

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ МАГНИТНЫХ ЖГУТОВ И МИКРОВОЛНОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ДАННЫМ РАДИОГЕЛИОГРАФА В НОБЕЯМЕ И СИБИРСКОГО РАДИОГЕЛИОГРАФА

**Бакунина И.А.¹, Мельников В.Ф.², Шаин А.В.², Кузнецов С.А.²,
Абрамов-Максимов В.Е.²**

¹*НИУ ВШЭ, Нижний Новгород, Россия*

²*ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия*

rinbak@mail.ru

Магнитные жгуты являются ключевыми элементами в процессе возникновения солнечных вспышек. Диссипация электрических токов и свободная магнитная энергия, накопленная в жгутах, - главные процессы, приводящие к вспышкам.

Микроволновое излучение является хорошим индикатором процессов энерговыделения в активной области (АО), где магнитная энергия преобразуется в кинетическую энергию плазмы и энергию ускоренных частиц. Поэтому анализ микроволнового излучения так важен и помогает понять механизмы, лежащие в основе солнечных вспышек.

Цель данного исследования – проследить для выборки вспышек рентгеновских классов М и Х пространственную связь скрученного магнитного поля (магнитных жгутов) с источниками микроволнового излучения на частоте 17 ГГц (по данным радиогелиографа в Нобеяме (NoRH)) и на частоте 6 ГГц (по данным SRG), а также с источниками крайнего ультрафиолетового диапазона (КУФ) (по данным SDO/AIA). Для поиска и идентификации магнитных жгутов в 3D магнитосфере активных областей мы использовали пространственные карты плотностей электрических токов, которые являются хорошей количественной характеристикой скрученности силовых линий магнитного поля, восстановленного методом нелинейной бессиловой (NLFFF) экстраполяции.

Приведем два примера анализа событий: с СМЕ на 17 ГГц (Рис.1) и без СМЕ на 6 ГГц (Рис.2).

На Рис.1 вспышка М 8.7 23 января 2012 ($T_{\text{start}} = 01:36$, $T_{\text{peak}} = 03:50$, $T_{\text{end}} = 06:06$ UT) в АО 11402 происходит в замкнутой магнитной конфигурации, но жгуты (выделены красным цветом, верхняя панель, фон – КУФ 171 Å) в месте возникновения вспышки расположены квази-параллельно вышележащим магнитным силовым трубкам, что может облегчать им условие подъема и выхода жгута в высокие слои короны. На Рис. 1 (третья панель сверху) хорошо видно изменение структуры токовых петель над радиоисточником за период времени с 01:22 до 02:58 (96 минут). В области

радиоисточника появились новые токовые петли. При этом эти петли – пересекающиеся: две петли сверху, а под ними еще одна токовая петля. Их расположение соответствует положению магнитного жгута, восстановленного в NLFFF в момент времени 02:58. Магнитные жгуты над изображениями радиоисточников в каналах I и V расположены квазипараллельно вышележащим магнитным силовым линиям (вторая сверху панель). Вероятно, это способствует вылету жгутов выше в корону и возникновению СМЕ. Действительно, через два часа после пика вспышки жгуты выглядят менее скрученными ($t = 05:58$ UT, правая верхняя панель), чем до вспышки ($t = 01:22$ UT, левая верхняя панель).

