ISSN online 3034–4107
ИЗВЕСТИЯ КРЫМСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 122, № 3, 20–26 (2026) EDN: VVATXS

УДК 523.9, 523.9-8, 523.98

Свойства всплытия активных областей типа униполярное пятно плюс мультиполярная структура

Р.А. Сулейманова✉, *В.И. Абраменко, А.С. Куценко*

ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, 298409, Крым

Поступила в редакцию 9 июля 2026 г.

Аннотация. В работе рассматриваются четыре активные области, у которых в окрестности стабильного униполярного пятна наблюдалось быстрое всплытие сложной мультиполярной структуры сравнимого магнитного потока. По данным космического аппарата SDO/HMI (серия hmi.sharp_cea_720s...magnetogram), для каждой активной области был определен временной интервал, в течение которого нарастание магнитного потока мультиполярной структуры происходило с ускорением. При сопоставлении исследуемых характеристик активных областей с более ранними работами и методиками оказалось, что они располагаются не в общей области распределения биполярных структур, а занимают участок, характеризующийся наибольшими магнитными потоками с высокой скоростью нарастания. Полученные профили мгновенной скорости нарастания магнитного потока показывают его неравномерное и ускоренное всплытие. Для каждой активной области были определены вспышечные индексы, которые оказались довольно высокими. Результаты позволяют предположить, что униполярные пятна, по всей видимости, способны создавать особые каналы, вдоль которых возникают условия для более легкого и быстрого всплытия магнитного потока.

Ключевые слова: Солнце, активные области, магнитные поля

1 Введение

Активные области (АО) на поверхности Солнца – наиболее яркое проявление солнечного магнетизма. Считается, что они возникают в результате формирования магнитных жгутов на некоторой глубине конвективной зоны из тороидального магнитного поля, обусловленного работой глобального динамо в рамках теории динамо среднего поля (Parker, 1955; Krause, Rädler, 1980). Выделяют биполярные, мультиполярные и униполярные АО. Наиболее распространенным типом являются биполярные АО (van Driel-Gesztelyi, Green, 2015; Abramenko et al., 2023). Турбулентность конвективной зоны может деформировать всплывающий магнитный поток, приводя к формированию мультиполярной АО. Сложность магнитной структуры будет нарастать с увеличением вклада турбулентности в деформацию всплывающего магнитного потока. Количество таких АО относительно невелико (12 %), при этом их вклад в общий магнитный поток сопоставим с вкладом биполярных АО (Abramenko et al., 2023).

В работе Abramenko (2021) показано, что за период 23–24-го солнечных циклов 79 % активных областей, с которыми связывали вспышки класса X, обладали сложной магнитной структурой. При этом рассмотренные АО составляли всего 24–30 % от общего числа АО за исследуемый период. Похожие выводы прослеживаются и в работе Chen et al. (2011). Авторы выделяют отдельную группу АО, обладающих рядом характеристик: большие по площади, высокий рентгеновский вспышечный индекс (больше 10; см. Tian et al., 2002) и т. д. Несмотря на их малое количество, такие области связаны с примерно 44 % всех вспышек рентгеновского класса X за 21–23-й солнечные циклы. В то же время 88 % АО, содержащих δ-структуру (такая структура, при которой пятна разной магнитной полярности находятся в одной полутени), были связаны со вспышками класса X (Guo et al., 2014). Таким образом, прослеживается малочисленный класс АО, характеризующийся сложной магнитной конфигурацией и сильной вспышечной активностью.

Так как предполагается, что у мультиполярных АО вклад турбулентности конвективной зоны более существенен, чем у биполярных структур (Abramenko, 2021; Abramenko et al., 2023), представляется интересным

✉*Адрес для корреспонденции:* bictr97@gmail.com

© Автор(ы), 2026.
Статья открытого доступа. Авторское право и право на публикацию текстов, представленных в журнале “Известия Крымской астрофизической обсерватории”, сохраняются за авторами, при этом право первой публикации предоставляется журналу. Тексты могут свободно использоваться при условии правильного цитирования в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

исследовать такую характеристику, как скорость нарастания магнитного потока АО. Для простоты мы будем обозначать ее как скорость всплытия магнитного потока.

