

**КОМПЛЕКСЫ АКТИВНОСТИ НА СОЛНЦЕ
В 21-М ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ****COMPLEXES OF ACTIVITY ON THE SUN
IN SOLAR CYCLE 21****С.А. Язев***Иркутский государственный университет,
Иркутск, Россия, syazev@gmail.com
Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия***М.М. Ульянова***Иркутский государственный университет,
Иркутск, Россия, dimka3509@yandex.ru***Е.С. Исаева***Иркутский государственный университет,
Иркутск, Россия, ele3471@yandex.ru***S.A. Yazev***Irkutsk State University,
Irkutsk, Russia, syazev@gmail.com
Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia***M.M. Ulianova***Irkutsk State University,
Irkutsk, Russia, dimka3509@yandex.ru***E.S. Isaeva***Irkutsk State University,
Irkutsk, Russia, ele3471@yandex.ru*

Аннотация. В работе приведены статистические данные о комплексах активности (КА) на Солнце, наблюдавшихся в 21-м цикле солнечной активности. По синоптическим картам пятенной активности за 1976–1986 гг. выделены области, где пятнообразование наблюдалось как минимум на протяжении трех кэррингтоновских оборотов (CR), — эти области идентифицировались как ядра КА. Составлен каталог КА. Показано, что КА развивались квазипериодично импульсами продолжительностью 15–20 оборотов. Выполнен анализ северо-южной асимметрии расположения КА. Показано, что в 21-м цикле 90 % протонных вспышек, влияющих на природную среду, произошли в КА. Для 21–24-го циклов отмечена тенденция к уменьшению активности КА от цикла к циклу, а также проявление правила Гневывшева—Оля в свойствах КА.

Ключевые слова: солнечная активность, комплексы активности, вспышки, северо-южная асимметрия.

Abstract. The paper provides statistical data on solar activity complexes (ACs) observed in solar cycle 21. From the synoptic charts for the 1976–1986 sunspot activity, we have detected the regions where the sunspot generation was observed at least through three Carrington Rotations (CRs). These regions were identified as AC cores. We have compiled an AC catalogue. ACs are shown to evolve quasi-periodically, in pulses that are 15–20 rotations long. We have analyzed the North-South asymmetry in the AC location. In cycle 21, 90 % of the proton flares that affected the natural environment are shown to have occurred in ACs. We note a tendency for AC activity to decrease, as well as the manifestation of the Gnevyshev—Ohl rule in AC properties, in solar cycles 21–24.

Keywords: solar activity, activity complexes, flares, North-South asymmetry.

ВВЕДЕНИЕ

Комплексы активности (КА) на Солнце традиционно вызывают большой интерес как геоэффективные структуры, генерирующие наиболее мощные вспышки, включая протонные события [Howard, Swetka, 1977; Огирь, 1976; Vumba et al., 1986; Головкин, 1983, 2001]. Разные авторы называли такие образования центрами солнечной активности [Витинский, 1965] и даже «гнездами» солнечных пятен [Castenmiller et al., 1986]. Понятие КА менялось со временем — от крупномасштабных магнитных структур, описание которых было выполнено Бумбой и Говардом [Vumba, Howard, 1965] (они же предложили термин КА), до сложных систем из многочисленных активных областей (АО), расположенных вдоль солнечной параллели и опоясывающих все Солнце [Gaizauskas et al., 1983]. Часто термины КА и КАО (комплекс активных областей) рассматриваются как синонимы [Ishkov et al., 1988;

Саттаров, 1989; Саттаров, Сайдалиева, 1991; Могилевский, Шилова, 1998; Саттаров и др., 2001; Рябов, Лукашук, 2009]. В монографии В.Н. Обридко [Обридко, 1985] о КА говорится сравнительно немного: отмечается, что этот тип солнечных образований мало изучен. Позднее автором монографии было предложено новое понятие глобального комплекса активности [Обридко, Шельтинг, 2013; Обридко, Наговицын, 2017], описывающее структуры, связанные с мощными пятнами и простирающиеся от глубинных слоев конвективной зоны [Kosovichev, Duvall, 2006; Ponidis et al., 2011] до короны. В целом в современной литературе доминирует представление о КА как о крупной вспышечно-активной области либо о системе нескольких таких АО.

