



УДК 523.98

Каталог комплексов активности на Солнце на фазе роста 24-го цикла Швабе – Вольфа

С. А. Язев (syazev@gmail.com)

Аннотация. Представлен каталог ядер (зон постоянного пятнообразования) комплексов активности на Солнце, наблюдавшихся в 2009–2011 гг., составленный по результатам наблюдений астрономической обсерватории ИГУ и дополненный данными внеатмосферной обсерватории SDO. Приведены результаты анализа развития комплексов активности в указанный период, а также прогноз развития текущего 24-го цикла солнечной активности.

Ключевые слова: комплексы активности, солнечная активность, индексы.

Введение

Исследованию комплексов активности (КА) на Солнце посвящено большое количество работ. В соответствии с [14], комплексом активности называется особый участок на Солнце, где на протяжении длительного времени (несколько солнечных оборотов) развивается сложная крупномасштабная магнитная структура, в составе которой могут возникать, как последовательно, так и одновременно, активные области (АО).

Указание на участок поверхности в достаточной мере условно, поскольку система магнитных полей КА простирается как высоко в корону, так и глубоко в конвективную зону Солнца.

Предлагаемое определение указывает на особые свойства рассматриваемого участка Солнца, где как минимум облегчено или как максимум причинно обусловлено постоянное формирование новых порций всплывающего магнитного потока. При таком рассмотрении отдельные активные области являются локальными частными проявлениями (элементами) крупномасштабной и долгоживущей физической системы комплекса активности.

Общее количество активных областей, входящих в общую магнитную систему КА, может достигать нескольких десятков [6; 12; 13]. Появление новых АО происходит в виде последовательных дискретных инъекций новых порций магнитного потока в магнитную структуру КА. В период максимума цикла солнечной активности идентификация отдельных КА оказывается проблематичной, поскольку может наблюдаться целый замкнутый широтный пояс из физически связанных корональными петельными структурами активных областей, охватывающий все долготы [16].

Особый интерес к КА привлекает то обстоятельство, что они являются основными источниками геоэффективных возмущений на Земле. Именно здесь происходит до 95% вспышек, генерирующих наиболее сильные потоки протонов на орбите Земли [11; 15]. Низкоширотные корональные дыры, являющиеся источниками геоэффективного высокоскоростного солнечного ветра, тесно связаны с КА [10; 11].

В работе [7] описан каталог комплексов активности, наблюдавшийся на Солнце в период с 1980 г. (начиная с фазы максимума 21-го цикла Швабе – Вольфа) вплоть до 2007 г., когда наблюдался последний комплекс активности 23-го цикла [3; 5].

В настоящей работе приведено описание особенностей комплексов активности на фазе роста 24-го цикла Швабе – Вольфа. Соответствующий каталог доступен на сайте ИСЗФ СО РАН по адресу http://ru.iszf.irk.ru/images/6/6b/каталог_комплексов_активности_в_24_цикле.doc

Новый каталог комплексов активности на Солнце

Характер вращения КА близок к твердотельному, поэтому в кэррингтоновской системе координат смещения КА от оборота к обороту малы. Это свойство используется для определения площадок длительной активности (ПДА), которые образуют ядра КА. Метод определения ядер КА [1; 2], состоит в том, что на поверхности Солнца выделяются площадки размером 20×20 градусов, в пределах которых не менее трех последовательных кэррингтоновских оборотов наблюдаются солнечные пятна. Такой простой способ позволяет локализовать ядра КА на солнечной поверхности.

Эта методика применена для анализа данных в текущем 24-м цикле.

Первый КА в северном полушарии появился через 13 оборотов после минимума 23/24 циклов, в южном – через 21 оборот. Соответствующие задержки по сравнению с точками минимума составили 9 и 9 оборотов в 22-м цикле, 16 и 23 оборота в 23-м цикле

В табл. 1 представлено начало каталога, доступного по адресу http://ru.iszf.irk.ru/images/6/6b/каталог_комплексов_активности_в_24_цикле.doc. В столбце 1 приведены номера ядер КА, при этом буква указывает на полушарие (северное N либо южное S).

В столбцах 3 и 9 указаны номера активных областей согласно номенклатуре NOAA, входивших в состав КА в данном обороте (номер оборота – в столбце 2). В столбце 3 приведены номера активных областей, находящихся в ядрах КА, в столбце 9 – номера активных областей, представляющих собой ветви КА (связанные с ядром КА корональными петлями АО, существующие относительно непродолжительное время и вращающиеся с некэррингтоновской скоростью).

Общее количество активных областей в составе КА для данного оборота, включая активные области в ветвях КА, приведено в столбце 10.

В столбцах 4 и 5 указаны гелиографические координаты (долгота и широта) центра ядра КА, в столбце 6 – мощность ядра КА в данном обороте, выраженная значениями индекса мощности КА по шестибалльной шкале.

В столбцах 7 и 8 показаны соответственно сумма максимальных значений площадей пятен S_{\max} и сумма максимальных значений ежедневных чисел пятен N_{\max} , вычисленные для активных областей, входивших в состав КА в данном обороте по данным сайта http://www.thesis.lebedev.ru/active_areas.html. В скобках приведены значения тех же параметров, полученные по результатам наблюдений астрономической обсерватории ИГУ.

