно скористатись такою формулою.

(6)

$$\sin \Delta\theta = \frac{\Delta\varphi\lambda}{2\pi L}$$

де $\Delta\varphi$ – різниця фаз (величина затримки надходження хвилі до різних антен інтерферометру), λ – довжина хвилі, L – довжина бази інтерферометру.

2. Результати спостереження

Сплеск в діапазоні 32 - 16 МГц почався о 09:55 UT (рис.6.) з групи сплесків III типу, одразу з ними можна розрізнити сплеск II типу, на фоні якого видно сигнал джерела сплеску IV типу.

Максимальне значення потоку сплесків III типу досягала 316 s.f.u. на частоті 30 МГц та $2 \cdot 10^4$ s.f.u на частоті 16.63 МГц з характерною швидкістю дрейфу 0.18 МГц/с. Одночасно з потужною серією сплесків III типу (10:05 UT) на високих частотах можна відстежити дрейфовий трек ударної хвилі – сигнал сплеску II типу з швидкістю дрейфу 30 кГц/с. Далі спостерігається сплеск IV типу, джерело якого проіснувало від 50 до 60 хвилин на частотах 30 – 32 МГц. Величина потоку цього сплеску досягала максимальної відмітки 25 s.f.u. на частоті 32 МГц о 10:09 UT, затримка між максимумами поляризації та радіопотоку ставила 15 ± 5 . Максимальна величина поляризації в 10:50 UT становила у 60% . Окрім цих даних безумовний інтерес ставить оцінка розмірів, місцезнаходження джерела на різних частотах та інших параметрів, що будуть розглянуті нижче.

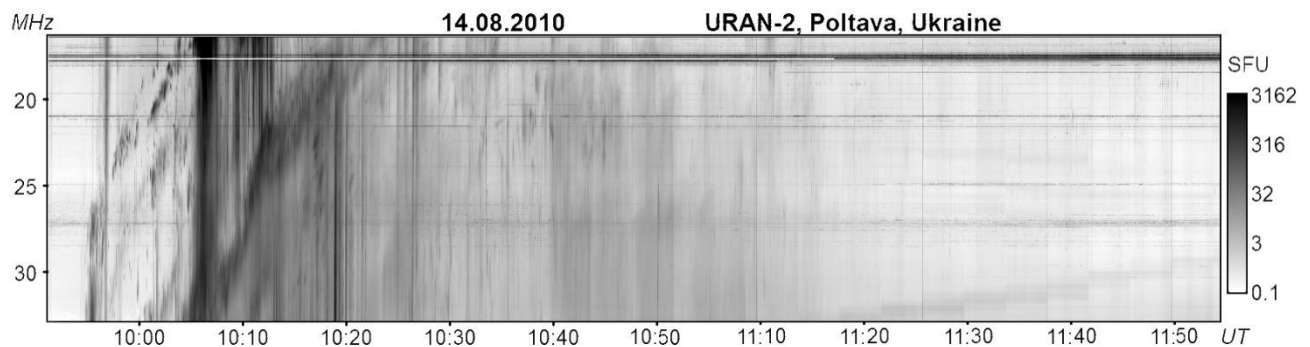


Рисунок 6 . Динамічний спектр події 14 серпня 2010 року. На осях ординат відображені (ліворуч - Частота МГц, праворуч – радіопоток s.f.u.), на осі абсцис відкладений час за UT стандартом.

Для отримання кутових розмірів ми вибрали з усього динамічного спектру частоти від 32.87 МГц до 16.63 МГц в інтервалі 2 МГц. В кожному з вибраних діапазонів частот був проаналізований часовий профіль(рис.7), на якому видно мінімум розміру 15 аркмінут о 10:05 – сплеск III типу. Протягом наступних 30 хвилин спостерігається повільне збільшення від 20 до 30 аркмінут джерела

сплеску IV типу. У проміжку часу 10:33 -10:50 UT можна спостерігати максимум розміру, однак ядро KBM не здатно швидко розширитись та зменшитись, тому можна зробити припущення про те, що за цей період часу між джерелом і радіотелескопом знаходилась область, яка поглинала або відбивала сигнал, після 20 хвилин "поглинання" тенденція до зростання розміру ядра збереглась доки у 11:05 показники не досягли фонових значень. Проаналізовані аналогічним способом часові профілі на інших частотах ми звели у вигляді графіку (рис.8.), що відображає часову залежність від кутового розміру.

На графіку (рис.8.) можна помітити співпадіння розмірів на трьох частотах 32, 28 та 26 МГц. На 18 та 20 МГц кутовий розмір швидко збільшується від 30 до 70 - 80 аркмін за період від 10:05 до 11:10 UT. Також відмічається в інтервалі часу з 10:30 до 10:50 UT на всіх частотах збільшення та різкий спад у розмірі джерела від 40 до 50 кутових хвилин, що не є характерним ядра СМЕ. Для того, щоб прибрати вплив області затемнення на подальшу оцінку, місцезнаходження, яскравісну температуру T_b та розмір джерела сплеску IV типу ми приберемо значення за період 10:30 до 10:50 UT.

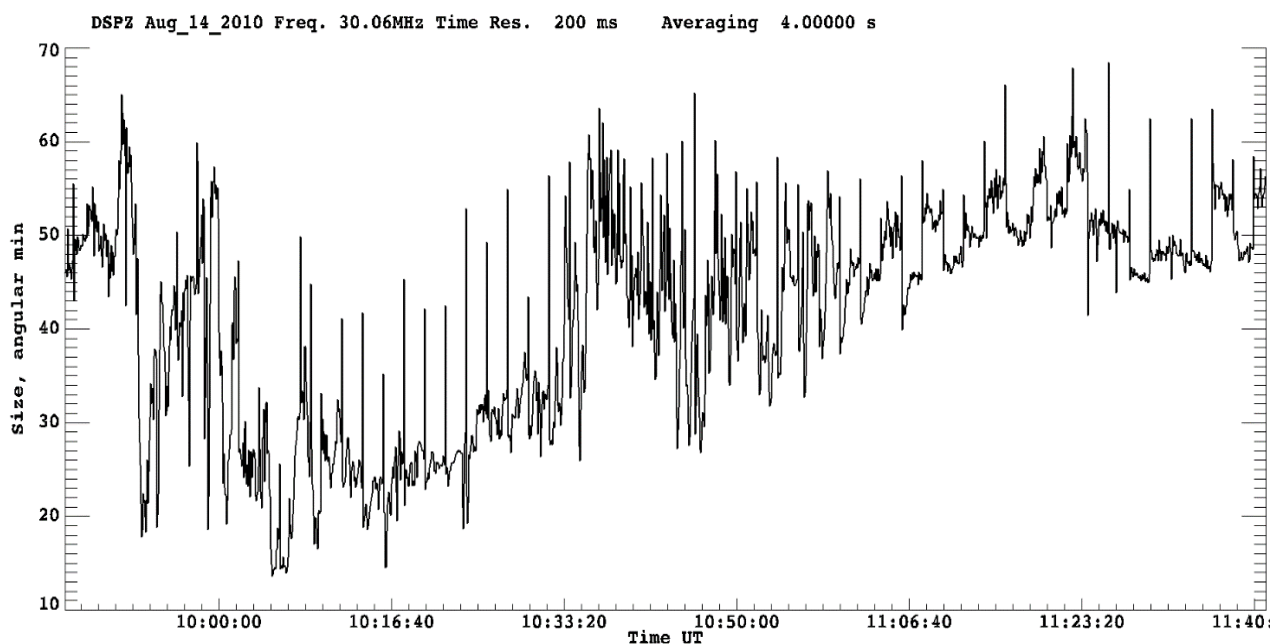


Рисунок 7. Профіль залежності розміру джерела від часу на частоті 30МГц

Отримані результати перенесемо на новий графік (рис.9.). Дві нижні частоти відображають швидке збільшення розміру джерела, близько 30 хвилин. З часом сигнал зливається з фоном спокійного Сонця ($\theta > 50 \text{ arcmin}$). Також спостерігається лінійне зростання на всіх частотах, для 32.87, 28, 26 МГц швидкість становить $5 \cdot 10^{-3} \text{ arcmin/s}$, на 18 та 20 МГц 10^{-2} arcmin/s