Немного иной подход предложен в работах [Банин, Язев, 1989, 1997]. В качестве ключевого параметра КА была выбрана длительность существования АО не менее двух оборотов на одном и том же

участке солнечной поверхности, выделенном в кэррингтоновской системе координат. Это значит, что пятна должны наблюдаться как минимум трижды в течение трех последовательных оборотов. Поскольку продолжительность существования одной группы пятен в подавляющем большинстве случаев оказывается кратно меньше [Брей, Лоухед, 1967; Витинский и др., 1986], присутствие пятен на одном и том же месте в течение нескольких оборотов означает, что здесь одна за другой всплывают из-под фотосферы новые порции магнитного потока в форме новых АО. Такие участки длительного пятнообразования с эмпирически определенным размером $20^\circ \times 20^\circ$ первоначально получили название площадок длительной активности (ПДА) [Банин, Язев, 1989], а позднее для них был предложен другой термин — ядра КА [Язев и др., 2011, Язев, 2015]. В рамках этого подхода используется также понятие ветви КА — это АО, в данном кэррингтоновском обороте находящаяся поблизости (на расстоянии не более 30°) от ядра КА, связанная с АО, расположенной в ядре КА, высокими корональными петлями. Ветвь (отдельная АО) существует сравнительно недолго по сравнению с ядром КА, где АО могут сменять одна другую. Ветвь КА подчиняется дифференциальному вращению (в отличие от ядра КА), постепенно смещаясь по долготе в кэррингтоновской системе координат. Активные области, одновременно находящиеся в ядре КА и в ветви КА, образуют в данном обороте комплекс активных областей (КАО). Таким образом, КАО в рамках излагаемого подхода — это единовременный «срез» КА, описание состояния КА в данный момент времени без учета его длительной эволюции. В следующем обороте данной ветви уже не будет, но ядро КА может продолжать существовать в форме новой АО, появившейся на том же месте. При этом общая магнитная структура КА может сохраняться, медленно эволюционируя на протяжении нескольких оборотов [Язев, 2015].

Исследованиям КА, понимаемым в указанном смысле, посвящен цикл статей авторов, принадлежащих иркутской школе (например [Банин, 1983; Банин и др., 1988; Язев и др., 2011; Язев, 2015; Isaeva et al., 2018, 2020]). В этих работах описана феноменология КА на уровне фотосферы и хромосферы на примере нескольких ярко выраженных КА по наблюдениям в линии H α [Банин, 1983; Комарова и др., 2004]. Кроме того, изучена статистика проявлений КА в 1980–2020 гг. на протяжении трех с половиной циклов солнечной активности [Язев и др., 2011; Isaeva et al., 2018]. Выбор данного интервала связан с тем, что в 1980 г. был введен в строй хромосферный телескоп полного диска Байкальской астрофизической обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН (в то время СибИЗМИР СО АН СССР), [Банин и др., 1982]. Появление этого инструмента для наблюдения полного диска Солнца в линии H α с высоким разрешением позволило анализировать по собственным синхронным данным фотосферные и хромосферные проявления КА на Солнце, а также планировать и осуществлять их мониторинг [Боровик и др., 2019]. В результате анализ развития КА в 21-м цикле был ограничен периодом 1980–1986 гг. [Язев, 2010a], а динамика КА

на фазах роста и начала максимума 21-го цикла (1976–1979 гг.) осталась неизученной.

Настоящая работа нацелена на восполнение этого пробела. Исследовались КА, развивавшиеся в первой половине 21-го цикла (1976–1979 гг. включительно). Это позволило дополнить имеющиеся данные, получить представление о развитии КА в течение всего 21-го цикла, а также сравнить результаты с полученными ранее данными о КА в 22–24-м циклах.

МЕТОДИКА И ДАННЫЕ

Для идентификации КА, развивавшихся в первой половине 21-го цикла, были построены синоптические карты солнечной поверхности в кэррингтоновских гелиографических координатах (CR 1637–1689, январь 1976 — декабрь 1979 г.). Аналогичные карты начиная с CR 1690 (январь 1980 г.) были построены ранее и анализировались в других работах [Язев, 2010b].

На карты были нанесены все группы пятен на стадии их максимального развития по данным Solar Geophysical Data за соответствующие четыре года. Использовались зарисовки групп пятен и табличные данные, включая координаты групп пятен, нумерация которых приводится согласно номенклатуре NOAA.

Далее применялся следующий алгоритм. На синоптических картах выделялись участки размером $20^\circ \times 20^\circ$, в пределах которых как минимум на протяжении трех оборотов наблюдалась пятенная активность. Такие участки идентифицировались как ядра КА. За указанный период был составлен каталог ядер КА, который содержит номер ядра КА (отдельная нумерация для объектов, находящихся в северном и южном полушариях Солнца); номер АО, расположенной (расположенных) в данном обороте в пределах ядра КА согласно номенклатуре NOAA; гелиографические кэррингтоновские координаты центра ядра КА; индекс мощности P ядра КА в данном обороте (индекс P приписывается каждой АО во время ее максимального развития, шкала значений индекса P описана в табл. 1 [Язев, 2015]); номера АО, образующих ветви КА в данном обороте; общее количество АО (в ядрах и ветвях) в КА в данном обороте. Фрагмент каталога приведен в табл. 2.