Ранее в работе Тихонова и др. (2016) было проведено исследование режимов всплытия магнитного потока 14 АО в пределах 50° от центрального меридиана, у которых магнитный поток был не меньше 10^{22} Мкс. Авторы выделили два типа всплытия магнитного потока: с постоянной скоростью и с ускорением. Первый тип связывают с простейшим случаем всплытия магнитного жгута при малом воздействии турбулентности: равномерное поднятие жгута в фотосферу сопровождается линейным нарастанием потока; его производная по времени будет постоянной. Второй тип характерен для случая с сильным вмешательством турбулентности конвективной зоны: придание дополнительного ускорения всплывающему жгуту приводит к ускоренному нарастанию потока; его производная по времени будет иметь нелинейный характер.

В работе Kutsenko et al. (2019) были рассмотрены АО, в большинстве своем представленные биполярными и эфемерными АО, наблюдавшимися в 2010–2017 гг., у которых был виден момент всплытия в фотосфере, а само всплытие, как и достижение максимума потока, происходило в пределах 60° от центрального меридиана. Это ограничило зону выбора только в основном слабыми и средними АО. Авторы показали, что зависимость между средней скоростью всплытия магнитного потока и максимальным магнитным потоком может быть хорошо аппроксимирована степенным законом с показателем степени 0.48 ± 0.02. Далее в работе Kutsenko et al. (2024) выборку расширили, добавив более крупные АО, у которых наблюдались вспышки сильнее рентгеновского класса M5.0 по GOES. Авторами было показано, что всплытие магнитного потока в группах пятен, связанных со вспышками, как правило, происходило при бóльших значениях максимального потока и при более высокой скорости его всплытия, чем у биполярных структур без вспышек.

Особая конфигурация АО, состоящих из стабильного униполярного пятна и быстро всплывающей вокруг него мультиполярной структуры сравнимого магнитного потока, была рассмотрена в работе Абраменко, Сулейманова (2025). Авторы предположили, что униполярное пятно может служить своеобразным каналом, облегчающим всплытие магнитного потока на поверхность Солнца. Задачей данной работы было выяснить, реализуется ли режим ускоренного всплытия в таких магнитных структурах.

2 Данные и методы

Для рассмотрения были выбраны четыре АО типа униполярное пятно плюс всплывающая мультиполярная структура, подробно описанные в работе Абраменко, Сулейманова (2025). Стоит отметить, что скудность выборки обусловлена несколькими факторами. Во-первых, как было показано в работе Abramenko et al. (2023), количество АО со сложной магнитной структурой крайне мало (12 % от общего числа АО), поэтому поиск особой конфигурации среди такой немногочисленной группы весьма затруднен. Кроме того, АО были выбраны таким образом, чтобы всплытие основной мультиполярной структуры и достижение максимального магнитного потока происходило на видимой полусфере Солнца, что также ограничило полученные данные. Даты наблюдений, а также другие характеристики (скорости нарастания потока, значения максимального магнитного потока, вспышечные индексы) даны в таблице 1. На рис. 1 представлены магнитограммы выбранных АО на момент начала всплытия мультиполярной структуры и на момент времени, соответствующий максимальной мгновенной скорости всплытия магнитного потока.