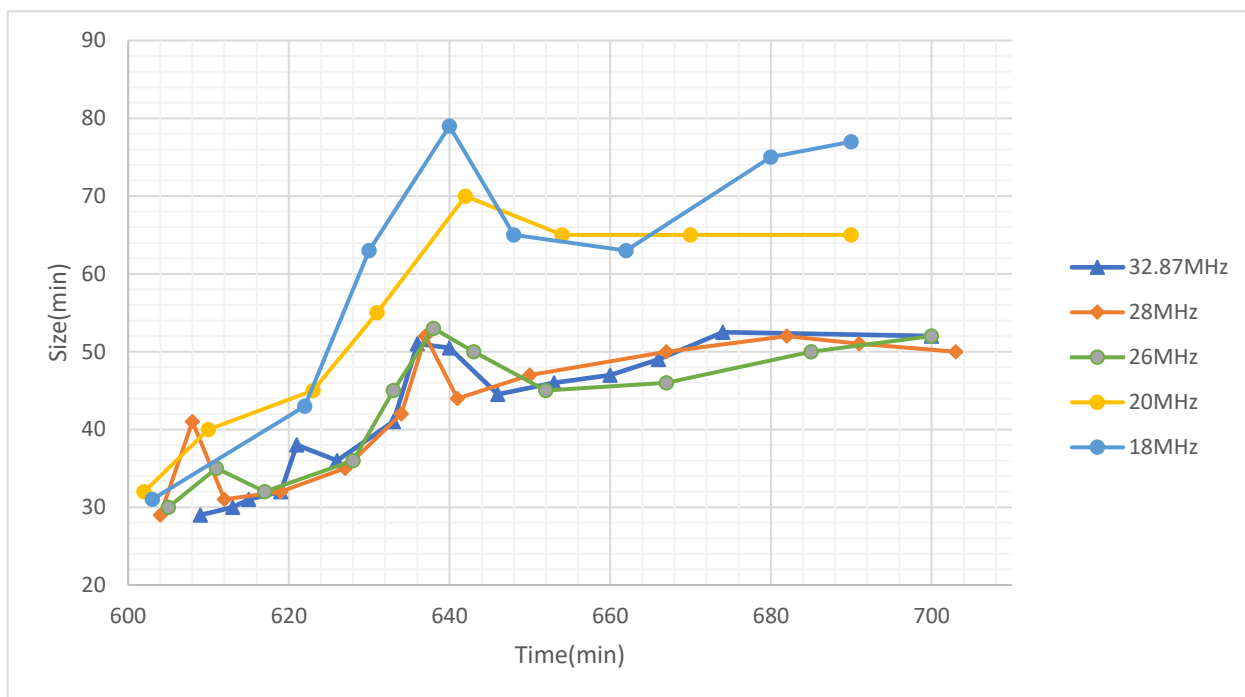


Рисунок 8. Залежність зростання кутового розміру від часу на обраних частотах 32.87, 28, 26, 20, 18 МГц, що позначені кольором праворуч.

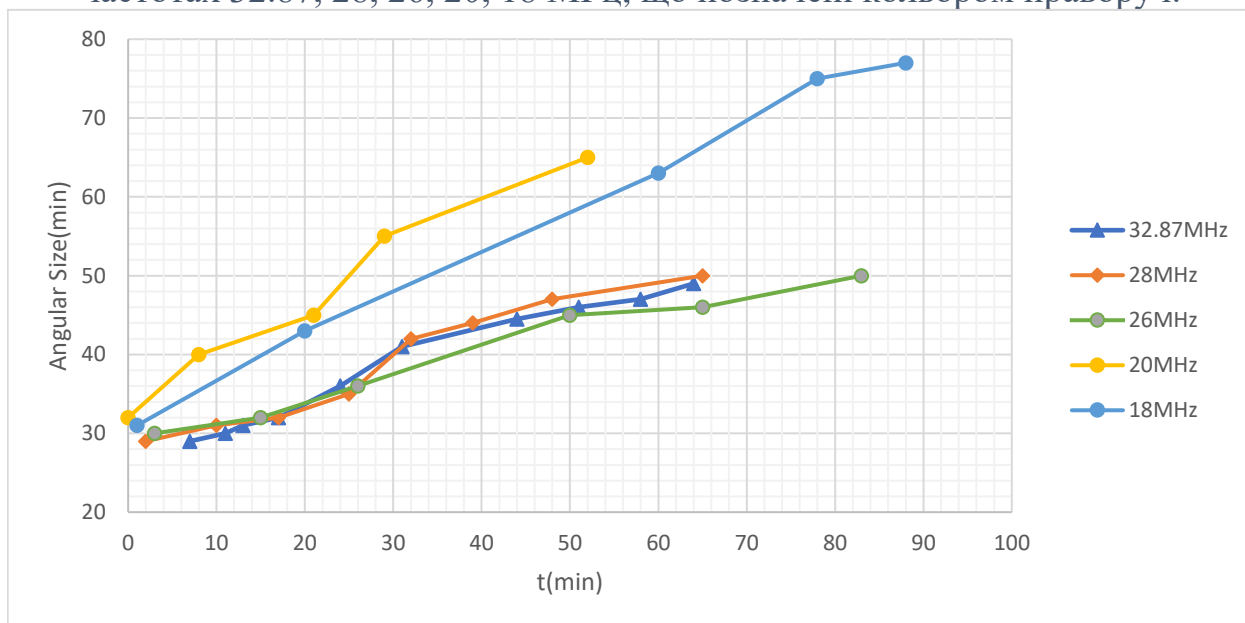


Рисунок 9. Залежність зростання кутового розміру від часу на обраних частотах

Для визначення місцезнаходження ми використаємо результати виміру часового профілю на обраних частотах для кутової відстані (рис.10.).

