

**ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ
АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ
РАЗНЫХ МАГНИТО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ КЛАССОВ**

Жукова А.В., Абраменко В.И.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия

**ANALYSIS OF SPECIFIC MAGNETIC FLUXES
FOR ACTIVE REGIONS
OF DIFFERENT MAGNETO-MORPHOLOGICAL CLASSES**

Zhukova A.V., Abramenko V.I.

Crimean Astrophysical Observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia

The data from the catalog of magneto-morphological classes (MMC) of active regions (ARs) of the Crimean Astrophysical Observatory (<https://sun.crao.ru/databases/catalog-mmcs>) were used to study the total specific (per one carrier) magnetic flux of ARs. The 3047 ARs that appeared on the disk from May 1996 to December 2020 were distributed between subsets of the regular bipolar ARs (classes A1 and A2), the irregular bipolar ARs (class B 1), irregular multipolar ARs (classes B2 and B3), unipolar sunspots (class U). It is shown that the specific flux of the regular ARs varies slightly with the cycle and drops to the lowest values only in the cycle minimum. The flux of the irregular ARs demonstrate a progressive increase and reaches its highest values in the second maximum of the cycle and at the beginning of the descending phase. The total specific flux of the most complex ARs (classes B2 and B3) is 2–4 times higher than the flux of simple bipolar ARs (class A1) in the maximum of the cycle, which may be due to the manifestation of turbulence in the convection zone. For the irregular ARs, the multi-peak structure of the time profile may be related to the quasi-biennial periodicity of the solar activity.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-111-114>

Классические модели магнитного цикла основываются на эмпирических законах, установленных для групп солнечных пятен [1, 2] и предполагают появление на диске Солнца активных областей (АО) с определенными параметрами. Однако некоторые АО нарушают известные закономерности и не могут быть объяснены в рамках существующих моделей. Исследование АО с нарушениями может представлять интерес для выяснения особенностей работы солнечного динамо. Согласно недавним исследованиям, АО сложной магнитной конфигурации определяют экстремальную вспышечную активность и протонные события [3–5], демонстрируют сильный магнитный поток, достигающий наибольших значений во втором максимуме цикла [6, 7] и характеризующийся значительной северо-южной (N-S) асимметрией [8, 9].

В данной работе мы исследовали суммарный удельный (приходящийся на один носитель) магнитный поток АО. Следует отметить, что данные

о магнитном потоке относятся к «генеративным индексам» солнечной активности и более полно отражают работу солнечного динамо [6, 10]. Нами были использованы данные о магнитном потоке 3047 АО, появившихся на диске с мая 1996 по декабрь 2021 гг., содержащиеся в каталоге магнитоморфологических классов (ММК) АО КрАО (<https://sun.crao.ru/databases/catalog-mmcs-ars>). Все АО были распределены между следующими классами: А – регулярные биполярные АО (выполняющие закон полярностей Хейла, закон Джоя, правило о доминировании лидирующего пятна [1, 2]); В – нерегулярные АО (с нарушениями эмпирических закономерностей); U – одиночные пятна. Каждый из ММК классов содержит подмножества, детальное описание которых приведено в работах [3, 7]). Для АО каждого ММК класса на основе вычисленного нами суммарного магнитного потока за оборот был определен удельный магнитный поток.

На рис. 1 представлены циклические вариации удельного магнитного потока АО двух основных ММК классов – регулярных и нерегулярных АО. Поток регулярных АО (толстая темно-серая линия) состоит из потока наиболее простых биполярных групп (A1) и биполей, включающих сравнительно небольшие дополнительные образования, например, дельта-структуры, (A2). Нерегулярные АО класса В (светло-серая линия) включают биполи с одним или несколькими нарушениями (B1), а также крупные дельта-структуры и разновидности сложных многополярных групп (B2, B3). Ход цикла иллюстрирует тонкая черная линия для площадей групп солнечных пятен, полученная по данным USAF/NOAA Solar Region Summary (<http://solarcyclescience.com/activerregions.html>). Все данные сглажены методом скользящего среднего за 13 оборотов.

