

АНАЛИЗ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ КЛАССА M3.0 ПО ДАННЫМ МИКРОВОЛНОВОГО И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Р.Р. Каракотов, А.А. Кузнецов, С.А. Анфиногентов

Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской Академии Наук, Иркутск, Россия,
r.r.karakotov97@iszf.irk.ru

INVESTIGATION OF M3.0 CLASS SOLAR FLARE IN THE MICROWAVE AND ULTRAVIOLET EMISSION

R.R. Karakotov, A.A. Kuznetsov, S.A. Anfinogentov

Institute of Solar-Terrestrial Physics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia,
r.r.karakotov97@iszf.irk.ru

Аннотация. В работе проведен анализ солнечной вспышки класса M3.0 6 апреля 2023 г. по данным наблюдений в ультрафиолетовом (Solar Dynamics Observatory/Atmospheric Imaging Assembly — SDO/AIA) и микроволновом (Сибирский Радиогелиограф — СРГ) диапазонах. Два эпизода медленных волн, возбужденных вспышкой, были зафиксированы в канале 131 Å SDO/AIA. Параметры колебаний согласуются с параметрами, приведенными в других работах. Микроволновые наблюдения показали, что динамика источника радиоизлучения отражает процесс энерговыделения: в разное время доминируют разные вспышечные петли. Корреляции между движениями источников микроволнового и ультрафиолетового излучения не было обнаружено. Колебания потока радиоизлучения, которые могли бы быть связаны с медленными волнами, не обнаружены, что можно объяснить амплитудой МГД-волны, недостаточно высокой, чтобы вызвать заметную для СРГ модуляцию потока.

Ключевые слова: магнитная гидродинамика (МГД) — Солнце: корона — Солнце: колебания — волны — Солнце: радиоизлучение

Abstract. Analysis of the M3.0 class solar flare on 2023-04-06 was performed using the ultraviolet (Solar Dynamics Observatory/Atmospheric Imaging Assembly — SDO/AIA) and microwave (Siberian Radio Heliograph — SRH) data. Two cases of slow magnetoacoustic waves triggered by the flare were detected in SDO/AIA 131 Å channel. The properties of oscillations are consistent with the results reported by other researchers. Microwave observations show that the dynamics of the radio source reflects the process of energy release: different flaring loops dominate at different times. No correlation was found between the movements of microwave and ultraviolet sources. We have found no slow-wave-associated fluctuations in the microwave flux, which can be explained by the amplitude of the MHD wave being insufficient to cause a noticeable (by the SRH) flux modulation.

Key words: magnetohydrodynamics (MHD) – Sun: corona – Sun: oscillations – waves – Sun: radio radiation

В работе рассматривается солнечная вспышка класса M3.0, произошедшая 2023-04-06T05:36:00 — 06:10:00 UT на юго-восточном лимбе. Используются данные наблюдений в ультрафиолетовом диапазоне на канале 131 Å (10^7 К и 1.58×10^7 К) прибора SDO/AIA и в микроволновом диапазоне на двух решетках Сибирского Радиогелиографа (3–6 ГГц, 6–12 ГГц).

Вспышечная область в ультрафиолетовом диапазоне представляла собой систему петель, из которой две пересекающиеся в проекции петли поочередно проявляли активность, визуально увеличивая свою яркость (рис. 1). В ходе вспышечной активности в 2-х корональных петлях зафиксированы 2 эпизода медленных магнитозвуковых волн (рис. 1, правая панель, и рис. 2).

Построенные пространственно-временные диаграммы показывают, что перемещающаяся область повышенной яркости практически не меняет свою интенсивность со временем, что является признаком медленных магнитозвуковых волн.