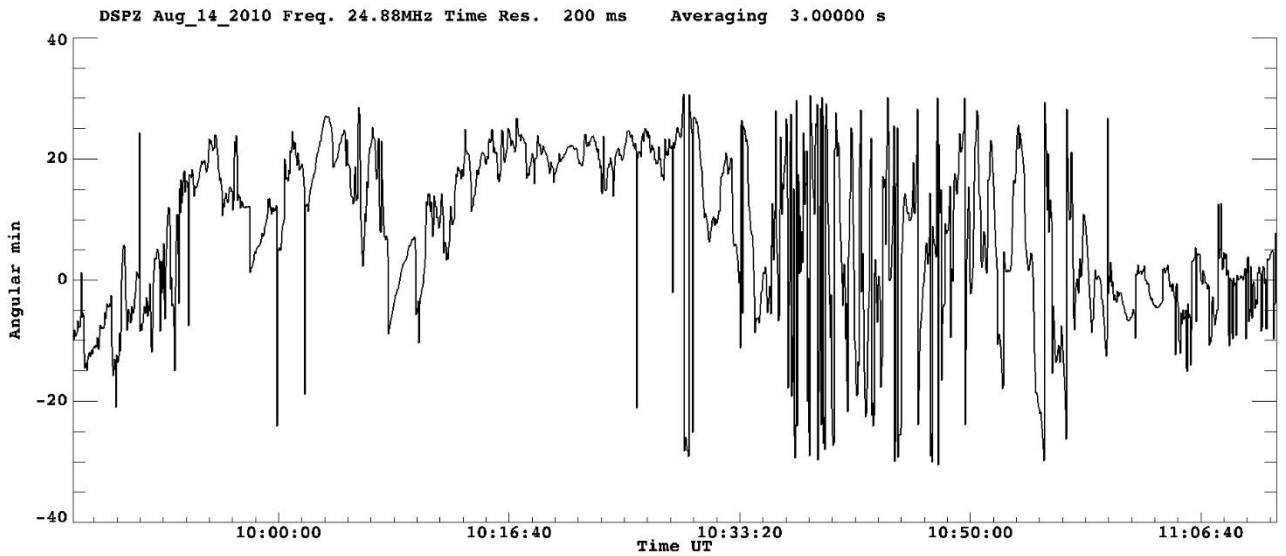


Рисунок 10. Часовий профіль кутової відстані на частоті 24.88 МГц.

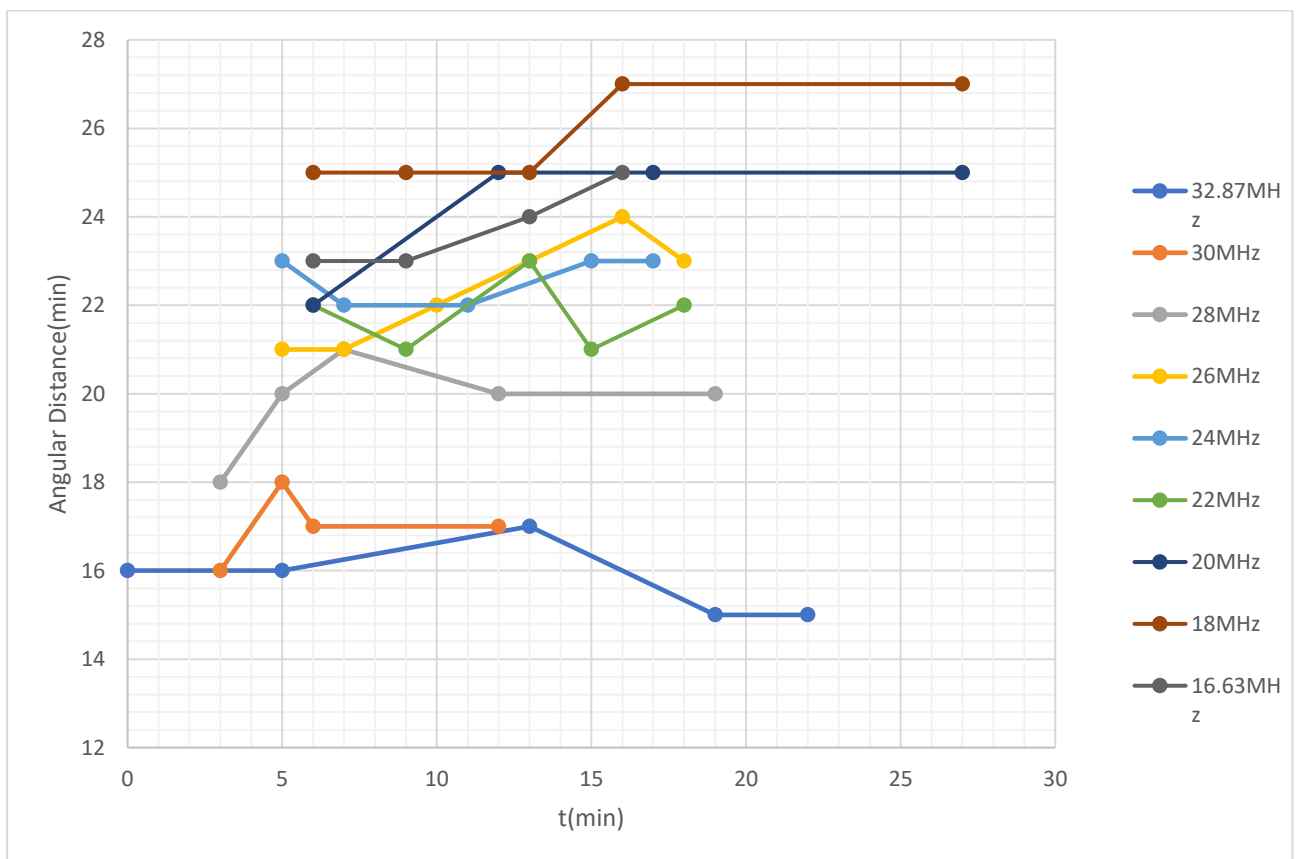


Рисунок 11. Залежність кутової відстані від розміру z часом. Кольором позначені частоти вимірювання

Після визначення всіх параметрів за обраними частотами ми звели дані на єдиний графік, що відображає положення максимуму випромінювання ядра КВМ відносно центра Сонця. Виходячи з даних на графіку видно що джерело майже не зміщується. Можна спостерігати явні залежності між зменшенням частоти та розповсюдженням джерела від поверхні Сонця. Щоб зрозуміти просторові характеристики розміру та відстані зі зменшенням частоти, ми об'єднали дані в графік (рис.12)