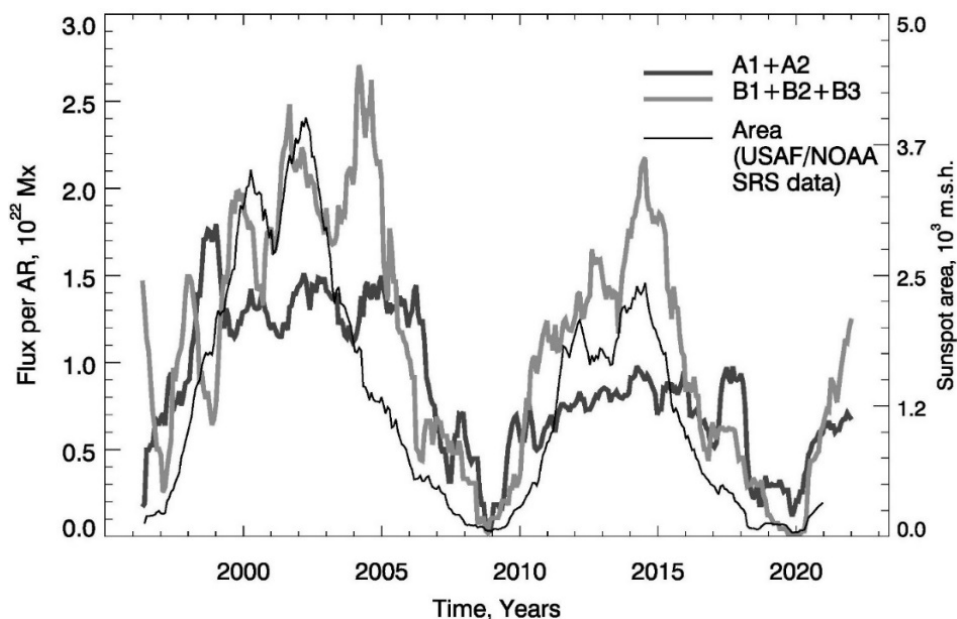


Рис. 1.

Удельный поток регулярных АО (рис. 1, толстая темно-серая линия) образует подобие плато, захватывающее не только оба максимума каждого цикла, но также значительную часть фазы подъема и фазы спада. В минимуме цикла и его ближайших окрестностях наблюдается почти полное прекращение активности, что показывает связь регулярных АО с действием глобального динамо. Приблизительно одинаковый уровень активности на протяжении остального времени может свидетельствовать о равномерности работы динамо в ходе цикла. Профиль удельного потока нерегулярных АО (толстая светло-серая линия) существенно отличается от профиля регулярных групп (общим является только падение активности в минимуме цикла). Поток нерегулярных АО с циклом существенно растет и достигает наибольших значений во втором максимуме и в начале фазы спада цикла. Это говорит о появлении самых мощных АО с нарушениями магнитной структуры и согласуется с результатом работ [3–5], показавших связь нерегулярных АО наиболее сложной магнитной конфигурации со вспышками наивысших рентгеновских классов М и X, а также с сильными протонными событиями, случающимися в указанном временном интервале. Полученные тренды согласуются также с результатами работ [6, 7], где было показано, что при разнице в количестве (регулярные АО составляют около половины, а нерегулярные – около трети исследованных групп), в максимуме цикла совокупный магнитный поток АО этих ММК классов сопоставим; при этом второй максимум цикла формируется преимущественно за счет магнитного потока именно нерегулярных групп [6, 7]. Интересны также признаки многопиковой структуры цикла, которые прослеживаются в профиле удельного потока нерегулярных АО и показывают периодичность приблизительно около двух лет.

Описанная выше разница в профилях регулярных и нерегулярных АО позволяет предположить разное происхождение этих структур. Для более детального исследования мы выделили два крайних случая: самые простые биполярные группы класса А1 (отвечающие классическим моделями магнитного цикла и, по-видимому, целиком обусловленные действием глобального динамо) и совокупность самых сложных многополярных АО классов В2 и В3 (представляющих собой предельный случай, отражающий работу турбулентной составляющей динамо, которая искажает произведенное глобальным динамо поле). Ранее было показано [6, 7], что магнитный поток самых простых биполей А1 и поток совокупности АО наиболее сложных классов В2, В3 формируют два максимума цикла в разной мере. Циклические вариации удельного потока групп этих ММК классов (рис. 2) показывают, что наиболее высокие пики нерегулярных АО (толстая светло-серая линия) приходятся именно на второй максимум и на начало фазы спада. В целом же удельный поток нерегулярных АО превышает поток регулярных групп в 2–4 раза в максимуме цикла. Заметим также, что в мак-

симуме цикла ранее была обнаружена сильная N-S асимметрия нерегулярных АО [8, 9].