Описанный каталог позволил дополнить данные о КА в 21-м цикле, изученные ранее для второй половины этого цикла [Язев, 2010a, б; Язев и др., 2011], а также проанализировать развитие КА в течение всего 21-го цикла в сравнении с другими циклами. Результаты, отражающие динамику особой популяции АО на Солнце, в отличие от всей совокупности групп пятен (см., например, работу [Wang, Sheeley, 1989], также рассматривающую 21-й цикл), приведены в следующем разделе.

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСОВ АКТИВНОСТИ В 21-М ЦИКЛЕ

Развитие КА в 21-м цикле (рис. 1) началось в CR 1648, когда в северном полушарии сформировался первый КА цикла. Это произошло через шесть оборотов после начала цикла (CR 1642). Спустя три оборота

Таблица 1

Значения индекса мощности P ядер КА

Баллы	Описание пятен в ядре КА	Аналог цюрихской классификации групп пятен
0.5	Одна либо две группы пор без биполярной структуры	А, В либо А+А
1	Одна группа пятен, включающая пятно с полутенью, либо три группы пор	С, либо А+А+А, либо В+В
1.5	Группа пятен с двумя и более пятнами с полутенью, либо с одним крупным пятном, либо две небольшие группы	С + (А либо В), либо Е, либо С+С, либо J, либо Н
2	Крупная группа с большим числом пятен и пор, в том числе с большими пятнами, либо две группы пятен	Е + (В либо С), либо G + (В либо С)
2.5	Большая группа пятен (площадь более 1000 м.д.п.), протяженность более 20°, либо две крупные группы пятен	F либо E+D
3	Экстремально крупная группа пятен (площадь более 2000 м.д.п.), либо крупная группа пятен с группами-сателлитами рядом с ней	F, протяженность >20°

Таблица 2

Фрагмент каталога КА в 21-м цикле

Номер ядра КА	Номер оборота	Номер АО в ядре КА	Кэррингтоновские координаты ядра КА		P	№ АО — ветви КА	Число АО в составе КА
			Долгота	Широта			
1	2	3	4	5	6	7	8
21N01	1648	733	155	+12	0.5		1
	1649	738			1		1
	1650	744			1		1
	1651	754			1	755 758	3

после активизации КА в северном полушарии в южном полушарии также появился первый КА. Последний КА 21-го цикла в северном полушарии исчез в CR 1769, в южном — в CR 1771. Таким образом, для северного и южного полушарий Солнца продолжительность цикла, выраженная в индексах КА, оказалась практически одинаковой, с небольшим сдвигом на 2–3 оборота (южное полушарие позднее).

Общее количество ядер КА в цикле составило 133 объекта (61 в северном полушарии, 72 в южном). Сравнительные данные для 21–24-го циклов приведены в табл. 3, данные по 22–24-му циклам взяты в [Язев и др., 2011; Isaeva et al., 2020]. Чередование более высоких и более низких значений количества ядер КА, предположительно, связано с проявлением правила Гневышева—Оля. Малая статистика пока не дает возможности сделать более глубокие выводы.

Из рис. 1 видно, что количество КА модулировано общим ходом 11-летнего цикла. Это естественно, поскольку АО, входящие в состав КА, являются частью общей популяции групп пятен на Солнце. В течение цикла наблюдаются квазипериодические вариации числа ядер КА с характерным квазипериодом ~15 оборотов, что для второй половины 21-го цикла было выявлено еще в ранних работах [Банин, Язев, 1989, 1997].

Таблица 3

Ядра КА в 21–24-м циклах

Номер цикла	Северное полушарие	Южное полушарие	Всего
21	61	72	133
22	52	52	104
23	69	77	146
24	64	50	114

На рис. 2 показано развитие КА отдельно для северного и южного полушарий (для наглядности количеству ядер КА в южном полушарии приписаны отрицательные значения).

Наглядно просматривается тенденция к антикорреляции развития КА в северном и южном полушариях: в отдельные интервалы времени с ростом числа КА в одном полушарии наблюдается его падение в другом. Эта свойство развития КА было впервые отмечено в [Банин, Язев, 1989] для второй половины 21-го цикла. Аналогичная тенденция видна и в первой половине исследуемого цикла.