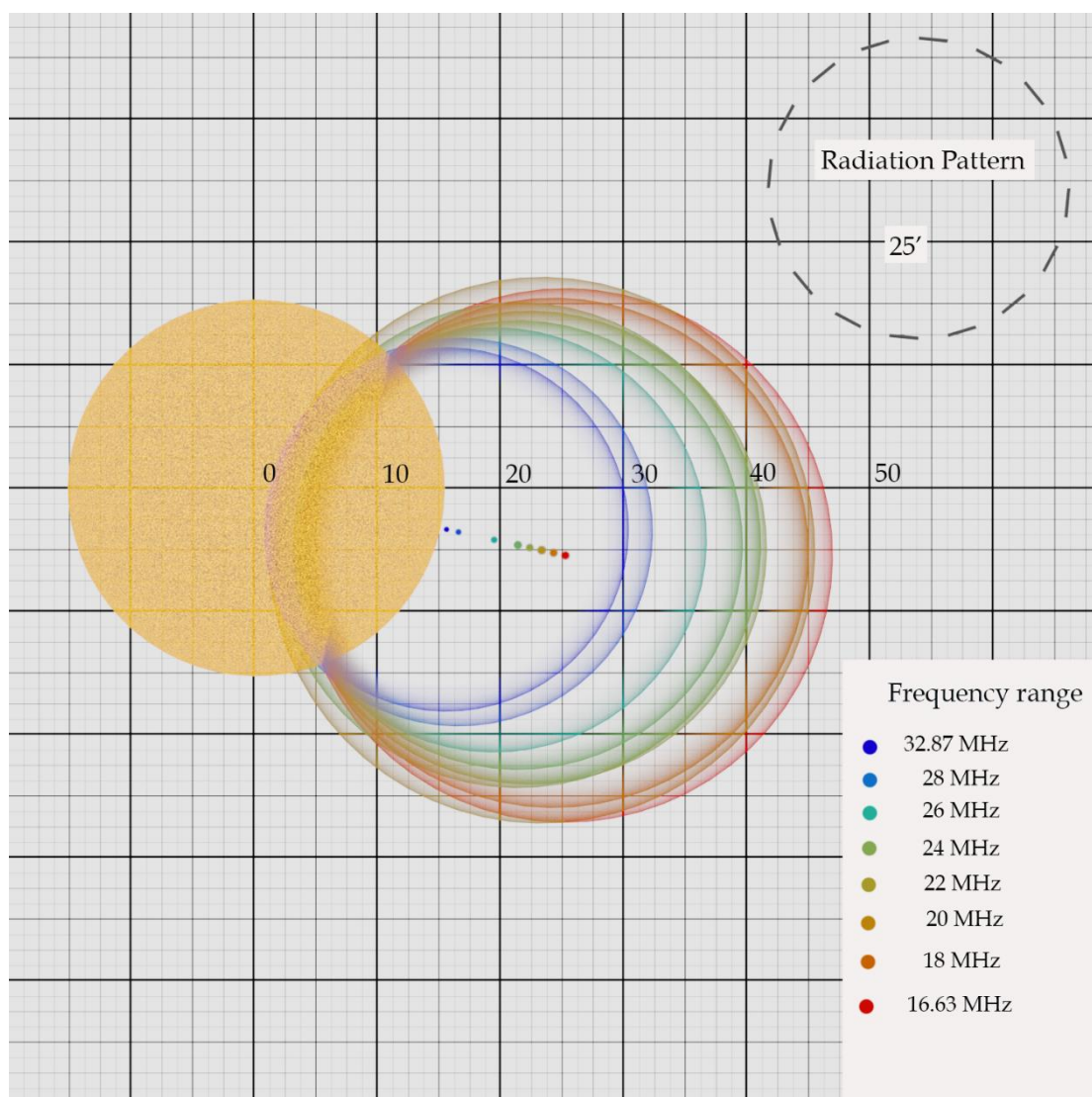


Рисунок 12. Залежність розміру джерела від його відстані до центра Сонця (має розмір 15 мінут). Вісь Ординат - Кутовий розмір джерела, вісь абсцис - кутова відстань відповідно. Кольором позначений діапазон частот від 32.87МГц (синій) до 16.63МГц (червоний). Знизу прав

Таблиця 3. Величини потоків s.f.u. за різними частотами, в різні моменти часу.

32.87MHz		30MHz		28MHz		26MHz	
T(min)	SFU	T(min)	SFU	T(min)	SFU	T(min)	SFU
0	22	0	32	0	23	4	30
2	19	2	25	2	20	6	25
4	13	4	13	4	20	9	17
6	11	6	12	6	15	12	8
9	10	9	9	9	10	15	7
12	7	12	6	12	8	17	6
15	5	15	4	15	7	20	3
17	4	17	2	17	6	23	2
20	3	20	1.5	20	3		
23	2			23	2		

24MHz		22MHz		20MHz		18MHz	
T(min)	SFU	T(min)	SFU	T(min)	SFU	T(min)	SFU
4	32	6	30	9	29	9	22
6	27	9	23	12	17	12	12
9	26	12	11	15	9	15	6
12	14	15	13	17	5	17	3
15	8	17	7				
17	6	20	5				
20	4	23	4				
23	2						

Щоб визначити яскравісну температуру джерела були виміряні потоки випромінювання на обраних частотах (таблиця 3). За наявності тільки однієї координати вимірювання розміру джерела ми припускаємо те, що форма ядра КВМ має правильні форми, тому в рівнянні ортогональні розміри перетворюються на одну, отриману радіотелескопом УТР-2.

$$Tb = 5,5 * 10^{29} \left(\frac{\lambda^2 s}{\theta_w \theta_N} \right) \rightarrow Tb = 5,5 * 10^{29} \left(\frac{\lambda^2 s}{\theta^2} \right) \quad (7)$$

Де T_b – яскравісна температура, λ – довжина хвилі, s – радіопоток, $\theta_{w,N}$ – кутовий розмір джерела.

За даними на графіку (рис. 14 - 15) можна відмітити тенденцію до зниження яскравісної температури з часом та зі зменшенням частоти. Відносно залежності $T_b = f(t)$ оцінка швидкості спаду ставить $1.8 \cdot 10^7$ K/мін, величина обчислювалась як середня за всіма частотами (32.87, 28, 26, 20, 18 МГц)

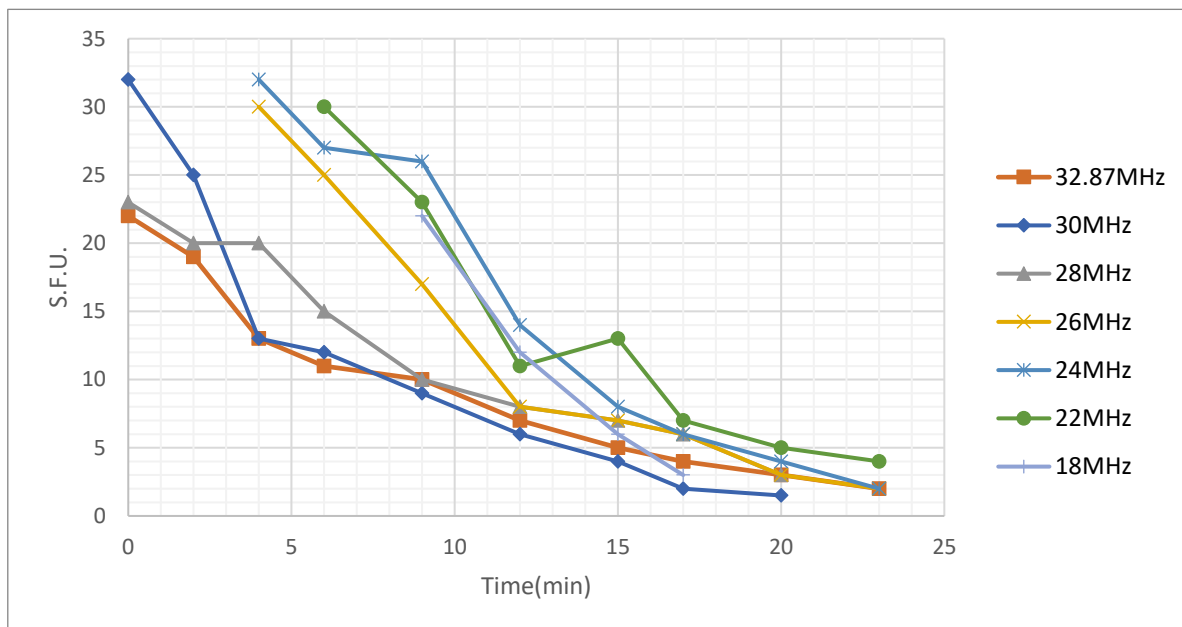


Рисунок 14. Залежність потоку s.f.u від часу. Праворуч кольором позначені частоти

