

ЦИКЛИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ ПЛОЩАДЕЙ АНТИ-ХЕЙЛОВСКИХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ В 23-М И 24-М СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛАХ

Литвишко Д.В., Куценко А.С., Абраменко В.И.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия

CYCLIC VARIATIONS OF AREAS OF ANTI-HALE ACTIVE REGIONS IN SOLAR CYCLES 23 AND 24

Litvishko D.V., Kutsenko A.S., Abramenko V.I.

Crimean Astrophysical Observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-207-210>

In the present work, we compared the areas of anti-Hale active regions (ARs) with the areas of rest ARs. For this analysis, we used monthly averages USAF/NOAA data of the sunspot areas in units of millionths of a hemisphere as well as a catalog of bipolar active regions violating the Hale polarity law for 1989–2018. In all, 143 anti-Hale ARs observed between February 1996 and August 2018 (Solar Cycles 23 and 24) were selected. The comparison showed that the areas of anti-Hale and other ARs change synchronously with strong positive correlation. This fact allows us to presume the anti-Hale and rest ARs to be generated as a result of a unified dynamo process with an 11-year cyclicity.

Введение

Длительные наблюдения выявили ряд закономерностей для активных областей (АО), такие как закон полярности Хейла, закон Джоя и другие. Согласно закону Хейла, у большинства биполярных АО во время четного солнечного цикла ведущее солнечное пятно имеет отрицательную полярность в северном полушарии, а в южном полушарии ситуация обратная. В следующем цикле полярность пятен изменяется на противоположную.

Однако существуют области, ориентация полярности которых не соответствует закону полярности Хейла. Такие области называют анти-Хейловскими. Количество этих АО, согласно различным оценкам, составляет около 4% [1]. Но, несмотря на их относительно небольшое число, изучение анти-Хейловских АО необходимо для понимания механизма солнечного динамо.

Ориентация большинства АО объясняется в рамках моделей глобального динамо. Неразрешенным остается вопрос анти-Хейловских АО: существуют разные точки зрения относительно того, порождаются ли они отдельным динамо-механизмом или же флуктуациями в глобальном динамо.

Так, например, Стенфло и Косовичев [2], изучая биполярные магнитные области на Солнце, провели глобальный анализ набора данных SOHO/MDI, и подставили под сомнение однородность когерентной системы тороидального потока, созданного в процессе динамо. Также они заме-

тили, что в любой момент времени в одних и тех же широтных зонах могут появляться АО как подчиняющиеся закону Хейла, так и анти-Хейловские АО, что показано на рис. 8 в работе [2]. На основании этого авторы полагают, что должны одновременно существовать противоположно ориентированные тороидальные магнитные потоки.

Группа следующих авторов [3] провела статистический анализ тилт-углов анти-Хейловских и остальных АО, охватывающих четыре солнечных цикла. Исследуя зависимость тилт-угла от широты для анти-Хейловских и остальных АО, авторы установили, что относительная распространённость анти-Хейловских и остальных АО в зависимости от широты очень схожа, средний тилт-угол увеличивается с увеличением широты и ведущая полярность имеет тенденцию быть ближе к экватору как у анти-Хейловских, так и остальных АО. Согласно этим критериям нет основания относить анти-Хейловские АО к отдельной популяции.

С другой стороны, полученная авторами гистограмма распределения углов магнитных диполей, представленная на рис. 8 в работе [3], имеет небольшой локальный максимум около значений, соответствующих анти-Хейловским АО. То есть реально наблюдаемое количество анти-Хейловских АО существенно больше, чем ожидается из распределений тилт-углов АО согласно закону Джоя, поэтому они предположили, что анти-Хейловские АО — это отклонение от нормальных АО.

Нашей задачей было исследовать как меняется суммарная площадь анти-Хейловских АО в течение 23-го и 24-го солнечных циклов и сопоставить эти изменения с вариациями суммарной площади остальных АО.

Данные и методы

Для данного анализа мы использовали среднемесячные данные USAF/NOAA (<http://solarcyclescience.com/activeregions.html>) о площади пятен в миллионных долях полусферы (м.д.п.), а в качестве списка биполярных групп обратной полярности (анти-Хейловских АО) был использован крымский каталог биполярных активных областей, нарушающих закон полярности Хейла за 1989–2018 годы [1].

Из каталога было выбрано 143 анти-Хейловских АО 23-го и 24-го циклов. В нашей статистике основным параметром является площадь АО, также в анализе мы не учитывали анти-Хейловские АО, срок жизни которых менее 3 суток и площадь менее 6 м.д.п.

Результаты

На рисунке 1 представлен график временных вариаций суммарной площади анти-Хейловских АО за период с 1996 по 2018 год.

Сопоставив его с распределением суммарной площади остальных АО за эти же годы, что показано на рисунке 2, можно заметить, что они подобны, минимум достигается двумя этими классами АО одновременно.

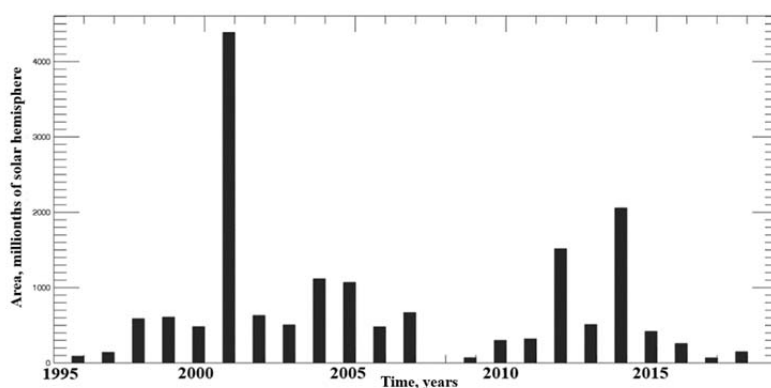


Рис. 1.