Таблица 1. Значения полученных параметров АО. В таблице представлены: номер АО, дата наблюдения АО, средние ($(d\Phi/dt)_{\rm av}$) и максимальные мгновенные ($(d\Phi/dt)_{\rm inst}$) скорости всплытия магнитного потока, соответствующие им значения максимального магнитного потока (Φ_1 и Φ_2), временные интервалы до (τ_1) и после (τ_2) начала всплытия основной мультиполярной структуры и рассчитанные для них вспышечные индексы FI_{τ_1} и FI_{τ_2} соответственно

NOAA	Даты наблюдений	$(d\Phi/dt)_{\rm av}$, 10^{20} Мкс/ч	Φ_1, 10^{21} Мкс	$(d\Phi/dt)_{\rm inst}$, 10^{20} Мкс/ч	Φ_2, 10^{21} Мкс	τ_1, дни	FI_{τ_1}	τ_2, дни	FI_{τ_2}
12673	01–09.09.2017 г.	6.45	25.90	7.94	33.6	4.5	0	9.0	412.4
13654	25–30.04.2024 г.	3.28	15.19	4.08	27.1	6.5	9.9	7.0	56.2
13664	02–11.05.2024 г.	3.68	65.09	8.04	76.8	3.0	40.4	10.5	498.0
13713	13–23.06.2024 г.	2.70	24.67	5.19	33.2	6.0	11.6	7.5	15.2

Для расчета полного беззнакового магнитного потока были использованы магнитограммы инструмента Helioseismic and Magnetic Imager космического аппарата Solar and Dynamics Observatory (SDO/HMI; Pesnell et al., 2012; Schou et al., 2012), полученные в спектральной линии Fe I 6173.3 Å с разрешением 1″. Были

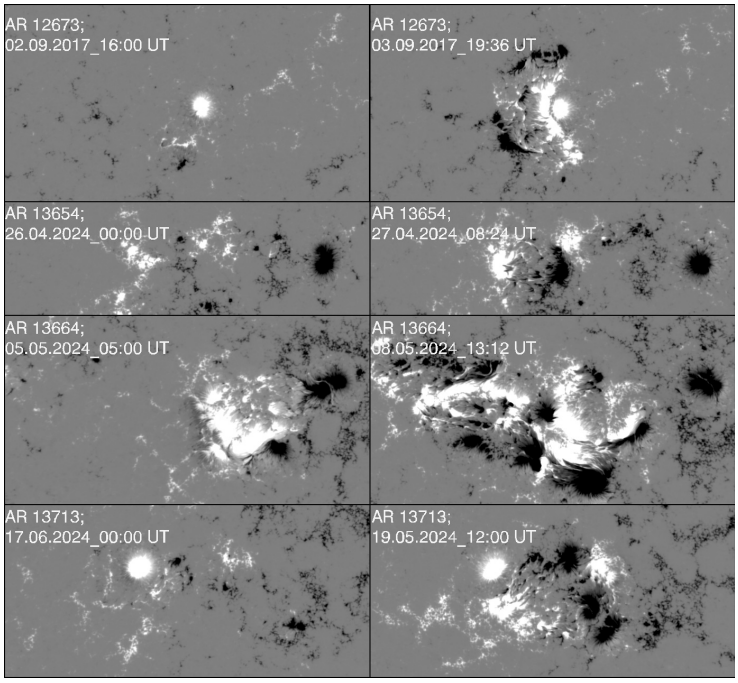


Рис. 1. Изображения рассмотренных активных областей NOAA 12673, 13654, 13664 и 13713. Слева представлены магнитограммы на момент начала всплытия мультиполярной структуры, справа – на момент времени с максимальной мгновенной скоростью всплытия. Черный и белый цвет соответствуют плотности магнитного потока −800 и 800 Мкс см$^{-2}$ соответственно. Длина каждой магнитограммы 344″ или около 250 Мм. Северный полюс находится сверху, запад – справа

использованы данные серии Space-weather HMI Active Region Patches hmi.sharp_cea_720s...magnetogram, в которых продольная компонента (line-of-sight) магнитного поля была скорректирована с учетом эффекта проекции (Bobra et al., 2014). Данные находятся в свободном доступе на сайте Joint Science Operations Center (JSOC).

Полный беззнаковый магнитный поток рассчитывался как сумма магнитных потоков всех пикселей, составляющих АО. Суммировались те пиксели, плотность магнитного потока которых превышала уровень 3σ (18 Мкс см$^{-2}$; Liu et al., 2012). Для анализа были взяты АО в пределах 60° от центрального меридиана.