Интересным является то, что в колебание во второй петле не проходит полный путь по петле (40 % петли до первого отражения). Вид колебания на диаграмме говорит о том, что возмущение, возникшее в основании петли, прошло часть петли, отразилось в середине петли (назовем это место «зеркальной

точкой 1»), прошло часть обратного пути, после чего снова отразилось («зеркальная точка 2»). Положение второй зеркальной точки изменяется со временем и становится ближе к середине петли, в то время как первая зеркальная точка практически не меняет своего положения. Уменьшение наклона линии перемещения возмущения на пространственно-временной диаграмме говорит о том, что проекция скорости возмущения на плоскость наблюдения уменьшается, что, вероятно, соответствует уменьшению температуры петли, в которой происходит распространение.

Параметры колебаний приведены в табл. 1. Они находятся в согласии с ранее приведенными результатами, например, [Kumar et al., 2013], [Kumar et al., 2015], [Wang et al., 2015] и [Mandal et al., 2016].

Таблица 1.

Параметры колебаний по данным канала 131 Å SDO/AIA

Петля	Длина петли L, Мм	Период колебания P, с	Скорость v, км/с	Ширина возмущения δ, Мм	δ / L, %
1	71.4±1.6	346±13	413±24	12.2	17±0.7
2	123.7±2.1	250–360 (после 1-го полупериода)	81–380 (после 1-го полупериода)	8.9	7.3±0.6

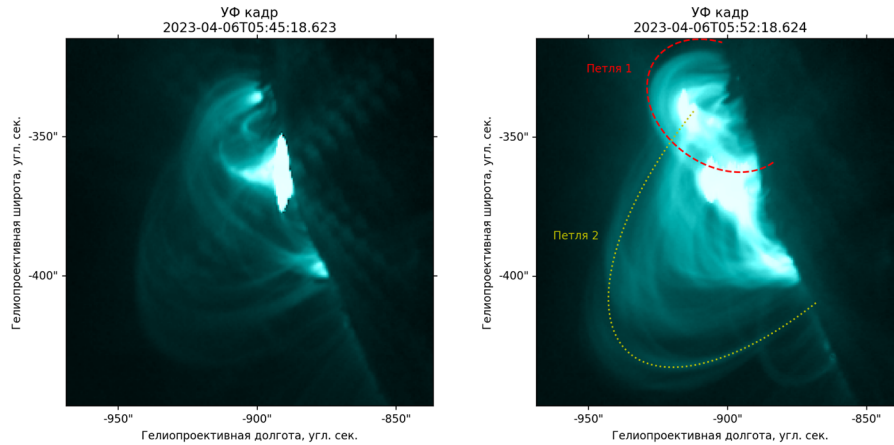


Рис. 1. Участок солнечной короны по наблюдениям в канале 131 Å SDO/AIA. На левой панели показано уярчение в первой вспышечной петле (в центре изображения), на правой — уярчение во второй петле. Линиями отмечены петли, в которых были замечены периодические изменения яркости

