Секция А. Астрофизика и физика Солнца. БШФФ-2026. С. 62–64.

УДК 523.98
DOI: 10.62955/0135-3748-2026-62

КОМПЛЕКСЫ АКТИВНОСТИ НА СОЛНЦЕ НА СТАДИИ РОСТА И МАКСИМУМА 25-ОГО ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Канзюба Д.В.[1], Исаева Е.С.[1], Язев С.А.[1,2]

[1]Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия,
daryakanzyuba@yandex.ru
[2]Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

ACTIVITY COMPLEXES ON THE SUN AT THE GROWTH AND MAXIMUM STAGE OF THE 25TH SOLAR CYCLE

Kanzyuba D. V.[1], Isaeva E.S.[1], Yazev S.A.[1,2]

[1]Irkutsk State University, Irkutsk, Russia, Daryakanzyuba@yandex.ru
[2]Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

Аннотация. Работа посвящена исследованию комплексов активности (КА) на Солнце в течение 2020 -2024 гг. Сформирован каталог КА за указанный период. В него вошло 76 КА, по 38 в северном и южном полушарии. Определены гелиоцентрические кэррингтоновские координаты центров КА, максимальные площади групп пятен, входящих в их состав. Для всех групп пятен в составе КА рассчитан вспышечный индекс. Построено распределение КА по продолжительности существования. Проанализирована степень монотонности изменения площади групп пятен в КА и вне их, показано, что для групп пятен в составе КА характерна многовершинность графика изменения площади. Показано, что практически все вспышки рентгеновского класса X за исследуемый период произошли в КА. Обосновано предположение о том, что основой КА являются гигантские конвективные ячейки, в пределах которых формируется квазистационарный поток направленный от дна конвективной зоны к фотосфере. Всплывающие вместе с плазмой магнитные поля обеспечивают постоянное пятнообразование в пределах такой ячейки на протяжении времени ее существования.

Ключевые слова: комплексы активности на Солнце, вспышки

Abstract. The paper is devoted to the study of solar activity complexes (CA) during 2020-2024. The CA catalog has been generated for the specified period. It included 76 CA, 38 each in the northern and southern hemispheres. The heliocentric Carrington coordinates of the CA centers and the maximum areas of the groups of spots included in their composition have been determined. The flare index is calculated for all groups of sunspots in the CA. The distribution of CA by duration of existence is constructed. The degree of monotony of the change in the area of groups of sunspots in and outside the CA is analyzed, and it is shown that groups of sunspots in the CA are characterized by a multi-dimensional graph of the area change. It is shown that almost all X-ray class X flashes during the studied period occurred in CA. The assumption is substantiated that the CA is based on giant convective cells, within which a quasi-stationary flow is formed directed from the bottom of the convective zone to the photosphere. Magnetic fields emerging with the plasma ensure constant sunspot formation within such a cell throughout its existence.

Keywords: solar activity complexes, flares

ВВЕДЕНИЕ

Понятие комплекс активности (КА) на Солнце предложено в 1965 г. [Bumba, Howard, 1965]. С тех пор смысл понятия неоднократно изменялся [Castenmiller M.J.M., 1986; Gaizauskas V., 1983, Nagovitsin Yu. A., 2018; Обридко В.Н., Шельтинг Б.Д., 2013] . В рамках иркутской концепции КА, у истоков которой стоял В.Г.Банин [Banin,Yazev, 1990; Banin et al, 1986], ключевым фактором, определяющим принадлежность активной области (АО) к КА, является продолжительность существования пятен на одном и том же участке солнечной поверхности в кэррингтоновской системе координат. Согласно действующему определению [Yazev, 2015], если на участке фотосферы размером 20 на 20 гелиографических градусов наблюдаются пятна на протяжении по крайней мере трех солнечных оборотов подряд, такой участок называется ядром КА. Продолжительность существования ядра может превышать год и более. АО, находящаяся в пределах 20 градусов от границы ядра КА и связанная с ним (как правило) высокими корональными петлями в единую магнитную структуру, называется ветвью КА.