Северо-южную асимметрию развития активности удобно описывать с помощью коэффициента асимметрии [Olemskoy, Kitchatinov, 2013; Kitchatinov, Khlystova, 2014] $K = (N_n - N_s) / (N_n + N_s)$, рассчитанного для каждого кэррингтоновского оборота. При максимальной асимметрии (в одном из полушарий отсут-

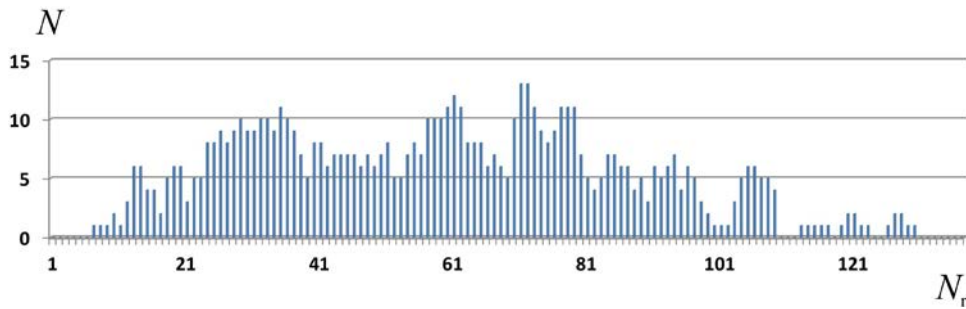


Рис. 1. Вариации количества ядер КА N в 21-м цикле. По оси абсцисс отложены номера кэррингтоновских оборотов N_r , считая от начала цикла (CR 1642)

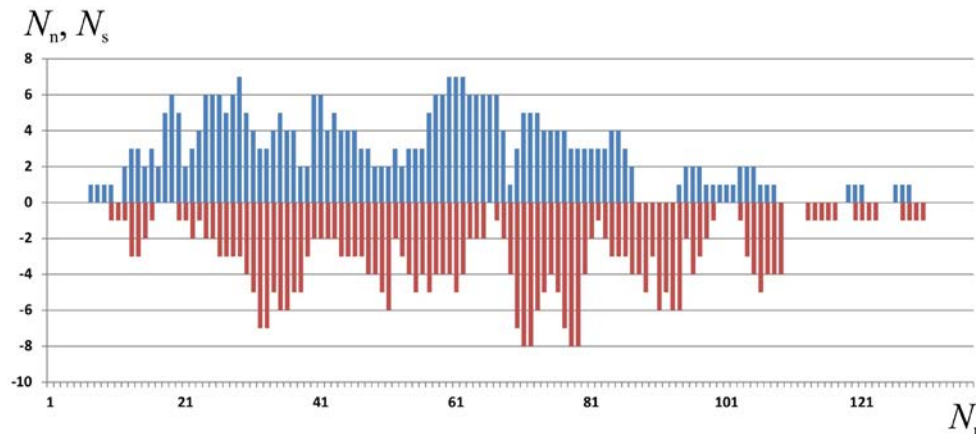


Рис. 2. Количество ядер КА в северном N_n и южном N_s полушариях Солнца в 21-м цикле

Таблица 4

Параметры ядер КА в 22–24-м циклах солнечной активности

№ цикла	Число анализируемых оборотов цикла	Число оборотов с ядрами КА	Среднее число ядер КА в обороте	Средняя удельная мощность ядра КА в обороте	Суммарная мощность ядер КА за цикл	Средняя мощность ядер КА в обороте
1	2	3	4	5	6	7
21	137	118	5.89	1.18	873	7.53
22	130	101	4.31	1.11	613	6.07
23	168	124	4.49	1.09	866	6.98
24	146	107	5.27	1.06	583	5.44

вуют КА) $K=1$ или $K=-1$. При равенстве количества северных и южных ядер КА $K=0$, при доминировании КА в одном из полушарий $|K|=0 \div 1$ (рис. 3).

Видно, что K квазипериодически менял знак — ядра КА преобладали поочередно то в северном полушарии, то в южном.

Обратимся к интегральным свойствам КА в 21-м цикле. Поскольку в предыдущих работах эти свойства были определены для 22-го, 23-го [Язев и др., 2011] и отчасти для 24-го циклов [Язев, 2015; Isaeva et al., 2020], есть смысл сравнить эти циклы. Характеристики КА для 21-го цикла, определенные по данным нового каталога, приведены в первой строке табл. 4. Параметры 22-го и 23-го циклов взяты из работ [Язев и др., 2011; Isaeva et al., 2020], параметры 24-го цикла — из авторского каталога КА, завершённого в 2020 г. после окончания цикла. Таким образом, впервые получена возможность сравнения

четырёх циклов в рамках используемого подхода (см. табл. 4).

В табл. 4 в столбцах даны следующие параметры: 2 — продолжительность цикла в кэррингтоновских оборотах; 3 — количество оборотов, в которых наблюдалось хотя бы одно ядро КА; 4 — среднее число ядер КА, приходящееся на один оборот; 5 — значения средней удельной мощности ядра КА (суммарной мощности P ядер КА в данном обороте, отнесенной к числу n ядер КА в этом обороте); 6 — значения интегральной мощности P ядер КА в цикле, просуммированной по всем оборотам; 7 — средняя мощность ядер КА, приходящаяся на один оборот.

