

СПЕКТРЫ МОЩНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗАТУХАЮЩИХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Куценко О.К., Абраменко В.И., Куценко А.С.

Крымская Астрофизическая Обсерватория РАН, п. Научный, Россия

MAGNETIC POWER SPECTRA OF DECAYING ACTIVE REGIONS

Kutsenko O.K., Abramenko V.I., Kutsenko A.S.

CrAO RAS, Nauchny, Russia

Series of magnetograms of four decaying active regions (AR) NOAA 11281, 12614, 11354 and 11137 were analyzed using the power spectrum technique. The technique allows us to estimate the magnetic energy changes at different spatial scales. The aim of this work was to evaluate the contribution of direct turbulent cascade into the AR decay. Direct cascade is one of mechanisms of AR decay when large-scale structures disintegrate into smaller elements. We found that a bulk of magnetic energy losses occurs within a range of large scales (over 6 Mm). The direct cascade, as energy decrease at large scales with simultaneous energy enhancement at smaller scales, was observed for the 24-43 % of the decay time. During this time, the energy income at small scales consists only about a half of energy losses at large scales, so the rest of the later was removed from the photosphere by some other mechanism. We suggest that the direct turbulent cascade is not the dominant mechanism of an AR decay.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-189-192

Один из важных и пока еще полностью не изученных вопросов солнечной физики – затухание активных областей (АО). Это сложный процесс, который длится в несколько раз дольше, чем фаза всплытия и зависит от многих факторов, таких как размер АО, сложность ее структуры и вспышечная продуктивность, период активности Солнца [1]. Есть несколько способов выведения магнитного потока из фотосферы. Дисперсией магнитного потока - процесс, в котором магнитные поля дробятся на все меньшие и меньшие элементы, которые в итоге выводятся из АО разными способами. Они могут уничтожаться омической диссипацией [2]. В случае магнитных элементов малых размеров также может иметь место взаимопогашение потоков, которое происходит при сближении противоположных магнитных полярностей. Результатом такого замыкания может быть образование единичной небольшой Ω -петли, которая погружается под фотосферу [2]. Этот процесс встречается обычно вдоль границ АО и на линии раздела полярностей, но может происходить и в зонах смешанной полярности, которые образуются вследствие дисперсии магнитного поля [1]. Магнитный поток уносится из пятна и малыми магнитными элементами, которые отделяются от основного пятна и диффундируют за пределы АО [3]. Во всех перечисленных случаях можно предположить процесс деления больших структур на более мелкие. Такой процесс описывается прямым

турбулентным каскадом [4]. Цель данной работы – выяснить какую роль в количественном отношении играет прямой каскад в затухании активных областей. Для достижения цели применялся метод спектров мощности [5], который позволяет оценить изменения энергии магнитного поля на разных пространственных масштабах.

В работе использовались данные, полученные на станции Solar Dynamics Observatory (SDO) инструментом Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) в виде Space-weather HMI Active Region Patches (SHARP) магнитограмм активных областей. Использовалась составляющая магнитного поля по радиусу Солнца. Для устранения эффекта проекции использовались магнитограммы в формате Cylindrical Equal-Area (CEA).

Для оценки изменения энергии на разных пространственных масштабах вначале вычисляли спектры мощности магнитного поля, согласно [5], а затем – частную производную спектра мощности по времени, так называемую, нелинейную функцию переноса энергии [6]. Эта функция описывает изменения энергии на разных масштабах с течением времени и позволяет выявить прямой турбулентный каскад.

Таблица 1.