Скорость всплытия магнитного потока была рассчитана двумя способами. Первый способ состоит в расчете средней скорости по методу, представленному в работах Kutsenko et al. (2019, 2024), который заключается в аппроксимации кривой зависимости магнитного потока от времени кусочно-линейной функцией, состоящей из двух участков. Пример полученной аппроксимации показан синей кривой на панели *(a)* рис. 2. Так как мультиполярная структура всплывает на фоне предсуществующего униполярного пятна, необходимо было вычесть величину его магнитного потока из значений магнитного потока всей АО. Далее с использованием функции IDL MPFITFUN, которая выполняет аппроксимацию методом наименьших квадратов Левенберга – Марквардта, были рассчитаны параметры кусочно-линейной функции, описывающей всплытие собственно мультиполярной структуры. За скорость было взято значение наклона первой части кусочно-линейной функции, за максимальный поток – максимальное значение магнитного потока в конце всплытия (учитывался только магнитный поток всплывающей части). Полученные значения средней скорости всплытия ($(d\Phi/dt)_{\rm av}$) и максимального магнитного потока (Φ_1) приведены в таблице 1 и учтены при построении рис. 3.

Так как было важно исследовать разные режимы ускоренного всплытия АО, был применен второй способ расчета скорости всплывающего потока (Тихонова и др., 2016), заключающийся в получении производной магнитного потока всей АО, включая поток униполярного пятна, по времени. Сначала был рассчитан полный беззнаковый магнитный поток всей АО, включая униполярное пятно. Затем эти значения были сглажены для устранения периодических ошибок измерения магнитного поля, связанных с особенностями работы инструмента (Liu et al., 2012; Kutsenko, Abramenko, 2016). Максимальное значение полученных данных (Φ_2) приведено в таблице 1 и учтено при построении рис. 3. Далее на основе сглаженной кривой была рассчитана производная магнитного потока по времени и, соответственно, получены значения максимальной мгновенной скорости ($(d\Phi/dt)_{\rm inst}$) всей АО, включая униполярное пятно.