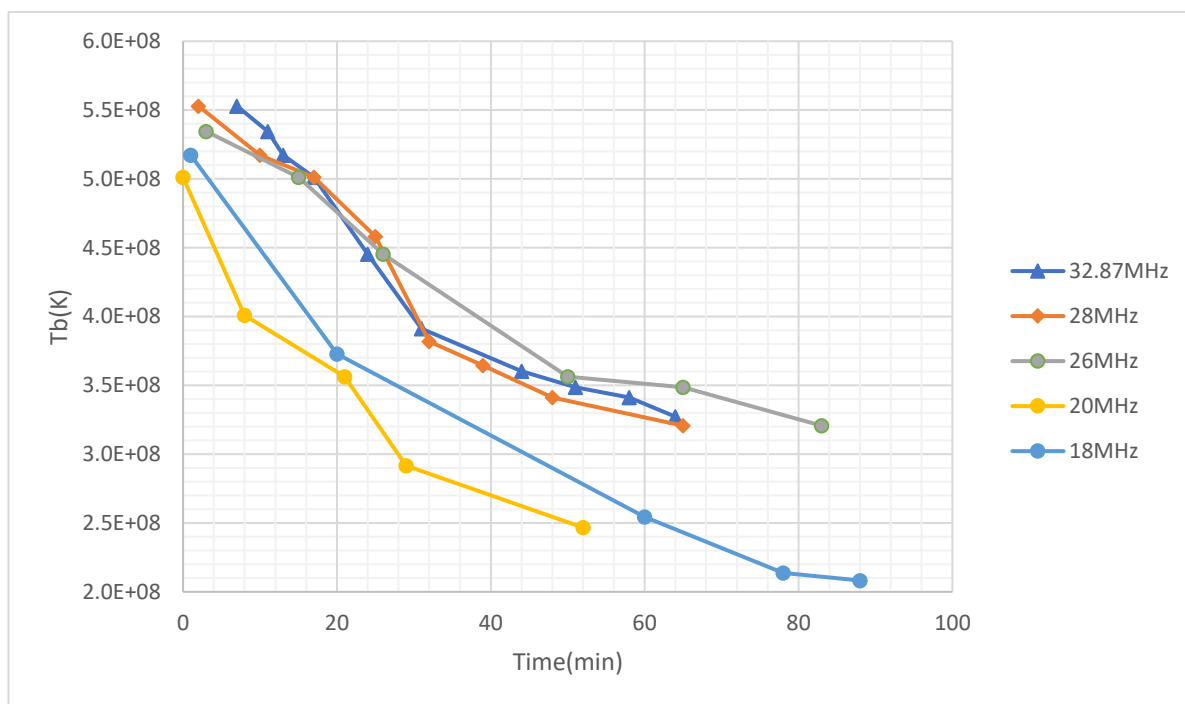


Рисунок 13. Залежність яскравісної температури джерела від часу

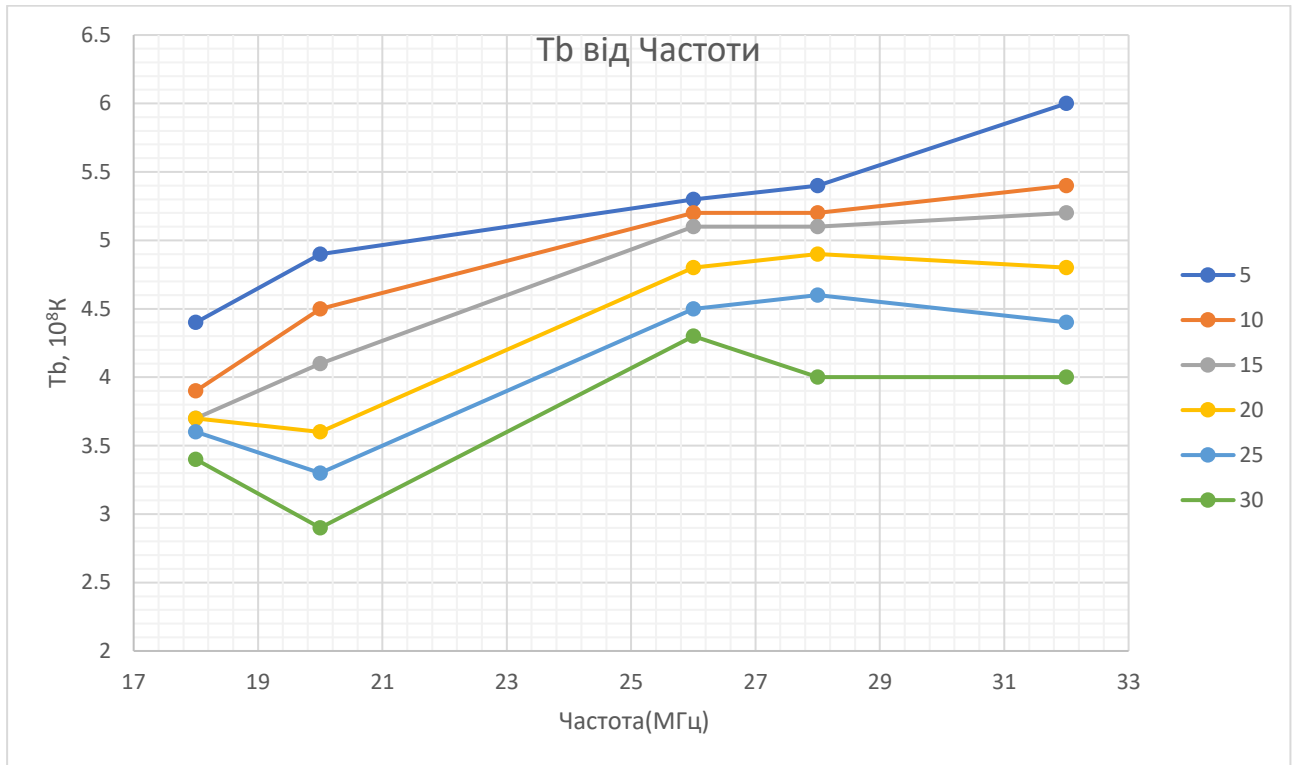


Рисунок 15. Залежність яскравісної температури від частоти. Кольором праворуч позначені інтервали часу (5 хвилин) від початку сплеску.