Среднее число ядер КА, наблюдаемых в течение одного оборота, было максимальным (5.89) в исследуемом 21-м цикле. Средняя удельная мощность ядра КА в обороте монотонно уменьшается от цикла к циклу. При расчете значений этого параметра учитывались

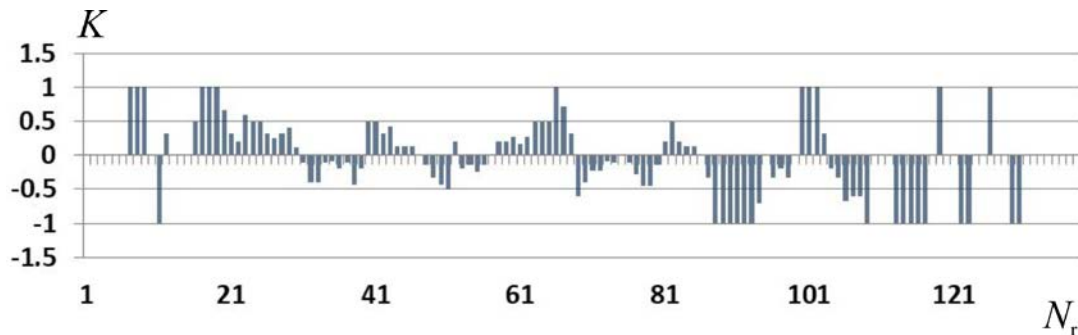


Рис. 3. Вариации коэффициента асимметрии числа ядер КА в 21-м цикле

только те обороты, в которых на солнечном диске наблюдалось хотя бы одно ядро КА. Так было не всегда: в 21-м цикле отмечены 19 «нулевых» (без ядер КА) оборотов из 137, в 22-м — 29 из 130, в 23-м — 44 из 168, в 24-м — 39 из 146. В начале цикла количество нулевых оборотов составило соответственно 6 в 21-м и 22-м циклах, 14 — в начале 23-го и 13 — в начале 24-го. Таким образом, по сравнению с 21-м и 22-м циклами, первые КА в 23-м и 24-м циклах появились с заметной задержкой по отношению к началу цикла, определяемому по сглаженной кривой среднемесячных значений чисел Вольфа [Обридко, Наговицын, 2017].

Отметим наблюдаемую тенденцию к снижению интегральной мощности ядер КА. Если допустить, что в мощности КА проявляется правило Гневышева—Оля, имеет смысл сравнение параметров не соседних циклов, а соседних четных и соседних нечетных. В обеих парах 21–23-го и 22–24-го циклов видна тенденция к уменьшению суммарной мощности КА в циклах. Соответственно, падает средняя мощность КА, приходящаяся на один оборот. Самым высоким (7.53) этот параметр был в 21-м цикле, самым низким (5.44) — в 24-м.

Следует обратить внимание еще на одно феноменологическое свойство АО, формирующихся в ядрах КА. В 21-м цикле неоднократно отмечалось расположение двух (иногда более) АО практически на одной и той же долготе, но на разных широтах в одном полушарии на расстоянии 5°–10° друг от друга. Такие случаи преобладали в ядрах КА (реже — в ветвях КА) и наблюдались (иногда на разных оборотах) в 44 ядрах КА из 123 (36 %) 21-го цикла.

На рис. 4 приведена гистограмма распределения ядер КА в 21-м цикле по продолжительности жизни T , выраженной в кэррингтоновских оборотах. Согласно используемому определению ядра КА, T не может быть меньше трех оборотов. Аналогичные оценки выполнены для ядер КА в 22–24-м циклах [Язев, 20106; Isaeva et al., 2020], но только в 21-м цикле количество «четырёхоборотных» ядер КА превышает число «трехоборотных» — в 22–24-м циклах последних оказывается заметно больше.

В табл. 5 приведены данные о связи ядер КА в 21-м цикле с наиболее мощными протонными вспышками, которые на орбите Земли генерировали потоки, превышающие 10 см²с⁻¹, частиц с энергией больше 10 МэВ. Каталог таких событий доступен по ссылке [https://umbra.nascom.nasa.gov/SEP]. Согласно данным

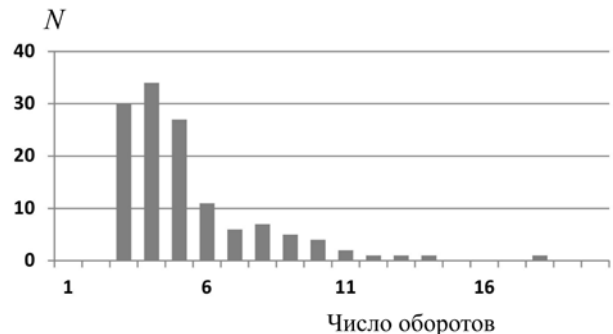


Рис. 4. Распределение ядер КА в 21-м цикле по продолжительности существования, выраженной в кэррингтоновских оборотах. По оси ординат отложено количество случаев N