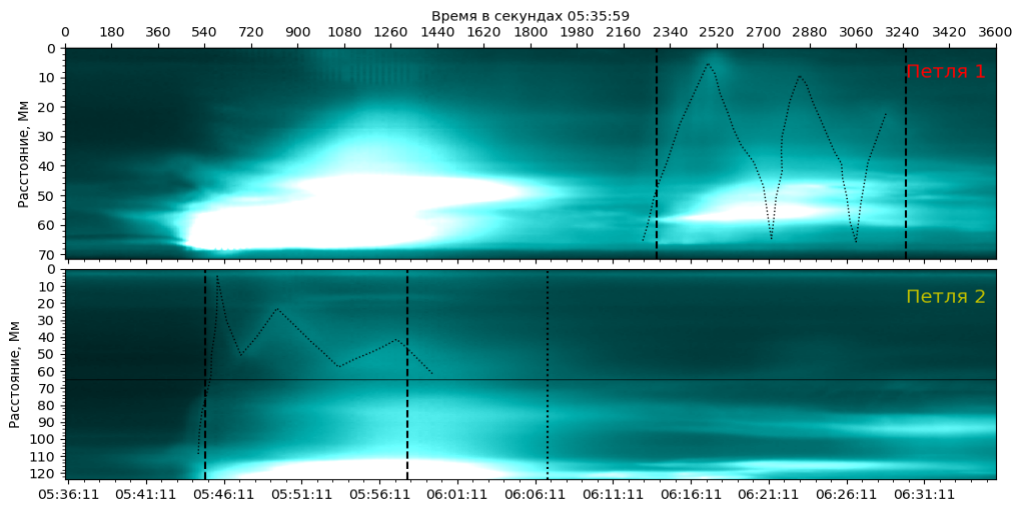


Рис. 2. Пространственно-временные диаграммы по данным канала 131 Å SDO/AIA, построенные для двух корональных петель. Верхняя панель: колебание зафиксировано в промежутке 6:14–6:28 UT с периодом ~6 мин. Нижняя панель: временной промежуток 5:45–6:07 UT. Виден рост периода колебаний со временем

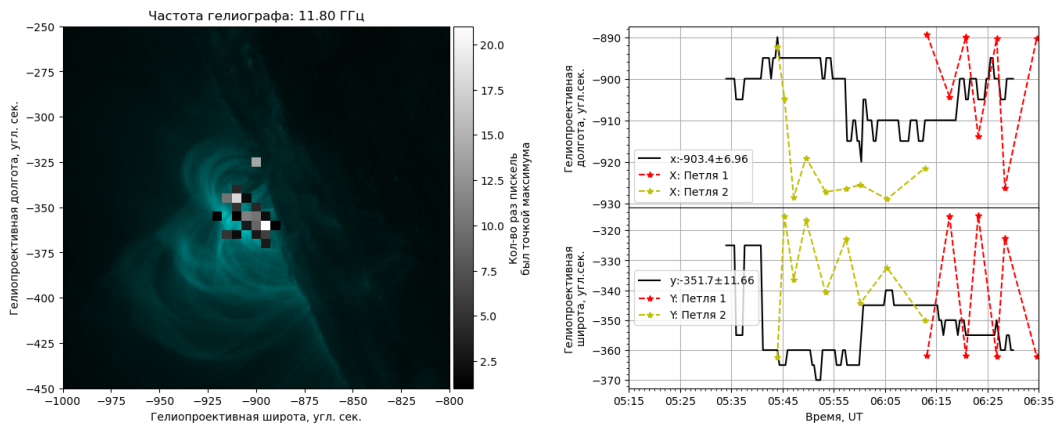


Рис. 3. Левая панель: участок солнечной короны по данным канала 131 Å SDO/AIA и положения максимума радиосточника на частоте 11.8 ГГц по данным СРГ (оттенки серого). Правая панель: координаты положения максимума радиосточника на частоте 11.8 ГГц (чёрная линия) и уярчения в ультрафиолетовом диапазоне по данным канала 131 Å SDO/AIA (красная и жёлтая линия показывают соответственно параметры уярчений в петлях 1 и 2), в зависимости от времени

Вспышка наблюдалась в микроволновом диапазоне Сибирским Радиогелиографом. Данные в ультрафиолетовом диапазоне показали, что сначала доминировала южная петля, потом загоралась более

северная петля, спустя время она затухала. Движения микроволнового источника отражают эту динамику: наблюдалось смещение максимума излучения от одной петли к другой и обратно (рис. 3).