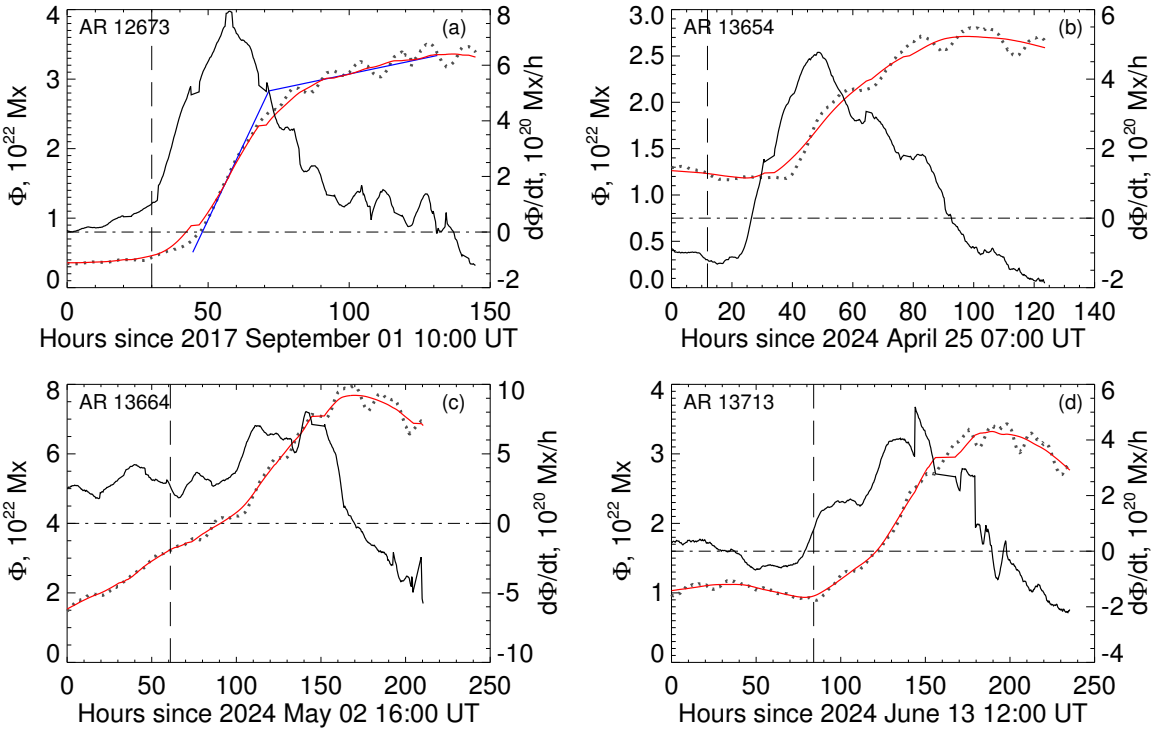


Рис. 2. Изменение суммарного магнитного потока (Φ, 10^{22} Мкс, левая ось) и мгновенной скорости всплытия потока ($d\Phi/dt$, 10^{20} Мкс/ч, правая ось) со временем. Серая пунктирная линия показывает изначальные значения потока, красная сплошная кривая – сглаженные. Черная сплошная линия обозначает изменение мгновенной скорости всплытия потока. Синяя кривая на панели *(a)* показывает пример полученной кусочно-линейной функции для вычисления средней скорости всплытия магнитного потока. Горизонтальная штрихпунктирная прямая показывает нулевой уровень для мгновенной скорости всплытия потока. Вертикальной штриховой линией обозначено примерное время начала активного всплытия основной мультиполярной структуры АО. Время указано в часах

Кроме того, для каждой АО был рассчитан вспышечный индекс (Flare Index, FI) по методике, представленной в работе Abramenko (2005). По данным GOES[1] было посчитано количество вспышек классов X, M, C ($N_X, N_M, N_C = N_j$), связанных с данной АО, за количество дней τ, а также сумма их вспышечных индексов по GOES: $S^j = \sum_{i=1}^{N_j} I_i^j$, где $I_i^j = I_i^X, I_i^M, I_i^C, I_i^B$ – индекс вспышек классов X, M, C.

Весь промежуток времени τ, когда АО находилась на диске Солнца, был разделен на два интервала: от появления АО на диске Солнца до начала всплытия основной мультиполярной структуры (τ_1) и от начала всплытия основной мультиполярной структуры до захода АО за западный лимб (τ_2).

Началом всплытия основной мультиполярной структуры считался момент появления первых признаков возникновения нового потока в виде мельчайших пор и магнитных элементов, отличающихся от основного фона. Выделение данного момента проводилось визуально по последовательности магнитограмм. Если считать, что погрешность в определении этого момента времени составляет 12 ± 6 часов, то FI поменяется не более чем на 10 %, что не сильно повлияет на полученные результаты. Найденное начало всплытия мультиполярной структуры отмечено на рис. 2 вертикальной штриховой линией. Магнитограммы, соответствующие этому времени перехода от τ_1 к τ_2, изображены для каждой исследуемой АО на рис. 1 (слева). Для сравнения также приведены магнитограммы, соответствующие моменту времени максимальной мгновенной скорости (см. рис. 1, справа).

[1] https://www.lmsal.com/solarsoft/latest_events_archive.html

FI был найден как

$$\mathrm{FI} = (100S^{\mathrm{X}} + 10S^{\mathrm{M}} + S^{\mathrm{C}} + 0.1S^{\mathrm{B}})/\tau. \quad (1)$$

Полученные значения вспышечного индекса, а также временные интервалы τ_1 и τ_2 представлены в таблице 1.