Таблица 5

Параметры ядер КА в 22–24-м циклах солнечной активности

	Всего	В ядрах КА	В ветвях КА	Вне КА
Северное полушарие	31	23	4	4
Южное полушарие	21	18	2	1
Итого	52	41	6	5

табл. 5, 47 из 52 подобных вспышек (90 %) произошли в КА: 41 — в АО, расположенных в ядрах КА, 6 — в АО, являющихся ветвями КА. Аналогичный показатель для 24-го цикла составил 82 % [Isaeva et al., 2018].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определены характеристики КА, которые были идентифицированы в рамках подхода, разработанного иркутской школой. Статистика КА увеличилась с трех до четырех проанализированных циклов солнечной активности: добавились данные о 21-м цикле, выполнено сравнение параметров КА в 21-м цикле с параметрами этих образований в 22–24-м циклах.

В целом (в первом приближении) можно констатировать, что характеристики КА во всех четырех циклах сходны. В течение цикла возникает примерно 50–70 ядер КА в каждом полушарии.

Возникновение КА происходит импульсно: число ядер КА увеличивается и затем спадает, после чего наблюдается новый импульс. Продолжительность каждого импульса составляет 15–20 кэррингтонов-

ских оборотов, в каждом полушарии наблюдаются 5–6 подобных импульсов в течение цикла. С учетом временного сдвига (проявления северо-южной асимметрии), характерного для всех изученных циклов, суммарные импульсы развития КА на Солнце оказываются несколько более продолжительными (~20–25 оборотов), что, по-видимому, является причиной известных квазидвухлетних вариаций солнечной активности [Витинский и др., 1986; Обридко, Наговицын, 2017]. По данным 21-го цикла подтвержден сделанный ранее вывод о том, что именно ядра КА являются основными местами локализации сильных протонных вспышек, сопровождающихся выбросами энергичных протонов. Статистика всего периода наблюдения таких вспышек на спутниках GOES (1976–2021 гг.) свидетельствует о том, что именно КА несут ответственность за 80–90 % всех подобных событий.

При более подробном рассмотрении можно обнаружить некоторые различия в поведении КА от цикла к циклу. Продолжительность существования ядер понемногу спадает: постепенно становится все больше короткоживущих КА, существующих не более трех оборотов, уменьшается число долгоживущих структур. Позже (по отношению к началу цикла, определяемому по среднемесячным числам Вольфа) появляются первые КА в цикле: через 6 оборотов — в 21–22-м циклах, через 13–14 оборотов — в 23–24-м циклах. Флуктуируя, спадает мощность ядра КА — комплексный параметр, учитывающий как площадь АО в ядре КА, так и количество АО, наблюдаемых в течение одного оборота в данном ядре КА. Постепенно уменьшается средняя удельная мощность ядра КА в обороте. По-видимому, с учетом того, что в КА наблюдаются наиболее крупные АО, этот факт как минимум не противоречит отмеченной в 24-м цикле особенности — понижению количества крупных групп пятен, отличающихся большим магнитным потоком [Penn, Livingston, 2010]. В отличие от 21-го цикла в 24-м было существенно меньше ядер КА с индексом мощности $P=2.5$ и $P=3$. В 21-м цикле наблюдалось и самое большое среднее число ядер КА, одновременно наблюдавшихся в течение одного оборота, в последующих циклах этот параметр был ниже.

По-видимому, эти особенности динамики активности КА от цикла к циклу подтверждают тезис В.Н. Ишкова о том, что Солнце вступает в эпоху низких циклов [Ишков, 2018]. Поскольку АО, развивающиеся в составе КА, являются важной частью всей популяции групп солнечных пятен, их динамика во многом определяет пятнообразовательную деятельность Солнца в целом.

Следует обратить внимание на чередование более высоких и более низких значений ряда параметров КА, что может быть связано с проявлением правила Гневыхева — Оля, как правило, выводимого по числам Вольфа [Витинский и др., 1986]. В работе [Язев, 2015] было показано, что числа Вольфа и мощность КА хорошо коррелируют, поэтому такая гипотеза представляется авторам разумной.

Следует иметь в виду (и авторы это четко осознают), что статистика крайне невелика (изучены по единой методике всего четыре цикла) и определять

долговременные тренды на основе анализа вариаций от цикла к циклу было бы некорректно. Если типичные свойства КА уверенно подтверждаются анализом данных для 21-го цикла, можно лишь с большой осторожностью говорить о долговременных тенденциях к их изменениям от цикла к циклу.