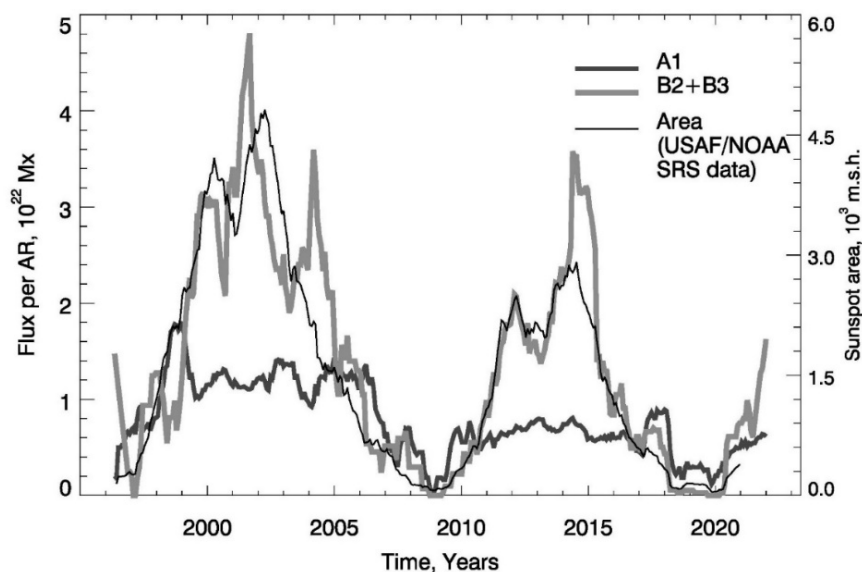


Рис. 2.

Как результат, изучение удельного потока АО показало следующее.

1. Удельный поток нерегулярных АО в ходе цикла растет и достигает наиболее высоких значений во втором максимуме и в начале фазе спада (профиль потока регулярных АО показывает подобие плато).

2. Совокупный удельный поток самых сложных групп В2 и В3 выше потока простых биполярных АО в 2–4 раза в максимуме цикла, что может быть связано с проявлением турбулентности конвективной зоны.

3. Многопиковая структура профиля нерегулярных АО может быть связана с квазидвухлетней периодичностью солнечной активности.

Литература

1. Hale, G.E., Ellerman, F., Nicholson, S.B., Joy, A.H. // *Astrophys. J.*, 1919, **49**, 153.
2. Van Driel-Gesztelyi L., Green L.M. // *Liv. Rev. Solar Phys.*, 2015, **12**, 1.
3. Abramenko V.I. // *MNRAS*, 2021, **507**, 3698.
4. Kashapova L.K., Zhukova A.V., Miteva R., et al. // *Geomag. Aeron.*, 2021, **61**, 1022.
5. Suleymanova, Miroschnichenko, Abramenko. // *Solar Phys.*, 2024, **299**, id.7.
6. Abramenko V.I., Zhukova A.V., Kutsenko A.S. // *Geomag. Aeron.*, 2018, **58**, 1159.
7. Abramenko V.I., Suleymanova R.A., Zhukova A.V. // *MNRAS*, 2023, **518**, 4746.
8. Zhukova A.V., Abramenko V.I., Suleymanova R.A. // *Geomag. Aeron.*, 2024, **64**, 10.
9. Zhukova. // *MNRAS*, 2024, **532**, 2032.
10. Nagovitsyn Y.A., Osipova A.A., Nagovitsyna E.Y. // *Sol. Phys.*, 2021, **296**, 32.
11. Zhukova A.V., Sokoloff, D.D., Abramenko, V.I., Khlystova, A.I. *Adv. Space Res.*, 2023, **71**, 1984.