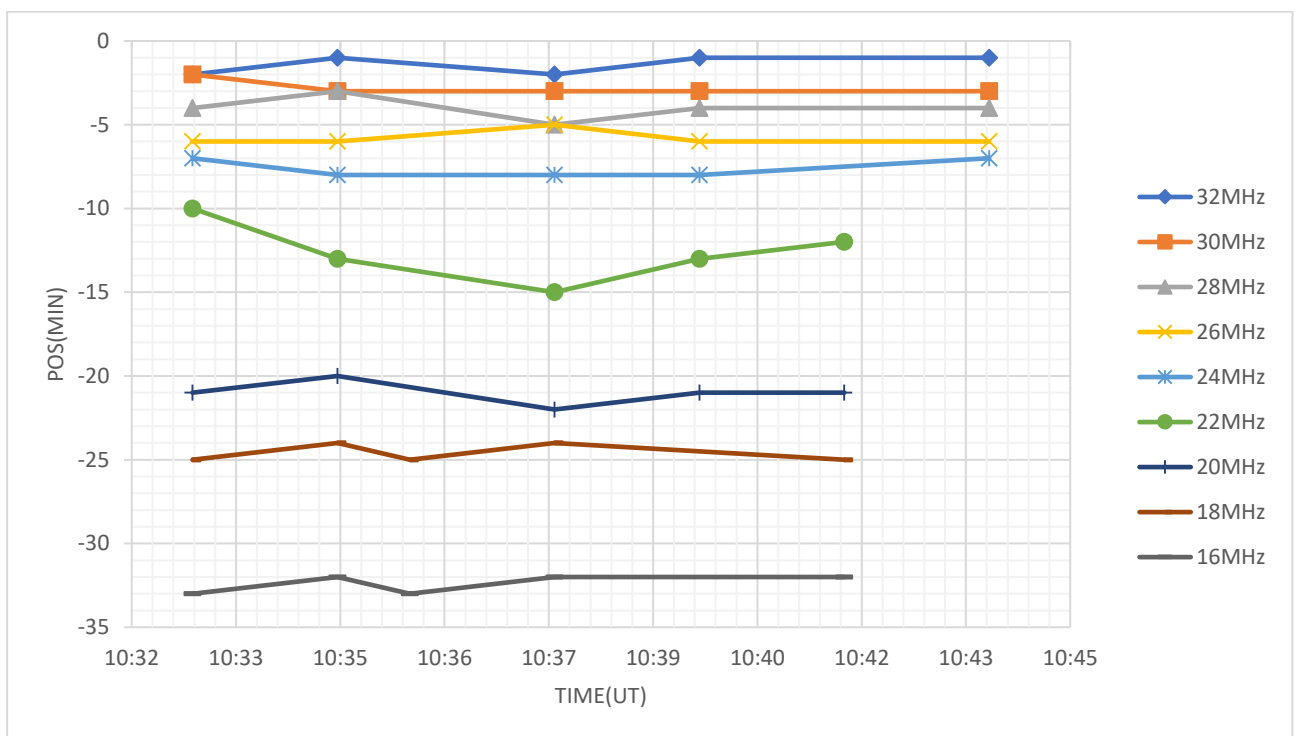


Рисунок 16. Розташування області затемнення відносно центра сонця. Праворуч кольором позначені частоти на яких проводились вимірювання.

2.1 Визначення напруженості магнітного поля ядра СМЕ

Незважаючи на те, що плазма в КВМ квазінейтральна в першому наближенні однак, вона складається з іонів та електронів, які мають заряд. За даними спостережень було встановлено збереження високої щільності плазми протягом всього існування викиду відносно концентрації частинок навколишнього розрідженого середовища. Такий ефект можна пояснити існуванням магнітного поля, яке існує в ядрі КВМ та стримує плазму від розльоту.

Для визначення напруженості магнітного поля ми скористаємося формулою магнітного тиску:

$$P_B = \frac{B^2}{8\pi} \quad (8)$$

де величина B – напруженість магнітного поля в системі СГС (Гс), вимірюється в Гаусах. На перший погляд в цьому рівнянні є дві невідомих величини, одну з них, тобто магнітний тиск ми можемо обчислити дорівнявши його до тиску ідеального газу що творить протидію магнітному полю. Запишемо отримане рівняння:

$$P_B = P = nkT$$

Де P – тиск плазми, n – стала Больцмана (СГС $k = 1.36 \cdot 10^{-16}$ ерг/К), n – концентрація частинок, T – температура. Беручи за увагу плазмовий механізм випромінювання, можна скористатись формулою плазмової частоти, яка залежить від концентрації та маси часток.

$$\omega_p = \sqrt{\frac{4\pi e^2 n}{m}} \quad (10)$$

Де ω_p – плазмова частота, e – заряд електрона ($e = 4.8 \cdot 10^{-10}$ СГС), m – маса електрона ($m_e = 9.11 \cdot 10^{-28}$ г.). Дорівнявши кругову частоту до $\omega_p = 2\pi f$, та виразивши концентрацію через рівняння (9), ми отримаємо:

$$n = \frac{m\pi f^2}{e^2} \quad (11)$$

Підставивши отриманий вираз для концентрації в формулу для тиску ідеального газу (8), стає можливим знайти величину магнітного поля через рівняння (7), тоді можемо вивести такий вираз:

$$B = \sqrt{nkT8\pi} \quad (12)$$

Для знаходження напруженості магнітного поля (таблиця 4), за основу були обрані відповідні частоти, обчисливши через них концентрацію (рівняння 10) і взявши за основу температуру корональної плазми $T = 2 \cdot 10^6$ К. Всі величини підставляємо у рівняння 11. Отримані дані зведені в таблиці 4 нижче.

Таблиця 4 Відповідні значення напруженості магнітного поля до частоти та розміру джерела

F(Hz)	Mag(G)	Size(min)
3.20E+07	5.9E-02	30
3.00E+07	5.6E-02	32
2.80E+07	5.2E-02	35
2.60E+07	4.8E-02	37
2.40E+07	4.4E-02	39
2.20E+07	4.1E-02	40
2.00E+07	3.7E-02	42
1.80E+07	3.3E-02	44
1.60E+07	3.0E-02	45