Работа выполнена на УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение 13.УНУ.21.0007, госзадание FZZE-2020-0017, FZZE-2020-0024, а также субсидия № 075-ГЗ/Ц3569/278).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Банин В.Г. Комплекс активности и большие вспышки в мае 1981 г. *Исследования по геомагнетизму, аэронауки и физике Солнца*. 1983. Вып. 65. С. 129–150.

Банин В.Г., Язев С.А. Площадки длительной активности на нисходящей ветви солнечного цикла № 21. *Кинематика и физика небесных тел*. 1989. Т. 5, № 4. С. 62–68.

Банин В.Г., Язев С.А. ПДА в циклах солнечной активности. *Конференция, посвященная памяти М.Н. Гневыхева и А.И. Оля «Современные проблемы солнечной цикличности»*: Труды. СПб, 1997. С. 9–13.

Банин В.Г., Боровик А.В., Трифионов В.Д., Язев С.А. Об астроклимате Байкальской астрофизической обсерватории. *Исследования по геомагнетизму, аэронауки и физике Солнца*. 1982. Вып. 60. С. 28–34.

Банин В.Г., Боровик А.В., Язев С.А. Комплексы активности на 1705–1709 оборотах. *Солнечные данные*. 1988. № 5. С. 82–88.

Боровик А.В., Головкин А.А., Поляков В.И. и др. Исследования солнечной активности в Байкальской астрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН. *Солнечно-земная физика*. 2019. Т. 5, № 3. С. 21–35. DOI: [10.12737/szf-53201903](https://doi.org/10.12737/szf-53201903).

Брей Р., Лоухед Р. *Солнечные пятна*. М.: Мир, 1967. 383 с.

Витинский Ю.И. О некоторых особенностях центров солнечной активности. *Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове*. Л.: Изд-во ГАО, 1965. Т. 24, вып. 2, № 178. С. 49–59.

Витинский Ю.И., Копецкий М., Куклин Г.В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 296 с.

Головкин А.А. Некоторые особенности структур комплекса активности, давшего мощные протонные вспышки 13–16 мая 1981 г. *Исследования по геомагнетизму, аэронауки и физике Солнца*. 1983. Вып. 65. С. 121–129.

Головкин А.А. Структура и распределение магнитного поля и радиоизлучения активной области № 7978, давшей мощные вспышки в июле 1996 г. Труды ГАИШ. М. 2001. Т. 71. С. 177–183.

Ишков В.Н. Космическая погода и особенности развития текущего 24-го цикла солнечной активности. *Геомагнетизм и аэронаука*. 2018. Т. 58, № 6. С. 785–800. DOI: [10.1134/S0016794018060056](https://doi.org/10.1134/S0016794018060056).

Комарова Е.С., Сидоров В.И., Язев С.А. Особенности развития солнечной вспышки 19 октября 2001 г. *Солнечно-земная физика*. 2004. Вып. 6. С. 90–92.

Могилевский Э.И., Шилова Н.С. Комплексы активных областей на Солнце. I. *Известия КРАО*. 1998. Т. 94. С. 60–71.

Обридко В.Н. Солнечные пятна и комплексы активности. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. 256 с.

Обридко В.Н., Шельтинг Б.Д. Глобальные комплексы солнечной активности. *Астрономический журнал*. 2013. Т. 90, № 10. С. 857–868. DOI: [10.7868/S0004629913100046](https://doi.org/10.7868/S0004629913100046).

Обридко В.Н., Наговицын Ю.А. *Солнечная активность, цикличность и методы прогноза*. СПб, Изд-во ВВМ, 2017. 466 с.

Огирь М.Б. Развитие групп пятен в комплексах активности. *Физика солнечных пятен*. М.: Наука, 1976. С. 168–171.

Рябов М.И., Лукашук С.А. Комплексы активности и их роль в аномальной активности северного и южного полушарий Солнца. *Циклы активности на Солнце и звездах*. СПб.: Изд-во ВВМ, 2009. С. 121–134.

Саттаров И.С. О развитии комплексов активности на Солнце. *Солнечные данные*. 1989. № 5. С. 93–100.

Саттаров И.С., Сайдалиева М.А. Последний комплекс активности 21-го цикла. *Исследования солнечной активности* / под ред. Т.С. Юлдашбаева и З.Б. Коробовой. Ташкент: Изд-во ФАН АН Узбекской ССР, 1991. С. 16–25.

Саттаров И.С., Шерданов Ч.Т., Ладенков О.В. Рентгеновская структура комплексов активности на Солнце. *Труды ГАИШ*. М. 2001. Т. 71. С. 219–222.