NOAA	Дата	Номер цикла и широта расположения
11281	2011.08.30-2011.09.07	24 S20
11354	2011.11.18-2011.11.26	24 S17
12614	2016.11.28-2016.12.05	24 N05
11137	2010.12.25-2010.12.30	24 N18

В работе исследовались 4 затухающие биполярные АО, их некоторые характеристики перечислены в таблице 1. Их затухание наблюдалось от фазы всплытия до полного затухания и за это время не всплывали новые потоки. На рис. 1 и рис. 2 изображены изменения энергии АО на протяжении времени наблюдений. Здесь по оси x – время наблюдения в днях от начала наблюдения, по оси y – волновые числа. Причем показаны только волновые числа до 4 Мм^{-1} , что соответствует масштабам более 1.6 Мм , так как на меньших масштабах изменения были несущественны. Белые области соответствуют приросту энергии, чёрные – ее убыли. Для наглядности на графике изображен полный магнитный поток (черная линия).

Таблица 2.

NOAA	11281	11354	12614	11137
Доля от общего времени затухания, %	24	35	37	43
Отношение прибыли энергии на малых масштабах и убыли энергии на больших масштабах, %	50	77	58	52

На этих рисунках можно увидеть, что как всплытие, так и распад АО является неоднородным процессом: уменьшение энергии может сменяться ее приростом. Здесь можно увидеть, что основные изменения энергии сконцентрированы на малых волновых числах до 1 Мм^{-1} (на больших масштабах от 6 Мм). На данном рисунке в отдельные моменты времени видны свидетельства присутствия прямого каскада при затухании АО, например, область, обозначенная стрелкой. Прямой каскад на рисунке проявляется как светлая область (прирост энергии), расположенная над черной (убыль энергии).

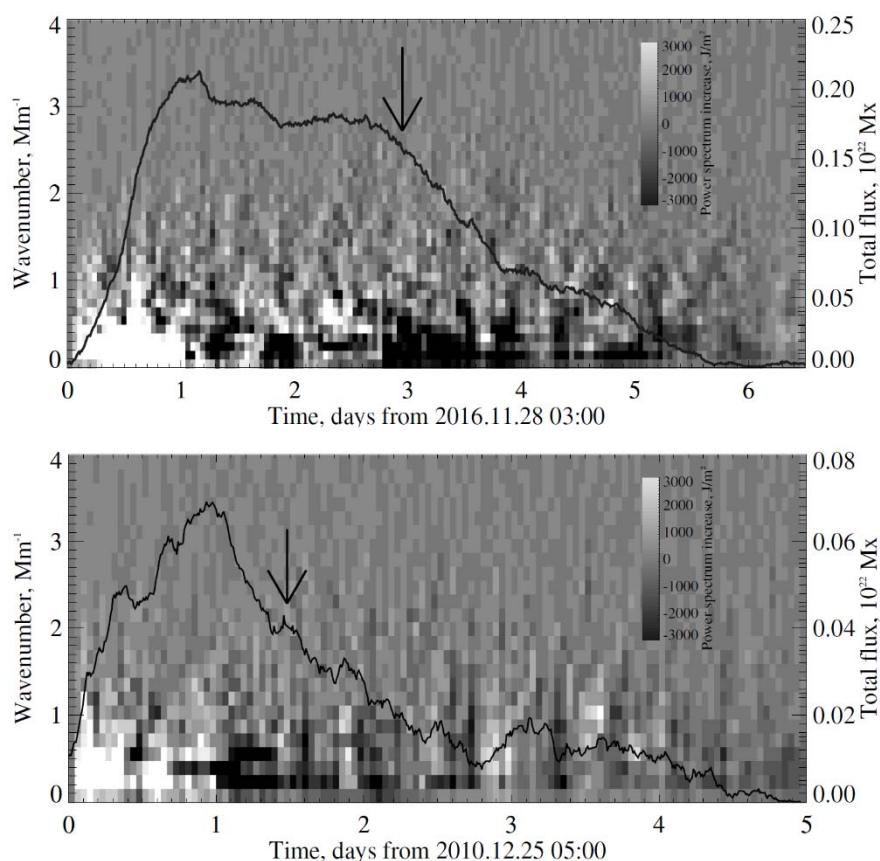


Рис. 1. Изменение магнитной энергии на разных пространственных масштабах во время затухания для АО 12614 (сверху) и 11137 (снизу).