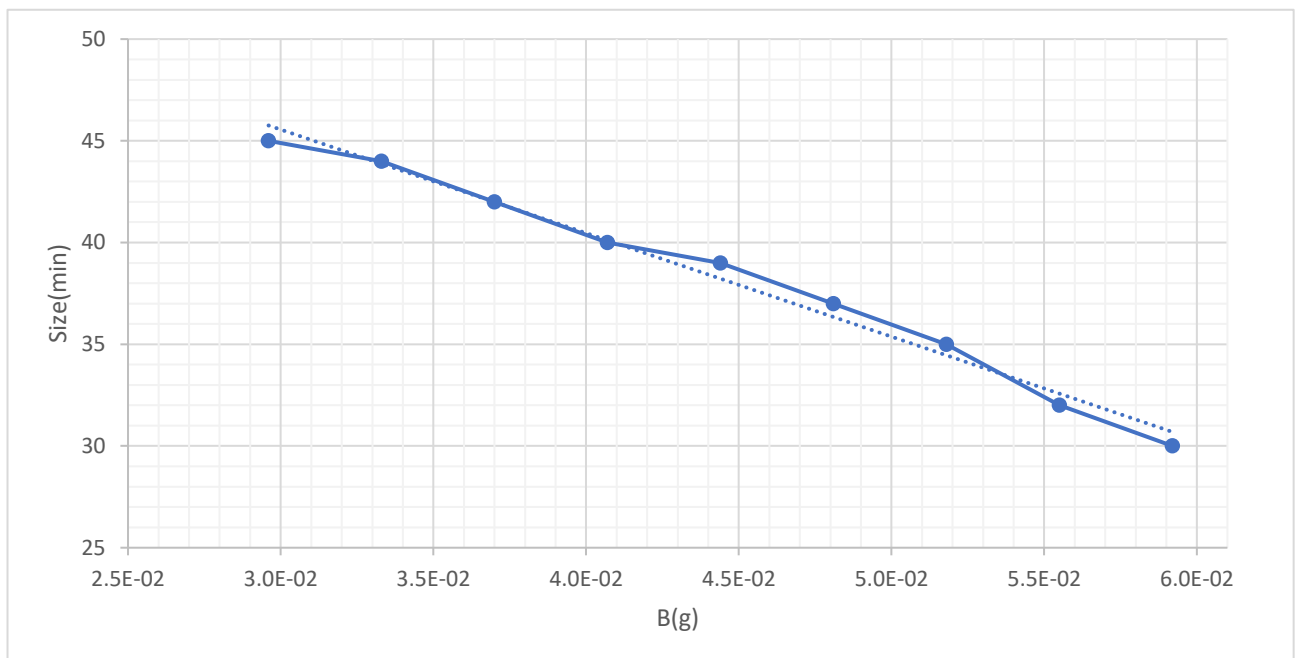
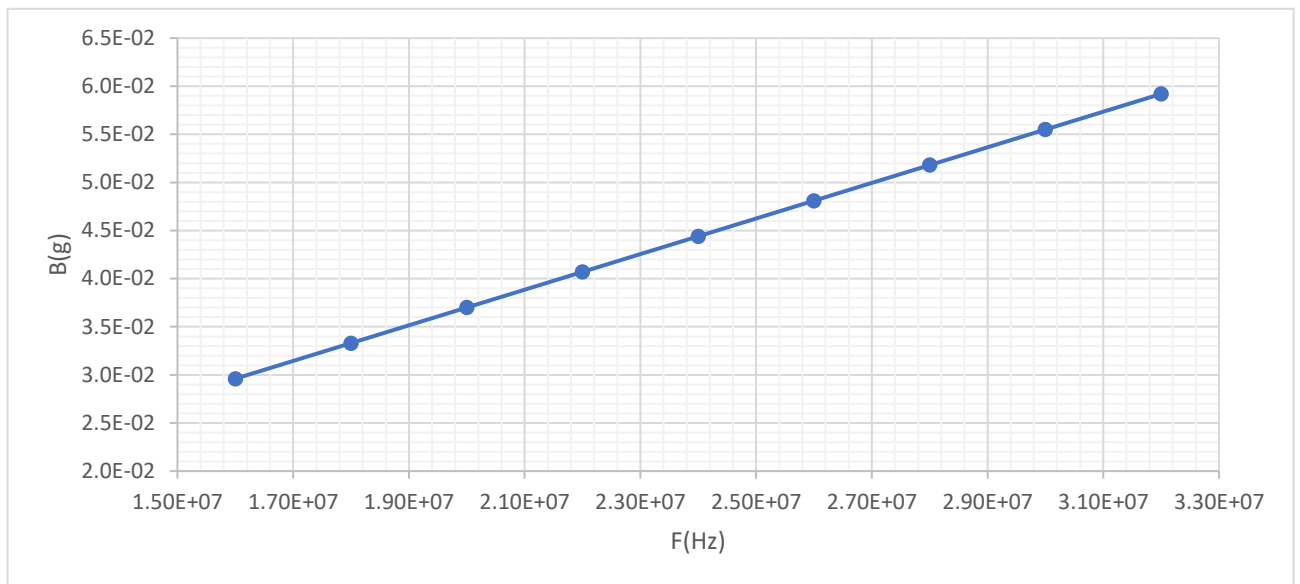


Рисунок 17. Графік зверху демонструє залежність розміру джерела від магнітного поля. Графік знизу демонструє залежність магнітного поля від частоти

3. Порівняння даних з попередніми дослідженнями

Виходячи із спостережень зроблених Nancay Radioheliograph (NRH) та проаналізованих даних зазначених в роботі (Н.М.Вайн 2014. стор.6) [7], ми порівняли потоки та яскравісні температури в таблиці 5. Звернувши увагу на обидві таблиці видно, що T_b на декаметрових довжинах відрізняються на два

порядки величини. На частоті 16-32 МГц це $5 \cdot 10^8$ К а на частотах 150 МГц, 173 МГц, 228 МГц, 270 МГц, 298 МГц, 327 МГц, 360 МГц, яскравісна температура становить $4 \cdot 10^6$ К. Така різниця в температурах пояснюється різними механізмами генерації хвиль. Бейн в своїй роботі обчислював T_B через синхротронний механізм випромінювання а в даній магістерській роботі плазмовий. Для синхротрону потрібні високі рівні енергії електронів $E_e > 10$ MeV та сильні магнітні поля, крім того випромінювання гіросинхротрону має тенденції до швидкого спаду, через відношення енергії до кута спостереження джерела. В плазмовому механізмі утворюються плазмові хвилі в ядрі КВМ, що розсіюються на заряджених частинках. За таких умов яскравісна температура значно вища і випромінювання може розповсюджуватись з будь-якої області ядра.

Потоки s.f.u. на менших частотах також більше і можна відмітити їх зменшення з частотою, однак на більших частотах спостерігається зворотня картина, чим вище частота, тим менші потоки реєструються. Відносно місцезнаходження та кутових розмірів джерела, на рис 18. при порівнянні двох графіків помітне співпадіння максимуму випромінювання джерела з контурами, отриманими в роботі. Оцінка напруженості магнітного поля становить від 5 – 15 Гс, приведена Бейном.

Таблиця 5. Порівняння досліджених даних потоків s.f.u та яскравісних температур на різних частотах. Ліворуч - таблиця з даними Бейна, праворуч

F(MHz)	Tb(K)	Max s.f.u.
150	1.07E+07	14
173	8.67E+06	15
228	4.82E+06	4.3
270	3.25E+06	7
298	1.97E+06	6.5
327	2.29E+06	2.4
360	2.16E+06	3.6

F(MHz)	Tb (K)	Max s.f.u.
32	5.50E+08	22
30	5.20E+08	24
28	5.00E+08	20
26	4.70E+08	24
24	5.20E+08	20
22	4.00E+08	17
20	4.50E+08	15
18	4.30E+08	12
16	4.20E+08	12