3 Результаты

На рис. 2 показаны изменения магнитного потока и мгновенной скорости его всплытия со временем. Все четыре панели демонстрируют смену фазы нарастания скорости всплытия магнитного потока фазой затухания. Из кривых магнитного потока видно общее возрастание магнитного потока до некоторого момента времени. А из кривых мгновенных скоростей – существование интервалов времени ускоренного всплытия, которые сменяются замедлением его скорости на фоне общего роста потока. Сам процесс всплытия продолжается, но уже в режиме замедления.

Так, например, в АО NOAA 12673 (панель *a*) хорошо видно увеличение скорости всплытия потока (от отметки 30 до отметки 55 часов с 1 сентября 2017 г.), а затем – ее уменьшение.

В АО NOAA 13654 (панель *b*) также заметен один пик резкого возрастания скорости всплытия магнитного потока, соответствующий всплытию мультиполярной структуры.

В АО NOAA 13664 (панель *c*) видно волнообразное увеличение скорости всплытия магнитного потока. При этом выделяется около четырех разных участков (пиков), где, как мы предполагаем, происходило несколько этапов ускорения всплывающего магнитного потока.

В АО NOAA 13713 (панель *d*) наблюдается общий рост скорости всплытия магнитного потока до некоторого уровня и затем ее замедление. При этом различимы несколько пиков, наличие которых позволяет предположить, что происходило поэтапное всплытие магнитного потока, которое после определенного момента (на отметке 142 часа с 13 июня 2024 г.) начало затухать.

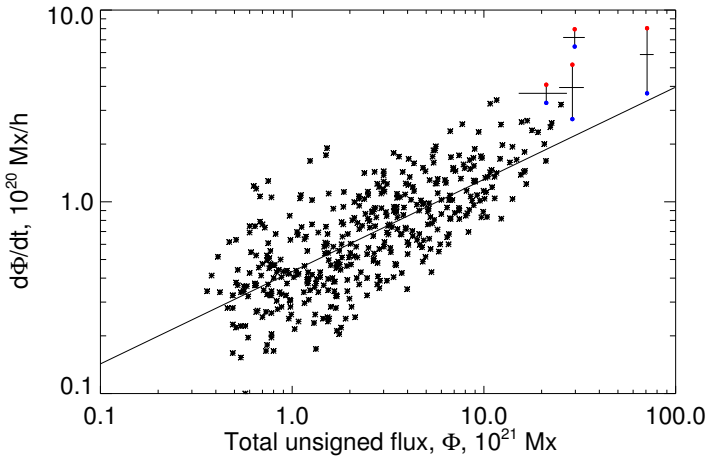


Рис. 3. Зависимость скорости всплытия магнитного потока ($d\Phi/dt$, 10^{20} Мкс/ч) от суммарного беззнакового магнитного потока (Φ, 10^{21} Мкс) активной области. Черными звездами отмечены магнитные структуры, исследованные в работе Kutsenko et al. (2019), крестами – усредненное расположение АО, рассматриваемых в данной работе. Для каждой из четырех добавленных АО горизонтальные сегменты обозначают разницу между максимальными потоками Φ_1 и Φ_2. Красными кружками отмечены значения максимальной мгновенной скорости всплытия магнитного потока, синими – значения его средней скорости

На рис. 3 представлен график зависимости скорости всплытия потока от суммарного магнитного потока АО. Данные, полученные в работе Kutsenko et al. (2019), показаны черными звездами; черной сплошной линией отмечена полученная там же степенная зависимость, которая хорошо аппроксимировала отношение между средней скоростью нарастания магнитного потока и максимальным магнитным потоком: $d\Phi/dt \sim \Phi^{0.48}$. Так как было использовано два метода расчета скорости всплытия и нахождения максимального магнитного

потока, крестами показано усредненное положение АО, рассмотренных в данной работе. Горизонтальные прямые показывают разницу между максимальными потоками Φ_1 и Φ_2. Значения $(d\Phi/dt)_{\rm av}$ представлены синими кружками, значения $(d\Phi/dt)_{\rm inst}$ – красными.