В табл. 2 показана доля времени, когда наблюдался прямой каскад, от общего времени наблюдения и отношение прибыли на меньших масштабах к убыли энергии на больших в наблюдаемых случаях прямого каскада. Как можно увидеть, во всех четырех исследуемых АО свидетельства прямого каскада наблюдались менее чем в половине общего времени затухания. Причем, наблюдался дисбаланс между уменьшением энергии на больших масштабах и приростом на малых. Чуть больше половины энергии больших масштабов переходило в энергию малых. По-видимому, пря-

мой каскад хотя и присутствует в процессе затухания АО, но не является основным механизмом диссипации магнитного поля АО.

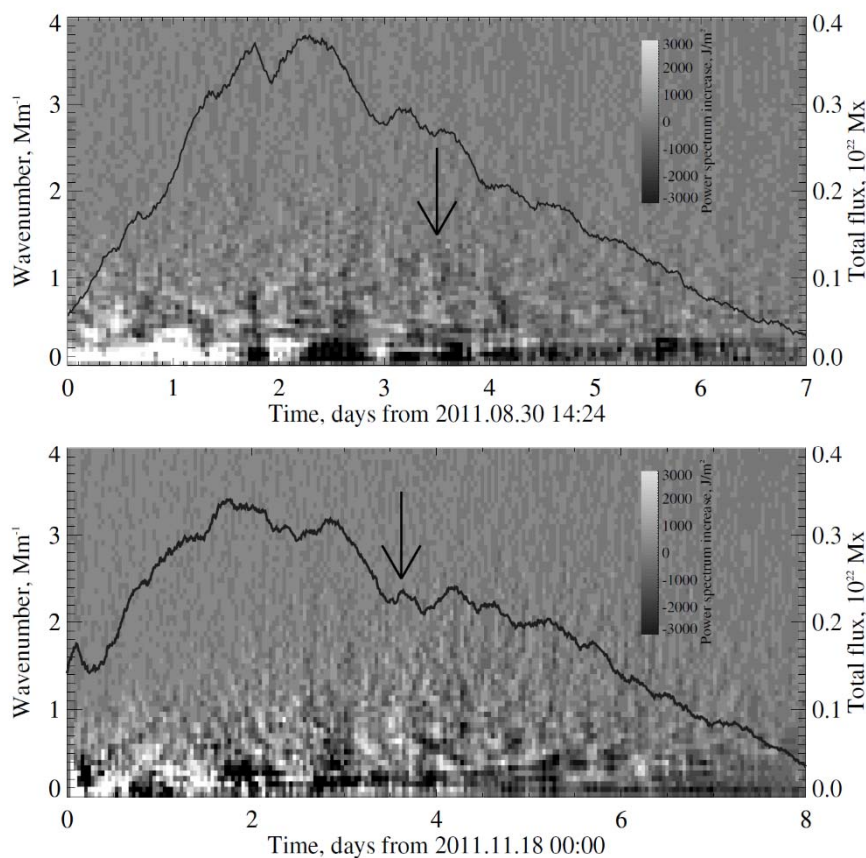


Рис. 2. Изменение магнитной энергии на разных пространственных масштабах во время затухания для АО 11281 (сверху) и 11354 (снизу).

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 17-02-00049.

Литература

1. Cheung M.C.M., van Driel-Gesztelyi L., Martinez Pillet, V., Thompson, M.J. // Space Sci. Rev., 2019, 210, 317.
2. Schrijver C.J., Zwaan, C.: 2000, Solar and stellar magnetic activity. Cambridge Astrophysics Series 34.
3. Driel-Gesztelyi L., Green L.M. // Living Rev. Solar Phys., 2015, 12, 1.
4. Frish U.: 1995, Turbulence. The legacy of A.N. Kolmogorov. Cambridge University Press.
5. Abramenko V.I. // Astrophys. J., 2005, 629, 1141-1149.
6. Kutsenko O.K., Kutsenko A.S., Abramenko V.I. // Sol. Phys., 2019, 294, 102.