В соответствии с определением КА [Yazev, 2015, Yazev et al, 2021], ядра КА выделяются в результате анализа кэррингтоновских координат всех групп пятен на Солнце за определенный период времени. Группой иркутских исследователей изучены параметры КА на протяжении 21 – 24 циклов солнечной активности (1976 – 2019 гг), например, [Yazev et al, 2021]. В этих работах показано, что основные свойства КА, оставаясь в целом сходными, тем не менее, варьируют от цикла к циклу.

Настоящая работа посвящена исследованию КА в первой половине 25-го цикла солнечной активности – от начала до фазы максимума (2020 – 2024 гг).

КАТАЛОГ КА ЗА 2021 – 2024 гг

Анализ пятенной активности Солнца в 2020 – 2024 гг позволил, согласно описанной выше методике, выделить ядра и ветви КА, развивавшиеся в этот период. Первый КА отмечен в январе 2021 г.

Всего до января 2025 г. выделено 76 КА – по 38 в северном и южном полушариях. Это указывает на квазисимметричное относительно экватора развитие КА в первой половине цикла.

Составлен каталог КА. В таблице каталога указаны порядковый номер КА, для каждого кэррингтоновского оборота, в котором отмечен данный КА, указаны номера АО, входящих в ядро КА, кэррингтоновские координаты центров ядер КА, номер АО – ветвей КА в данном обороте, максимальные площади АО, общее число АО в составе КА в данном обороте, мощные вспышки в АО (начиная с M5.0) и примечания. Всего в каталоге отмечены 443 АО в составе ядер КА и 188 АО в составе ветвей КА. Всего в рассматриваемый период на Солнце наблюдалось 1093 групп пятен (АО). Таким образом, 57% всей совокупности АО, наблюдавшихся на Солнце в обсуждаемый период, находились в составе КА.

Построено распределение ядер КА по продолжительности жизни, выраженной в кэррингтоновских оборотах (рис.1). Больше всего структур, существовавших три оборота. У распределения наблюдается длинный «хвост» – отмечены отдельные случаи, когда особо долгоживущее ядро КА существовало на протяжении 8 – 11 оборотов (немногим меньше года).

Рис. 1. Распределение ядер КА по продолжительности жизни

Важным параметром АО является суммарная площадь пятен, входящих в соответствующую группу. Вычислены средние значения площадей, зафиксированных на максимуме развития АО отдельно для АО, находящихся в ядрах КА, в ветвях КА и автономных (индивидуальных) АО, не связанных с КА. Кроме того, определены медианные значения таких площадей. Результаты приведены в таблице 1.

Здесь же приведены данные, отражающие характер эволюции трех рассматриваемых типов АО. Для обычной группы пятен характерен одновершинный вид кривой, представляющей изменение площади группы: участок роста, максимум и фаза спада. Тем не менее, в некоторых группах пятен наблюдаются множественные максимумы (2 – 4). В третьей строке таблицы 1 показана процентная доля случаев, когда число локальных максимумов площади превышало один.

Таблица 1. Средние параметры разных типов АО

	Параметр	АО в ядрах КА	АО в ветвях КА	Прочие АО
1	Средняя макс. площадь, мдп	195	144	98
2	Медиана макс. площади, мдп	110	70	50
3	Доля случаев, когда число максимумов площади > 1, %	45	33	31
4	Суммарный вспышечный индекс	485	38,5	122
5	Удельный вспышечный индекс на одну АО	1,54	0,74	0,47
6	Доля вспышек класса X, %	86	12	2

Еще один параметр – вспышечный индекс, отражающий суммарную энергию, выделившуюся во всех вспышках, зафиксированных в данной АО. В четвертой и пятой строках таблицы приведены соответственно суммарный вспышечный индекс для всех АО данного типа и удельный вспышечный индекс, приведенный на одну группу пятен.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выделение структур, которые имеют отношение к КА, из общей выборки АО на Солнце, согласно правилу [Yazev et al., 2021] носит формальный характер, и физические отличия АО, находящихся в составе КА, от прочих АО требует доказательств. Такая проверка выполнена по данным авторского каталога КА для первой половины 25-го цикла.

