

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ МЕДЛЕННО ЗАТУХАЮЩИХ УНИПОЛЯРНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Плотников А.А., Куценко А.С., Абраменко В.И.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, п. Научный, Россия

ESTIMATION OF THE MAXIMAL AREA OF SLOW-DECAYING UNIPOLAR ACTIVE REGIONS

Plotnikov A.A., Kutsenko A.S., Abramenko V.I.

Crimean astrophysical observatory RAS, Nauchny, Russia

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-265-268>

We estimated the maximal area and the decay duration for several slow-decaying unipolar active regions in the framework of the turbulent erosion model. The estimations result in inadequate values: the estimated lifetime exceeds several years in some cases. We conclude the turbulent erosion to be not the only mechanism responsible for the decay. There must be additional conditions suppressing the decay process.

В предыдущей работе [1] нами была выделена подгруппа солнечных активных областей (АО), имеющих аномально низкую (на порядок ниже) скорость затухания магнитного потока относительно общей степенной зависимости.

Одной из используемых в настоящее время теорий о механизме затухания активных областей является т.н. «турбулентная эрозия» [2]. Основная ее идея заключается в том, что турбулентная вязкость становится значительно выше в сильных магнитных полях, и внутри магнитных трубок турбулентные движения практически подавлены. Это приводит к тому, что основную роль в разрушении магнитной трубки играет эрозия плазмой внешней границы.

Следствием этого является параболический закон затухания (потери площади). Скорость затухания при этом должна снижаться по мере уменьшения площади трубки. В таком случае можно предположить, что АО с аномально низкой скоростью затухания являются остатками каких-либо крупных АО после одного или нескольких солнечных оборотов.

Уравнения турбулентной эрозии ([2]) гласят, что скорость движения границы магнитной трубки (т.е. скорость уменьшения радиуса) не меняется во время затухания. Эта скорость задается начальными условиями, такими, как начальный радиус трубки и напряженность магнитного поля в ее центре:

$$w \sim \frac{B_e}{B_0} \frac{v_0}{r_0}.$$

Здесь B_e и v_0 – магнитное поле «среза» и коэффициент турбулентная диффузии (параметры модели), B_0 – интенсивность магнитного поля в центре трубки и r_0 – радиус магнитной трубки в начале процесса затухания.

Используя это уравнение, мы можем оценить начальные размеры АО. Оценка будет сильно зависеть от выбранных параметров модели, однако этого можно избежать, сравнивая скорость w для двух разных АО. Если выбрать одну АО в качестве «референсной», то получаем:

$$r_0 \sim r_{0ref} \frac{B_{0ref}}{B_0} \frac{w_{ref}}{w}. \quad (1)$$

Время до полного исчезновения трубки можно оценить как:

$$T = \frac{r_0}{w}. \quad (2)$$

Для данной работы мы выбрали 6 АО с достаточно близкими значениями площади и магнитного потока. Скорость затухания же для них различается весьма сильно (см. таблицу 1). Мы попытались проверить предположение о том, что медленно затухающие области являются остатками крупных АО, затухающих достаточно долгое время.

Были использованы данные SDO/HMI в формате SHARP-CEA с временным интервалом в 1 час.

В каждой магнитограмме выделялись пиксели с напряженностью радиальной компоненты магнитного поля выше порогового значения в 600 Гс. Далее выделялась односвязная группа пикселей с наибольшей площадью (количеством пикселей). Данная группа пикселей и изучалась в качестве «магнитной трубки». Подобный подход позволяет проводить анализ только стабильно затухающих активных областей с ярко выраженным дисбалансом магнитного потока, поэтому были выбраны униполярные АО, затухающие без расщепления элементов на части и без «ярких мостов».

Так как величина w является скоростью уменьшения радиуса магнитного элемента, то она может быть вычислена сопоставлением периметра P и скорости убывания площади A :

$$\dot{A} = -w P$$

Для того чтобы избежать дифференцирования зашумленной величины, уравнение может быть преобразовано:

$$\Delta A = -w \int_0^t P dt$$

Таким образом, величина w может быть оценена из наблюдений.

Таблица 1 содержит параметры, полученные из наблюдений для 6 униполярных активных областей. Заметно, что скорости затухания, DR , различаются почти на порядок, в то время как максимальные площадь и периметр не варьируются так сильно.

Таблица 1.

NOAA №	A_0 , мдп	DR, 10^{-2} мдп/ч	w, км/ч	P_0 , 10^4 км
12246	66.78	2.5	1.43	6.26
12533	86.18	3.65	1.76	6.69
11591	96.05	6.97	2.69	8.15
11809	41.12	9.70	6.98	5.22
11649	66.45	10.0	5.79	6.23
12348	77.63	12.63	5.12	6.55

Таблица 2.

	Ref. AR 12348		Ref. AR 11649		Ref. AR 11809	
NOAA №	A_0 , мдп	T, дн	A_0 , мдп	T, дн	A_0 , мдп	T, дн
12246	853	837	895	858	803	813
12533	463	501	486	513	437	487
11591	162	194	170	199	153	189
11809	44	38.79	46	39.74		
11649	63	56.33			60	54.68
12348			81	72.25	73	68.47

Таблица 2 содержит параметры (максимальная площадь и продолжительность затухания), вычисленные по формулам 1 и 2. Особо выделяются оцененные величины для медленно затухающих активных областей. Так, АО 12246 должна была существовать более 2 лет для того, чтобы продемонстрировать такую низкую скорость затухания. Подобные неадекватно высокие величины говорят о том, что простого приложения модели турбу-

лентной эрозии недостаточно для объяснения существования медленно затухающих АО. Требуется некий дополнительный механизм, затрудняющий потерю магнитного потока подобными АО.

Литература

1. Plotnikov A., Abramenko V., Kutsenko A. // MNRAS, 2023, V. 521, I. 2, p. 2187
2. Petrovay, K., Moreno-Insertis, F. // ApJ, 1997, V. 485, I.1, p. 398