Из рис. 3 видно, что рассмотренные АО занимают правый верхний угол, что свидетельствует о достаточно высоких значениях магнитного потока и высокой скорости его всплытия по сравнению с биполярными структурами. Максимальные мгновенные скорости всплытия потока всегда выше средних, что, возможно, связано с разной методикой расчета.

Рисунок 3 также демонстрирует, что рассмотренные в работе Kutsenko et al. (2019) всплывающие биполярные активные области обладают гораздо меньшими потоками по сравнению с магнитными потоками рассмотренных групп пятен. Исходя из этого можно предположить, что биполярные АО в большинстве своем либо не обладают такими большими магнитными потоками, либо же они всплывают гораздо медленнее и достигают таких магнитных потоков на невидимой стороне солнечного диска. Поэтому сопоставление АО типа униполярное пятно плюс мультиполярная структура со всплывающими биполярными АО сравнимых магнитных потоков видится затруднительным.

Из таблицы 1 видно, что вспышечные индексы для всех АО (FI_{τ_2}) достаточно высоки (больше 15). Кроме того, интересно отметить, что второй вспышечный индекс (FI_{τ_2}) всегда больше, чем первый (FI_{τ_1}). В связи с этим можно предположить, что основная вспышечная активность, скорее всего, связана с активным всплытием основной мультиполярной структуры, а не распределена равномерно в течение всего времени прохождения АО по диску Солнца.

4 Обсуждения и выводы

В работе исследованы АО с конфигурацией типа униполярное пятно плюс мультиполярная структура. Полученные данные позволяют утверждать, что в АО рассмотренного типа на фоне общего роста магнитного потока реализуются разные режимы всплытия: в некоторые интервалы времени всплытие происходит с ускорением, а в другие – с замедлением. Также показано, что АО типа униполярное пятно плюс мультиполярная структура характеризуются высоким вспышечным индексом (больше 15), более сильными магнитными потоками и более высокой скоростью всплытия по сравнению с АО, обладающими в основном биполярной структурой.

Можно предположить, что роль ускорителя для подъема магнитного потока играет турбулентность конвективной зоны; при этом униполярное пятно, которое, по всей видимости, имеет глубокие корни залегания, является своеобразным каналом, вдоль которого могут быть созданы условия для более легкого и быстрого всплытия магнитного потока.

Похожая концепция рассмотрена в работе Jin et al. (2024). На основе наблюдений семи униполярных пятен и небольших всплывающих биполей вокруг них авторы предложили свою интерпретацию модели локального динамо, которая основывается на скручивании и пересоединении магнитного поля на периферии солнечного пятна. А в работе Schmassmann et al. (2021) уже на основе численного моделирования авторы показали, что униполярные пятна способны создавать вокруг себя под фотосферой очень стабильные участки. Можно предположить, что именно эти зоны устойчивости служат каналами для более легкого всплытия мультиполярной структуры.

Благодарности. Авторы благодарят рецензента за проявленный интерес и полезные замечания. SDO является миссией NASA в рамках программы “Жизнь со звездой”. Данные SDO/HMI, использованные в работе, предоставлены JSOC.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН “КрАО РАН”.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

Абраменко В.И., Сулейманова Р.А., 2025. Геомагнетизм и Аэрономия. Т. 65. № 7. С. 985–991. [Abramenko V.I., Suleymanova R.A., 2025. Geomagnetizm i Aeronomiya, vol. 65, no. 7, pp. 985–991. (In Russ.)].

Тихонова О.И., Абраменко В.И., Куценко А.С., Юрчишин В.Б., 2016. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 112. № 2. С. 98–106. Доступно на: https://jncrao.ru/index.php/izvcrao/article/view/190.

