Секция А. Астрофизика и физика Солнца. БШФФ-2026. С. 146–147.

УДК: 523.9-7, 523.98
DOI: 10.62955/0135-3748-2026-146
ORCID: 0009-0008-4621-5222

ДИНАМИКА МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВО ВСПЫШЕЧНОЙ ПЕТЛЕ ВО ВРЕМЯ ЛИМБОВОЙ ВСПЫШКИ 14.05.2024 ПО ДАННЫМ СИБИРСКОГО РАДИОГЕЛИОГРАФА

Д.А. Смирнов, В.Ф. Мельников

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

MAGNETIC FIELD DYNAMICS IN THE FLARE LOOP DURING THE LIMB FLARE OF 14 MAY 2024 FROM SIBERIAN RADIOHELIOGRAPH DATA

D.A. Smirnov, V.F. Melnikov

Central Astronomical Observatory at Pulkovo of RAS, Saint Petersburg, Russia

Аннотация. В данной работе проведена радиодиагностика динамики магнитного поля во вспышечной петле во время лимбовой вспышки 14.05.2024 на основе данных Сибирского радиогелиографа. Фитирование микроволновых частотных спектров излучения в различных областях вспышечной петли проводилось на основе генетического алгоритма. Установлено, что на фазе роста основных пиков излучения магнитное поле уменьшается, а на фазе спада – увеличивается.

Ключевые слова: солнечные вспышки, радиогелиограф, радиодиагностика.

Abstract. This paper presents radio diagnostics of the magnetic field dynamics within a flare loop during the limb flare of 14 May 2024 using data obtained from the Siberian Radioheliograph. Fitting of microwave emission spectra measured at multiple frequencies across different regions of the flare loop was performed via a genetic algorithm. It is found that the magnetic field declines during the rising phase of the main emission peaks and increases throughout the decay phase.

Keywords: solar flares, radioheliograph, radio diagnostics.

ВВЕДЕНИЕ

Ранее методом радиодиагностики нами были исследованы вспышки 20 января 2022 года (M5.5, NOAA 12929) и 16 июля 2023 года (M1.1, NOAA 13372) по данным Сибирского радиогелиографа – СРГ [Смирнов, Мельников, 2024]. Восстановление параметров вспышечной плазмы выполнялось в предположении изотропного распределения ускоренных электронов. Было обнаружено существенное изменение магнитного поля в области максимальной радиояркости: на фазе роста всплесков поле уменьшалось, а на фазе спада возрастало. Для объяснения этого эффекта были предложены две возможные интерпретации: реальные изменения магнитного поля в источнике либо пространственно-неразрешённое смещение радиоисточника между областями с различной напряжённостью магнитного поля.

Позднее в работе [Смирнов, Мельников, 2026] было показано, что уменьшение степени поперечной и увеличение степени продольной анизотропии в радиоисточнике может трактоваться при диагностике в предположении изотропности излучающих электронов, как уменьшение величины магнитного поля, хотя в реальности это не будет являться верным. Данное явление могло быть одной из причин уменьшения восстановленного магнитного поля, обнаруженного в работах [Fleishman et al., 2020, 2022; Смирнов и Мельников, 2024], во время вспышек, для которых диагностика проводилась именно в предположении изотропного источника, без учёта возможной продольной анизотропии питч-углового распределения излучающих электронов.

Исходя из этого, для вспышек 20 января 2022 года и 16 июля 2023 года была проведена повторная радиодиагностика, но уже с учетом возможной анизотропии электронов. Результаты получились близкими, качественно поведение магнитного поля сохранилось. Однако, требуется большая статистика по исследованным вспышечным событиям.

Предметом данного исследования является солнечная вспышка, произошедшая 14 мая 2024 года и наблюдавшаяся на Сибирском радиогелиографе (СРГ) в диапазоне частот 3–24 ГГц. Активная область располагалась в юго-западной части солнечного лимба; вспышка достигла класса X1.7 по классификации GOES (источник – NOAA № 13664). Это первая вспышка, исследуемая по данным СРГ, для которой на радиоизображениях полностью разрешается вспышечная петля, видимая над лимбом, за пределами солнечного диска [Wu et al., 2026]. Такая особенность позволяет проводить более надёжную радиодиагностику, при этом независимо диагностировать параметры вспышечной плазмы как в основаниях петли, так и в её вершине.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Используемый метод радиодиагностики заключается в фитировании (подгонке) рассчитываемых с помощью FastGS Codes [Fleishman, Kuznetsov, 2010] значений интенсивности и поляризации ГС-излучения к наблюдаемым значениям на различных частотах микроволнового спектра. При проведении фитирования мы используем генетический алгоритм, который позволяет определять глобальный минимум невязки более надёжно, чем используемый в [Fleishman et al., 2020] Simplex алгоритм. Подробно метод фитирования на основе

генетического алгоритма описан в работе [Смирнов, Мельников, 2024].

Диагностика проводилась для двух возможных вариантов питч-углового распределения энергичных электронов: 1) в предположении изотропности их распределения; 2) с учетом возможной анизотропии электронов.

В результате диагностики были восстановлены значения и динамика в процессе развития вспышки следующих параметров: величины магнитного поля, угла между направлением силовых линий магнитного поля и лучом зрения, концентрации и показателей энергетического спектра электронов.