Рассмотрим первую строку таблицы 1. Среднее значение максимальной площади группы пятен близко к 200 мдп. Это довольно крупные группы пятен. Графики распределений АО трех типов по размерам не приведены в настоящей работе из-за ограниченного объема статьи, но они также подтверждают, что в ядрах КА превалируют наиболее крупные группы пятен. На это же указывают медианные значения распределений: значение, делящее пополам всю выборку АО в ядрах КА, существенно превышает соответствующие значения для АО – ветвей КА и АО вне КА.

АО, находящиеся в ядрах КА, в 45% случаев, демонстрируют несколько (от 2 до 4) локальных максимумов площади за время своего существования. Аналогичный параметр для ветвей КА и прочих составляет соответственно лишь треть выборки. Наконец, суммарная энергия всех вспышек, происшедших в ядрах КА, более чем на порядок превышает энергетику вспышек в ветвях КА и вдвое – прочих АО. Но сравнительно большая суммарная энергетика вспышек в автономных АО, не связанных с КА, объясняется большим общим количеством таких структур. Однако расчет удельного вспышечного индекса (средняя суммарная энергия вспышек, происшедших в АО данного типа, приходящаяся на одну АО) показал, что этот параметр для АО в ядрах КА втрое превышает значение для автономных АО и вдвое – для ветвей КА.

Может быть сделан вывод, что именно группы пятен, развивающиеся в пределах ядер КА, являются наиболее крупными, для них характерна сложная эволюция (несколько раз достигается экстремум общей площади). С такими АО связано выделение 65% всей вспышечной энергии Солнца. При этом 86 % самых мощных вспышек рентгеновского класса X происходят именно здесь. Что касается автономных групп пятен, то они, как преимущественно небольшие и короткоживущие образования, в сумме производят сравнительно много вспышек, но средняя мощность этих вспышек втрое ниже, чем в ядрах КА. АО – ветви КА занимают промежуточное положение.

ВЫВОДЫ

Результаты исследования свойств АО, входящих в состав КА, показали, что существуют статистические значимые отличия таких АО от автономных АО. АО, развивающиеся в ядрах КА, являются более крупными, в них чаще наблюдаются несколько локальных максимумов площади, суммарный и удельный вспышечные индексы существенно превосходят аналогичный параметр для автономных АО. АО-ветви КА занимают промежуточное положение, по свойствам ближе к автономным АО.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (субсидия № 075-ГЗ/Ц3569/278, а также госзадание FZZE 2026-0006).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Обридко В.Н., Шельтинг Б.Д. Глобальные комплексы солнечной активности / Астрономический журнал, 2013, 90, № 10, С. 857-868.

Язев С.А., Ульянова М.М., Исаева Е.С. Комплексы активности на Солнце в 21 цикле солнечной активности. – Солнечно-земная физика, 2021, т. 7, № 4, С. 3-10.

Banin V.G., Borovik A.V., Yazev S.A. Complex of Activity and Large Solar Flares. / Contributions of the Astronomical Observatory of Skalnatom Pleso / 1986, v. 15, P. 289-296.

Banin V.G., Yazev S.A. Areas of Long Activity on the growth branch of Cycle 22 / Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца, М., Наука, 1990, вып. 91, С. 19-27.

Bumba V., Howard R. Large-scale distribution of solar magnetic fields. – Astrophys. J., 1965b, v. 141, № 4, P. 1502-1512.

Castenmiller M.J.M., Zwaan C., Van der Zalm. Sunspot nests. Manifestation of sequences in magnetic activity.- Solar Phys., 1986, v. 105, P.237-255.

Gaizauskas V., Harvey K.L., Harvey J.W., Zwaan C. Large-scale patterns formed by active solar regions during the ascending phase of cycle 21. – Ap. J., 1983, v.265, P. 1056-1065.

Nagovitsin Yu. A., Pevtsov A.A., Osipova A. A. Ivanov V.G. Some features of the two sunspot group populations/ // Geomagnetism and Aeronomy. – 2018. –V. 58. – No. 9. – PP. 1170-1174.

Yazev S.A. Activity Complexes on the Sun in Solar Cycle 24/ Astronomy Reports, 2015, Vol. 59, No 3, PP 228 – 237.