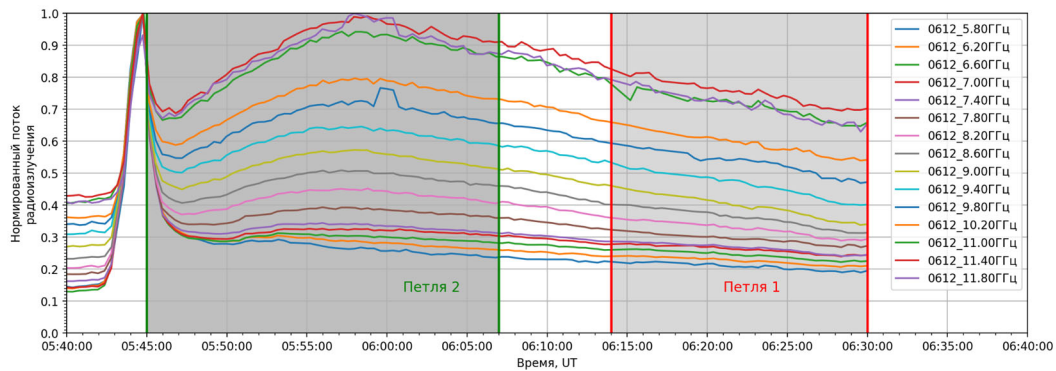


Рис. 4. Нормированный поток радиоизлучения на частотах Сибирского Радиогелиографа. Серая область с красными границами — временной промежуток колебаний в первой петле, область с зелеными границами — колебания во второй петле

По результатам анализа временных профилей потока радиоизлучения (рис. 4), колебательные процессы (соответствующие или аналогичные колебаниям в УФ диапазоне), не были обнаружены. Это можно объяснить, во-первых, амплитудой МГД-волны, которая, по-видимому, была недостаточно высокой, чтобы вызвать заметный для СРГ отклик в микроволновом диапазоне. С другой стороны, угловой размер МГД-неоднородности мог быть меньше диаграммы направленности радиогелиографа. Оценка размера неоднородности по данным SDO/AIA дает величину ~ 17 и 12 угловых секунд для 1-й и 2-й петли, соответственно, что меньше характерных размеров главного максимума диаграммы направленности СРГ (24–12 угловых секунд на решетке 6–12 ГГц) или сравнимо с ними; в результате наблюдаемая на СРГ амплитуда возмущения существенно уменьшается и, вероятно, не фиксируется. Тем не менее, данные наблюдений в микроволновом диапазоне показали, что в ходе вспышки происходит изменение геометрии источника радиоизлучения — смещение его максимума.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, впервые были проведены наблюдения плещущихся колебаний по данным СРГ и SDO/AIA. Были найдены два эпизода медленных волн, проведена оценка параметров зафиксированных колебаний. Параметры колебаний согласуются с параметрами, приведенными в других

работах. Динамика источника микроволнового излучения отражает процесс энерговыделения, показывая, что в разное время доминируют разные петли. Корреляция между движениями источников микроволнового и ультрафиолетового излучения не была обнаружена. Колебания потока радиоизлучения, которые могли бы быть связаны с медленными волнами, не обнаружены; это можно объяснить амплитудой МГД-волны, недостаточно высокой, чтобы вызвать заметную для СРГ модуляцию потока и/или малым размером МГД-неоднородности в сравнении с размерами диаграммы направленности радиогелиографа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Kumar P., Nakariakov V.M., Cho K.-S. X-Ray and EUV observations of simultaneous short and long period oscillations in hot coronal arcade loops // *Astrophysical J.* 2015, V. 804. Iss. 1.
- Kumar P., Innes D.E., Inhester B. Solar Dynamics Observatory/Atmospheric Imaging Assembly Observations of a Reflecting Longitudinal Wave in a Coronal Loop // *Astrophysical J. Lett.* 2013. V. 779, Iss. 1.
- Wang T., Ofman L., Sun X., Provornikova E., Davila J.M. Evidence of Thermal Conduction Suppression in a Solar Flaring Loop by Coronal Seismology of Slow-mode Waves // *Astrophysical J. Lett.* 2015. V. 811, Iss. 1.
- Mandal S., Yuan D., Fang X. et al. Reflection of Propagating Slow Magneto-acoustic Waves in Hot Coronal Loops: Multi-instrument Observations and Numerical Modeling // *Astrophysical J.* 2016. V. 828, Iss. 2.