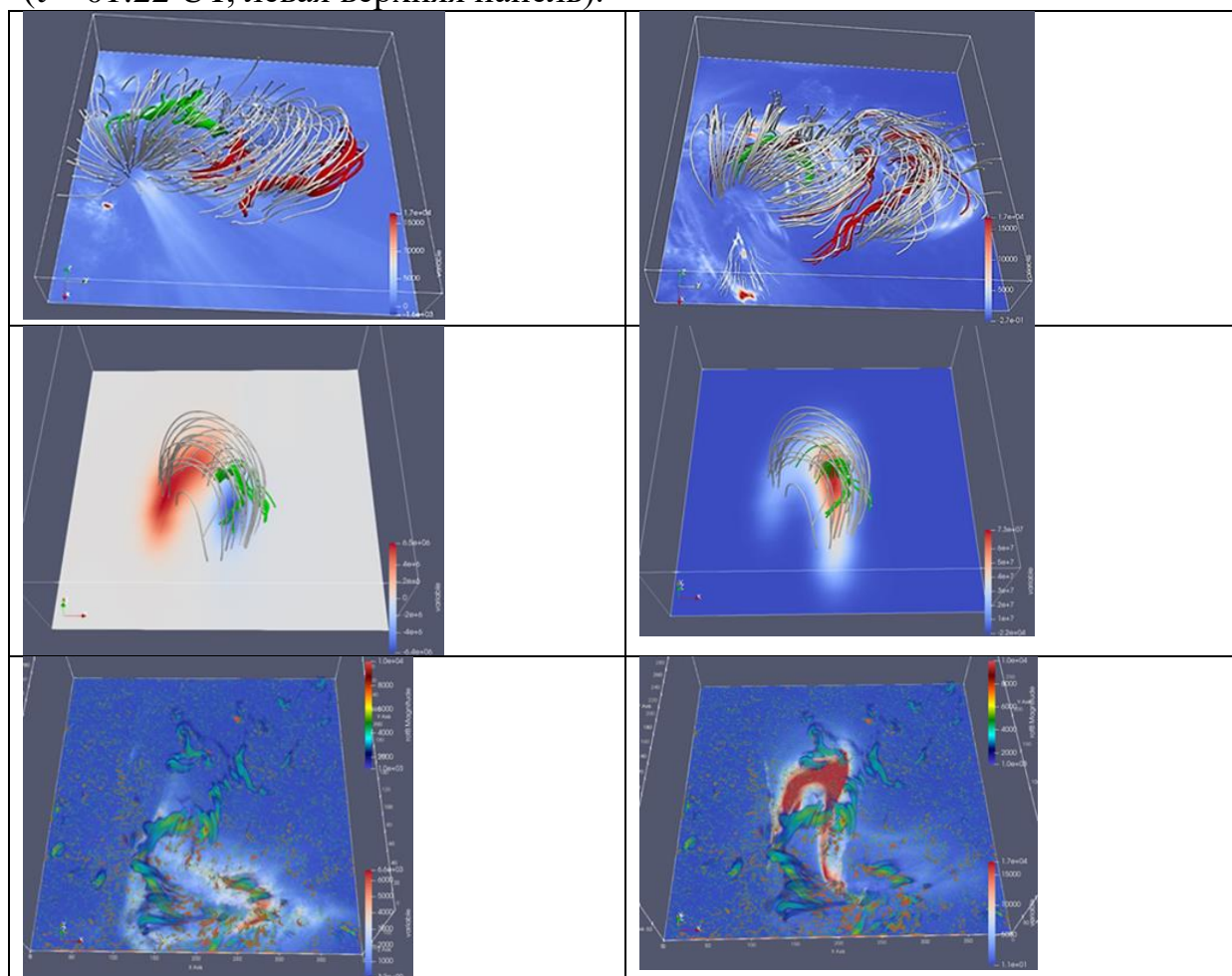


Рис.1

Рассмотрим вспышку X 1.4 01 июня 2024 ($T_{\text{start}} = 08:26$, $T_{\text{peak}} = 08:48$, $T_{\text{end}} = 08:58$ UT) в АО 13697. На Рис.2 на правой верхней панели показано распределение электрических токов в этой активной области (зеленым цветом) в момент времени 08:45 UT, фон – AIA/SDO 131 Å (красный цвет). На левой нижней панели – то же самое, но в момент времени 08:34 UT. По сути, это - мощные магнитные жгуты, и, как раз, над ними располагается пик радиояркости в интенсивности на частоте 6 ГГц (левая верхняя панель, контуры; красным цветом - AIA/SDO 131 Å). Так же, как и в предыдущем

случае, хорошо видно изменение структуры токовых петель над радиосточником за период времени с 08:34 до 08:45 в период достижения максимума энерговыделения. Правая нижняя панель, линии, - распределение магнитного поля. Жгут с током находится под этим внешним магнитным полем и почти перпендикулярен его силовым линиям. Данная вспышка не сопровождалась СМЕ, в отличие от первого случая, возможно, как раз, из-за квазиперпендикулярного расположения жгута выходящим силовым аркадам магнитного поля, что препятствует подъему жгута в верхние слои солнечной короны. Здесь также проиллюстрировано совпадение пика радиояркости с положением наиболее мощных плотностей токов (магнитных жгутов).