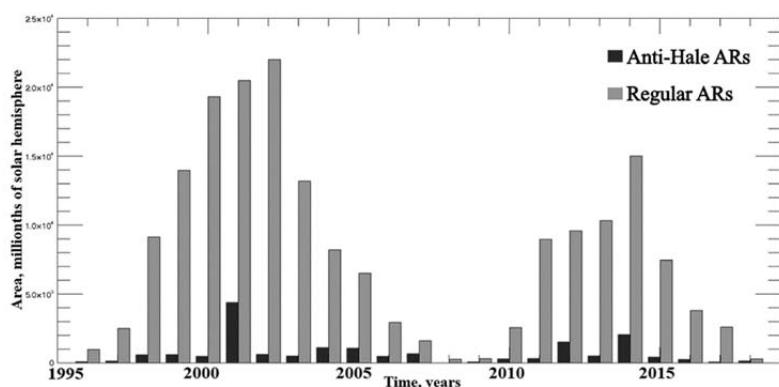


Рис. 2.

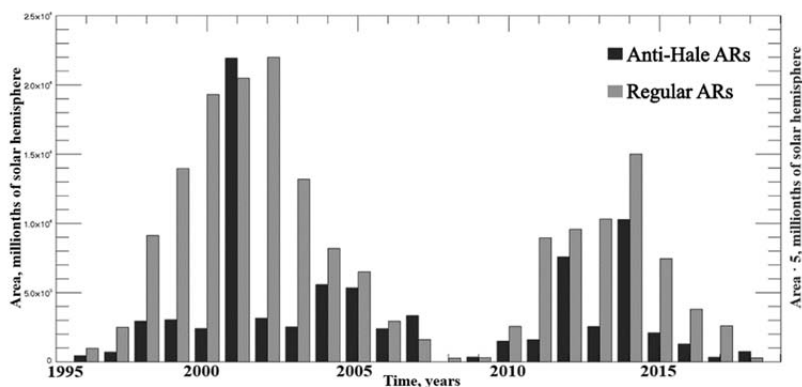


Рис. 3.

Для лучшей наглядности на рисунке 3 была изменена шкала для площади анти-Хейловских АО (масштаб увеличен в 5 раз).

Также взаимосвязь между ними показал корреляционный тест. Значение корреляции между этими распределениями составило $c = 0.581$.

Далее нами была рассчитана автокорреляция распределений площадей анти-Хейловских и остальных АО. На рисунке 4 слева показан график автокорреляции площадей всех АО за 23-й и 24-й циклы, а справа график автокорреляции площадей анти-Хейловских АО. Кривые на данных графиках схожи, обе показывают локальный максимум около 11–12 лет.

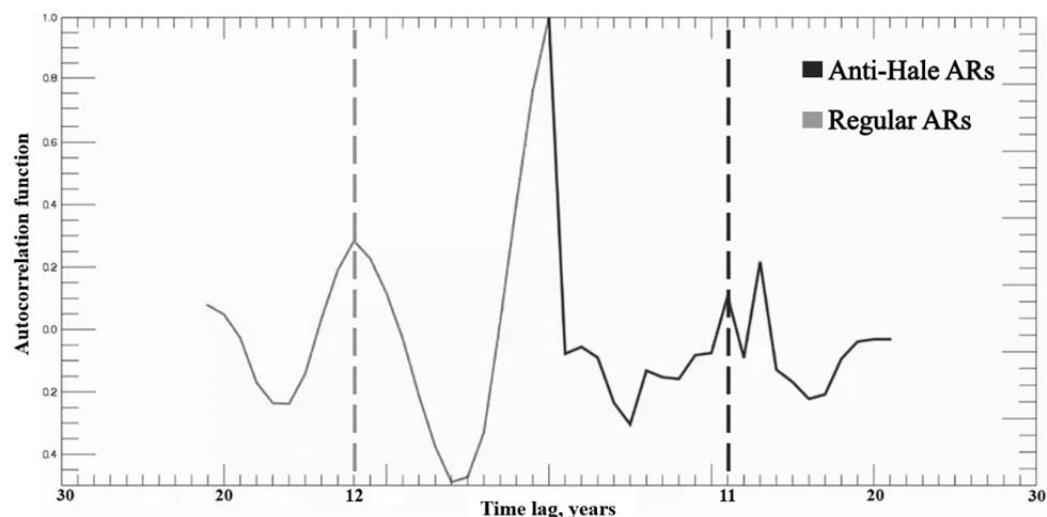


Рис. 4.

Выводы

В данной работе было проведено сопоставление площадей анти-Хейловских АО с площадями остальных АО за 23-й и 24-й циклы. Установлено, что площади анти-Хейловских и остальных областей меняются синхронно со значительной степенью корреляции. Есть основания полагать, что анти-Хейловские и остальные АО порождаются в результате работы единого динамо процесса с 11-летним периодом.

Литература

1. Zhukova A., et al. // Sol. Phys., 2020, 295, 165
2. Stenflo J.O., Kosovichev, A.G. // Astrophys. J., 2012, 745, 129.
3. Munoz-Jaramillo A., et al. // Astrophys. J., 2021, 920, 31.