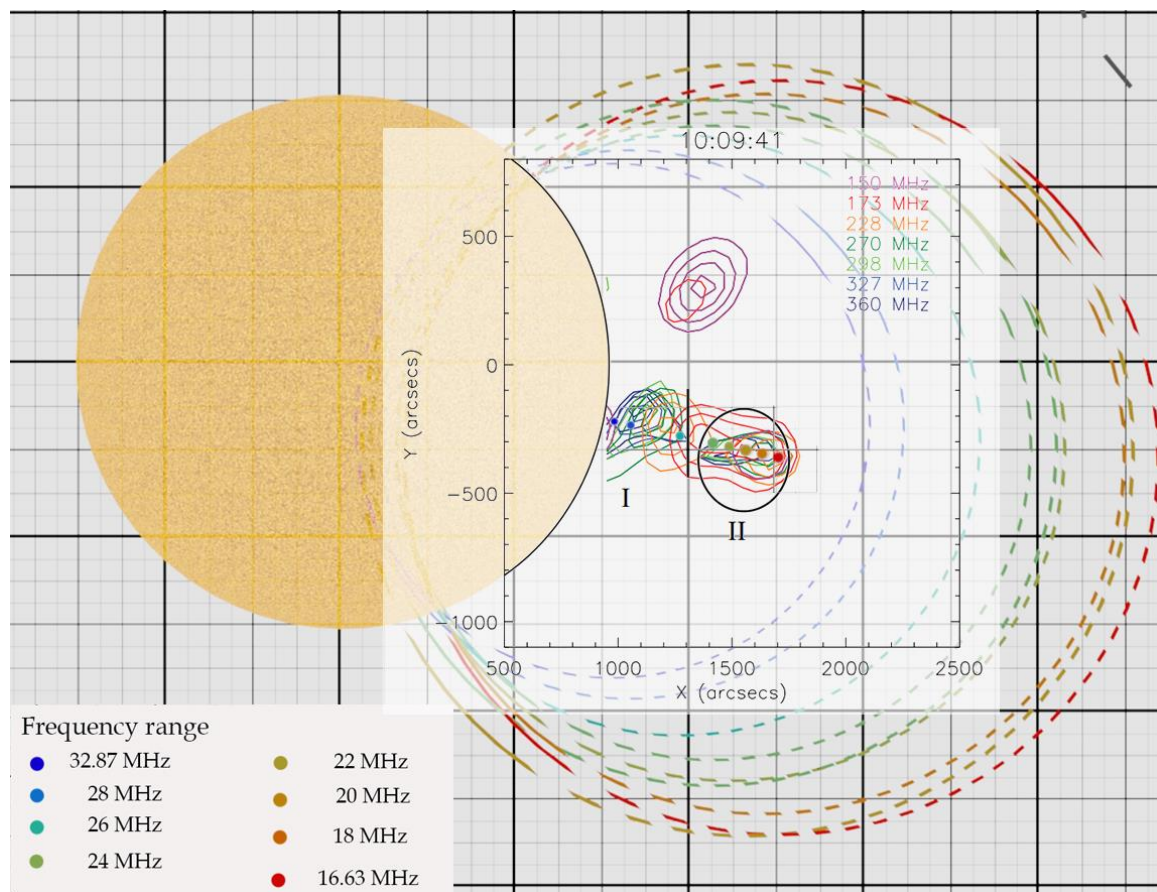


Рисунок 18. Порівняння кутових розмірів та відстаней джерела сплеску на різних частотах. Кольором позначений набір частот.

Висновки

В даній магістерській роботі було розглянуто сплеск IV типу, який зареєструвався радіотелескопами УРАН-2 та УТР-2 14 серпня 2010 року. У вступі ми ввели поняття феномену КВМ, сонячних спалахів та сплесків в радіодіапазоні. Описали види корональних викидів і коротко переглянули характеристики 5 ти типів сплесків в таблиці 2. В основній частині ми проаналізували характеристики радіотелескопів, записали формули для оцінки параметрів сплеску: кутовий розмір і відстань джерела радіовипромінювання ядра КВМ, потоки і яскравісну температуру та величини магнітного поля на різних частотах. На базі обчислених даних в третій частині цієї роботи були побудовані графіки, за якими ми простежили тенденції різних параметрів.

Розмір ядра КВМ на частотах 32.87, 28, 26 МГц збільшувався лінійно від 30' до 50' зі зменшенням частоти та до 70'- 80' на 18 та 20МГц. Відстань від центра Сонця на кожній з обраних частот не змінювалась з часом, але збільшувалась зі зменшенням частоти. На основі даних розміру та відстані джерела були проведені розрахунки яскравісної температури в інтервалах часу від 10:05 UT до 10:40 UT в діапазоні частот 32 – 16МГц. Виходячи з даних, які були нанесені на графіку, яскравісна температура має лінійну тенденцію до спаду від $5.5 \cdot 10^8 \text{K}$ до $3 \cdot 10^8 \text{K}$ за 60 хвилин, відповідно швидкість спаду дорівнює близько $1.8 \cdot 10^7 \text{K/мін}$. Також, на основі кутового розміру джерела для обраних частот були отримані значення магнітного поля, $B = 5 \cdot 10^{-2}$ Гаус, що було достатньо для утримання ядра КВМ від його розльоту.

Були проведені порівняння між даними в магістерській роботі та дослідженнями Бейна. З'ясувалось те, що яскравісна температура значно вище у діапазоні 16 – 32 МГц $5 \cdot 10^8 \text{K}$ проти $4 \cdot 10^6 \text{K}$ на частотах 150 – 320 МГц. Однак просторові координати джерела майже співпадають, як демонструвалося на рисунку 18.

Результати цієї роботи дозволили нам з'ясувати основні моменти сплеску IV типу за 14 серпня 2010 року. Під час дослідження було встановлено, що джерело сплеску майже не зміщується відносно поверхні та співпадає з координатами попередніх досліджень. Відстежується лінійне зростання розміру джерела зі зменшенням частоти, спостерігається повільний спад радіопотоків з часом. Також встановлені величини магнітного поля для кожних з частот, яке стримує плазму в ядрі викиду. Основа цих даних є прекрасним доповненням до фізичної моделі КВМ і радіовипромінювання у декаметровому діапазоні довжин хвиль.

Список літератури

1. V.N. Melnik, H. O. Rucker, A. A. Konovalenko, V.V. Dorovsky , E.P. Abranin , A.I. Brazhenko , B.Thide , A. A.Stanislavskyy - Solar Type IV bursts at frequencies 10-30 МГц
2. Веб-сайт з архівом даних сонячної активності [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.spaceweather.com/archive.php?view=1&day=14&month=08&year=2010>
3. *Gopalswamy N.* A Global Picture of CMEs in the Inner Heliosphere. // *The Sun and the Heliosphere as an Integrated system. Astrophys. Space Sci. Libr. / Poletto G., Suess S. (eds.). - Dordrecht: Kluwer Academic Publ., 2004. – V.317. P.201.*
4. Dulk G.A., McLean, D.J. Coronal magnetic fields // *Solar Phys.* 1978. V.57. P.279.
5. *Троицкий В. С., Цейтлин Н. М.* Радиоастрономические методы абсолютных измерений интенсивности сигналов, калибровки антенн и радиотелескопов на сантиметровых волнах (обзор) // *Изв. вузов. Радиофизика.* – 1961. – Т. 4, № 3. – С. 393–414.
6. С.Л. Рашковский и др. Измерение плотности потока изучения радиоисточников в интерферометрической сети УРАН-2 // *Радиофизика и радиоастрономия.* 2013, Т. 18 №4, с.291-300.
7. H. M. Bain, S. Krucker, P. Saint-Hilaire, and C. L. Raftery - Radio imaging of a type ivm radio burst on the 14th of august 2010. *The Astrophysical Journal*, 782:43. 2014 February 10
8. Веб-сайт з архівом даних коронографу STEREO [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://stereo-ssc.nascom.nasa.gov/browse/2010/08/14/>