Качественно полученные результаты изменения магнитного поля в ходе вспышки оказались схожими с результатами, полученными ранее: по мере увеличения плотности потока излучения магнитное поле уменьшается (со скоростью -70 Гс/с) в течение 20 сек, достигая минимального значения в максимуме вспышки, после чего начинает возрастать (со скоростью +15 Гс/с в течение 55 сек), приближаясь к исходным значениям. Такое поведение может свидетельствовать о первоначальной диссипации магнитного поля с его последующим восстановлением вследствие эффекта Паркера [Solov'ev, Kirichek 2023].

Также стоит отметить, что максимум интенсивности радиоизлучения всплеска задерживается на ~ 20 сек относительно максимума изменения магнитного поля.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-12-00308–П. Мы благодарны коллективу Сибирского радиогелиографа за доступ к данным о зарегистрированных на СРГ вспышках, а также всемерную помощь по их обработке и дружескую поддержку при выполнении этой работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Смирнов Д.А., Мельников В.Ф. Микроволновая диагностика вспышечной плазмы методом фитирования по данным Сибирского радиогелиографа. Солнечно-земная физика. 2024, т. 10, № 3, с. 27–39. DOI: 10.12737/szf-103202404

Смирнов Д.А., Мельников В.Ф. Возможные погрешности в восстановленных методом фитирования параметрах радиоисточника, связанные с анизотропностью распределения электронов. Солнечно-земная физика. 2026, т. 12, №. 2, с. 119–123. https://doi.org/10.12737/szf-122202612

Fleishman G.D., Kuznetsov A.A. Fast gyrosynchrotron codes // Astrophys. J. 2010. V. 721. № 2. P. 1127–1141.

Соловьев А.А., Киричек Е.А. Особенности вспышечного энерговыделения в бессиловых магнитных жгутах. Письма в АЖ. 2023, т. 49, №5, с. 1–14. DOI: 10.31857/S0320010823050066

Wu Zh., Melnikov, V., Kuznetsov, A., Smirnov, D., Anfinogentov, S., Yu, F., Huang, R., Li, Z., Kong, X., & Liu, J. An extreme solar millimeter burst induced by two successive flares. Astrophys. J. Letters, 2026,1003, L27. DOI: 10.3847/2041-8213/ae69d1

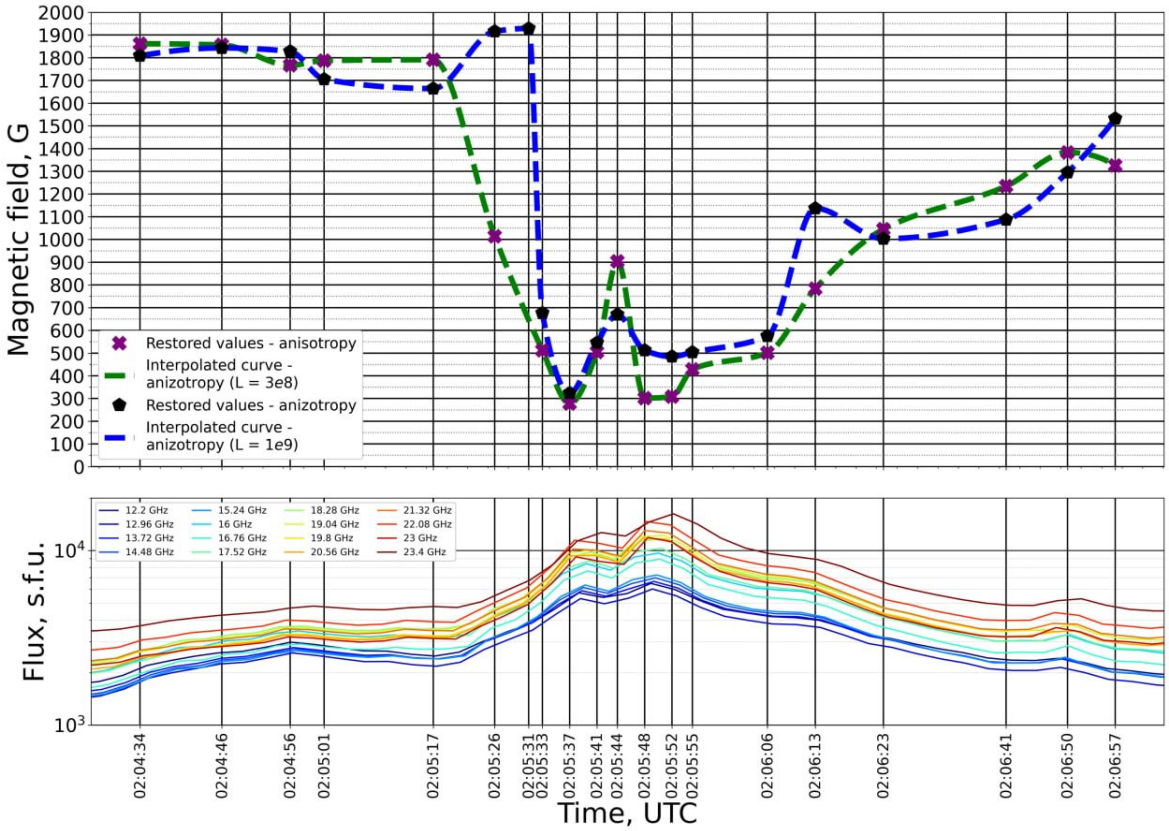

Рис. 1. Эволюция величины магнитного поля в ходе вспышки 14 мая 2024 года