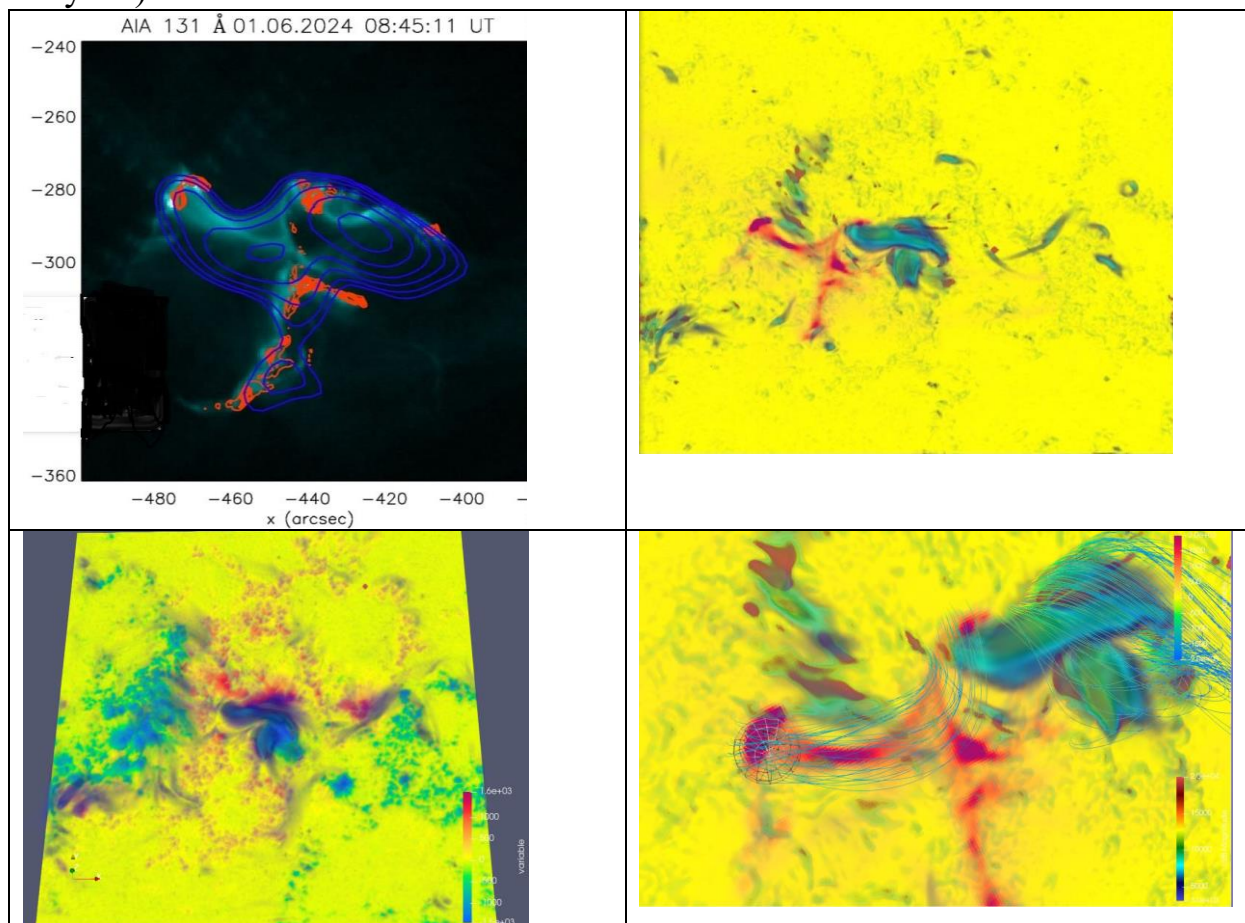


Рис.2

Всего в данной работе проанализировано 17 вспышечных событий: 15 событий по данным NoRH и два события по данным СРГ. Обобщая результаты, полученные в данном и предыдущих наших исследованиях, можно констатировать, что магнитные жгуты наблюдаются во всех исследованных АО, как до, так и после вспышек. В большинстве случаев жгуты никуда не исчезают после вспышки, но выглядят менее скрученными. Вспышки с СМЕ, в основном, наблюдались в открытых магнитных конфигурациях, а вспышки без СМЕ - в закрытых конфигурациях. Магнитные

жгуты в событиях с СМЕ располагаются, в основном, квази-параллельно вышележащим магнитным силовым линиям, в событиях с запертой эрупцией - квази-перпендикулярно. Положение наиболее мощных жгутов, характеризующихся самыми сильными в АО электрическими токами, совпадает с положением максимума радиояркости на 17 ГГц и 6 ГГц в момент пика вспышки. Связь магнитных жгутов с поляризованным радиоизлучением и с излучением в крайнем ультрафиолетовом диапазоне во время максимума яркости вспышки свидетельствует о том, что вспышечные аркады совпадают пространственно с расположением жгутов в АО. Это указывает на важную роль магнитных жгутов во вспышечном энерговыделении. Отметим, что в половине исследованных вспышек выбросы корональной массы (СМЕ) не наблюдались. Поэтому можно сделать вывод, что триггером вспышки является не эрупция плазмы с последующим пересоединением (“стандартная модель вспышки”), а другой процесс, вероятно, связанный с диссипацией энергии электрического тока, накопленной в самом магнитном жгуте.