Язев С.А. Комплексы активности на Солнце в 1980–2008 г. Комментарии к каталогу данных. *Изв. ИГУ*. Сер. Науки о Земле. 2010а. Т. 3, № 2. С. 217–225.

Язев С.А. Комплексы активности на Солнце в 23 цикле активности. *Солнечно-земная физика*. 2010б. Вып. 16. С. 94–101.

Язев С.А. Комплексы активности в 24-м цикле солнечной активности. *Астрономический журнал*. 2015. Т. 92, № 3. С. 260–269. DOI: [10.7868/S000462991503007X](https://doi.org/10.7868/S000462991503007X).

Язев С.А., Короткий А.В., Тарлюк И.Г. Комплексы активности в циклах Швабе—Вольфа. *Солнечно-земная физика*. 2011. Вып. 19. С. 3–8.

Bumba V., Howard R. Large-scale distribution of solar magnetic fields. *Astrophys. J.* 1965. Vol. 141, no. 4. P. 1502–1512. DOI: [10.1086/148238](https://doi.org/10.1086/148238).

Bumba V., Kalman B., Klvana M., Suda J. Kinematics of the May 1981 flare complex's magnetic field decrease (H.R. 17 644). *Bull. Astron. Inst. Czechosl.* 1986. Vol. 37. P. 219–226.

Castenmiller M.J.M., Zwaan C., Van der Zalm. Sunspot nests. Manifestation of sequences in magnetic activity. *Solar Phys.* 1986. Vol. 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. *Astrophys. J.* 1983. Vol. 265. P. 1056–1065. DOI: [10.1086/160747](https://doi.org/10.1086/160747).

Howard R., Svestka Z. Development of a complex of activity in the solar corona. *Solar Phys.* 1977. Vol. 54. P. 65–105. DOI: [10.1007/BF00146426](https://doi.org/10.1007/BF00146426).

Iionidis S., Zhao J., Kosovichev A. Detection of emerging sunspot regions in solar interior. *Science*. 2011. Vol. 333. P. 993–996. DOI: [10.1126/science.1206253](https://doi.org/10.1126/science.1206253).

Isaeva E.S., Tomozov V.T., Yazev S.A. Proton flares in solar activity complexes: possible origins and consequences. *Astron. Rep.* 2018. Vol. 62, no. 3. P. 243–250. DOI: [10.1134/S1063772918030058](https://doi.org/10.1134/S1063772918030058).

Isaeva E.S., Tomozov V.M., Yasev S.A. X-Ray flares and activity complexes on the Sun in solar cycle 24. *Astron. Rep.* 2020. Vol. 64, no. 1. P. 58–65. DOI: [10.1134/S1063772920010035](https://doi.org/10.1134/S1063772920010035).

Ishkov V.N., Kotrc P., Kulcar L. Complexes of active regions evolution, connections with solar flares and distributions in the 20 and 21 cycles of solar activity. *Proc. the International Workshop "Solar Maximum Analysis"*. Additional Iss. Irkutsk, USSR, 17–24 June 1985. Novosibirsk: Nauka, Siberian Division, 1988. P. 119–123.

Kitchatinov L.L., Khlystova A.I. North-south asymmetry of solar dynamo in the current activity cycle. *Astron. Lett.* 2014. Vol. 40. P. 663–666. DOI: [10.1134/S1063773714100028](https://doi.org/10.1134/S1063773714100028).

Kosovichev A.G., Duvall JR T.L. Active region dynamics. Recent helioseismology results dynamics. *Solar dynamics and its effects on the heliosphere and Earth*. Dordrecht, The Netherlands-Springer, 2006. P. 1–12.

Olemskoy S.V., Kitchatinov L.L. Grand minima and north-south asymmetry of solar activity. *Astrophys. J.* 2013. Vol. 777, iss. 1, article id. 71. DOI: [10.1088/0004-637X/777/1/71](https://doi.org/10.1088/0004-637X/777/1/71).

Penn M.J., Livingston W. Long-term evolution of sunspot magnetic fields. *Proc. IAU Symposium "The Physics of Sun and Star Spots"*. 2010. No. 273. P. 126–133.

Wang Y.M., Sheeley N.R. Average properties of bipolar magnetic regions during sunspot cycle 21. *Solar Phys.* 1989. Vol. 124. P. 81–100. DOI: [10.1007/BF00146521](https://doi.org/10.1007/BF00146521).

URL: <https://umbra.nascom.nasa.gov/SEP> (дата обращения 5 июля 2021 г.).

Как цитировать эту статью:

Язев С.А., Ульянова М.М., Исаева Е.С. Комплексы активности на Солнце в 21-м цикле солнечной активности. *Солнечно-земная физика*. 2021. Т. 7, № 4. С. 3–9. DOI: [10.12737/szf-74202101](https://doi.org/10.12737/szf-74202101).