[Tikhonova O.I., Abramenko V.I., Kutsenko A.S., Yurchyshyn V.B., 2016. Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ., vol. 112, no. 2, pp. 98–106. (In Russ.)].
Abramenko V.I., 2005. Astrophys. J., vol. 629, no. 2, pp. 1141–1149.
Abramenko V.I., 2021. Mon. Not. Roy. Astron. Soc., vol. 507, no. 3, pp. 3698–3706.
Abramenko V.I., Suleymanova R.A., Zhukova A.V., 2023. Mon. Not. Roy. Astron. Soc., vol. 518, no. 3, pp. 4746–4754.
Bobra M.G., Sun X., Hoeksema J.T., et al., 2014. Solar Phys., vol. 289, no. 9, pp. 3549–3578.
Chen A.Q., Wang J.X., Li J.W., Feynman J., Zhang J., 2011. Astron. Astrophys., vol. 534, p. A47.
Guo J., Lin J., Deng Y., 2014. Mon. Not. Roy. Astron. Soc., vol. 441, no. 3, pp. 2208–2211.
Jin C., Zhou G., Ji H., Wang J., 2024. Astrophys. J., vol. 975, no. 1, p. 46.
Krause F., Rädler K.H., 1980. Mean-field magnetohydrodynamics and dynamo theory. Pergamon Press.
Kutsenko A.S., Abramenko V.I., 2016. Solar Phys., vol. 291, no. 6, pp. 1613–1623.
Kutsenko A.S., Abramenko V.I., Pevtsov A.A., 2019. Mon. Not. Roy. Astron. Soc., vol. 484, no. 3, pp. 4393–4400.
Kutsenko A.S., Abramenko V.I., Plotnikov A.A., 2024. Research Astron. Astrophys., vol. 24, no. 4, p. 045014.
Liu Y., Hoeksema J.T., Scherrer P.H., et al., 2012. Solar Phys., vol. 279, no. 1, pp. 295–316.
Parker E.N., 1955. Astrophys. J., vol. 122, p. 293.
Pesnell W.D., Thompson B.J., Chamberlin P.C., 2012. Solar Phys., vol. 275, no. 1–2, pp. 3–15.
Schmassmann M., Rempel M., Bello González N., Schlichenmaier R., Jurčák J., 2021. Astron. Astrophys., vol. 656, p. A92.
Schou J., Scherrer P.H., Bush R.I., et al., 2012. Solar Phys., vol. 275, no. 1-2, pp. 229–259.
Tian L., Liu Y., Wang J., 2002. Solar Phys., vol. 209, no. 2, pp. 361–374.
van Driel-Gesztelyi L., Green L.M., 2015. Liv. Rev. Solar Phys., vol. 12, no. 1, p. 1.

Properties of the emergence of active regions consisting of a unipolar spot plus a multipolar structure

R.A. Suleymanova, V.I. Abramenko, A.S. Kutsenko

Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny 298409

Abstract. The paper examines four active regions in which a complex multipolar structure of a compared magnetic flux emerged rapidly in the vicinity of a stable unipolar spot. Using data from the Helioseismic and Magnetic Imager on board the Solar Dynamics Observatory (hmi.sharp_cea_720s...magnetogram series), the time interval during which the accelerated emergence of a magnetic flux of a multipolar structure was determined for each active region. A comparison of the explored characteristics of the active regions with earlier studies and methods revealed that they are not located in the general distribution of bipolar structures, but occupy a region characterized by the strongest magnetic fluxes and the highest rate of magnetic flux increase. The resulting profiles of the instantaneous rate of magnetic flux increase reveal uneven, accelerated magnetic flux emergence. Flare indices were determined for each active region, which were found to be quite high. The results allow us to assume that unipolar spots are apparently capable of creating special channels along which there are conditions for easier and faster magnetic flux emergence.

Key words: Sun, active regions, magnetic fields

© Автор(ы), 2026.
Статья открытого доступа. Авторское право и право на публикацию текстов, представленных в журнале "Известия Крымской астрофизической обсерватории", сохраняются за авторами, при этом право первой публикации предоставляется журналу. Тексты могут свободно использоваться при условии правильного цитирования в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).