Анализ данных, систематизированных в виде каталога, позволил выявить ряд закономерностей, касающихся развития КА на фазе роста 24-го цикла Швабе – Вольфа. Результаты приведены в следующем разделе.

Комплексы активности в 24 цикле Швабе – Вольфа

На рис. 1 показано, как менялось общее количество групп пятен (кривая а) наблюдавшихся на солнечном диске, от оборота к обороту на протяжении первых 49 оборотов Солнца в 24-м цикле Швабе – Вольфа. Время указано в кэррингтоновских оборотах, отсчитываемых от оборота 2078, который соответствует началу цикла 24 в единицах сглаженных значений среднемесячных чисел Вольфа. Кривая б демонстрирует вариации числа групп пятен, развивавшихся в комплексах активности. Их доля менялась в пределах от нуля до максимального значения 0,69 (в 2117-м обороте, ноябрь–декабрь 2011 г.) в среднем за этот период около 0,35. Таким образом, около трети наблюдавшихся групп пятен развивались в составе комплексов активности.

Таблица

Номер ядра КА	№ обо- рота	№ АО в ядре КА	Кэррингтоновы координаты ядра КА		P	S_{\max} , м. д. п.	N_{\max}	№ АО – ветви КА	Число АО в составе КА
			долгота	широта					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Северное полушарие									
24N01	2091	1035	250	+25	1	635	24	1034	2
	2092	1040			1,5	905	31		1
	2093	1045			1,5	500	18		1
24N02	2094	Поры	230	+15	0,5	12	3		1
	2095	1061			0,5	50	6		1
	2096	1064			0,5	20	3		1
24N03	2098	1083	340	+20	1	69	9	1082	2
	2099	1087			1	230	12		1
	2100	1093			1	269	16	1099	2
24N04	2099	1092	82	+15	1	326	5		1
	2100	1101			1	231	17	1102	2
	2101	1110			0,5	84	8		1
	2102	1118			0,5	1	2	1119	2
24N05	2101	1109	62	+20	1,5	516	24		1
	2102	1117			1,5	869	16		1
	2103	1127			1	107	2		1

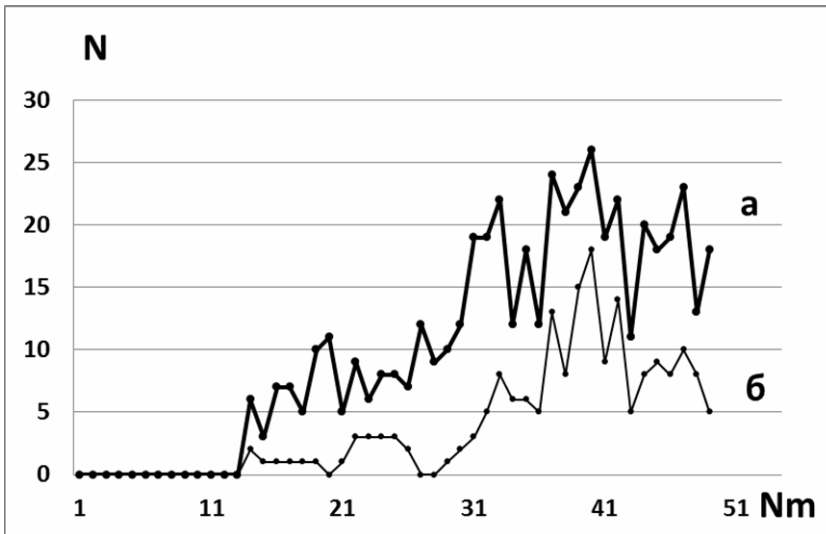


Рис. 1. Пятенная активность на стадии роста 24-го цикла. а – общее количество групп пятен на Солнце, б – число групп пятен в составе комплексов активности, Nm – число месяцев, прошедших от минимума цикла активности

На рис. 2 приведены пооборотные числа N_c ядер КА в северном и южном полушариях, количеству ядер КА в южном полушарии приписаны отрицательные значения для наглядности графика. Налицо существенная северо-южная асимметрия в развитии КА: северное полушарие явно преобладает. Только в самом конце рассматриваемого периода наблюдается тенденция к ослаблению активности КА в северном и усилению в южном полушарии.

На рис. 3 показаны изменения мощности ПДА отдельно для северного и южного полушарий, выраженные с помощью индекса мощности ядер КА P . Этот индекс отражает «степень запятненности» ядра КА в 6-балльной шкале (0,5; 1; 1,5; ... 3 [9]). В поведении индекса P также отмечена значительная северо-южная асимметрия с преобладанием активности в северном полушарии. Впервые активность южного полушария превысила активность северного в конце анализируемого периода – в 2124-м обороте (июнь 2012 г.).

Следует отметить, что активность КА развивалась в 24-м цикле импульсами продолжительностью 7–8 солнечных оборотов, при этом амплитуда импульсов последовательно нарастала. Максимальное значение активности КА достигнуто в уже упоминавшемся 2117-м обороте (ноябрь–декабрь 2011 г.), когда на Солнце наблюдались 10 ядер КА одновременно в обоих полушариях, суммарная их мощность в этом обороте достигла значения 12. Однако после самого мощного, четвертого, импульса активность КА стала быстро уменьшаться (рис. 3–4). В этом состоит отличие от предыдущего 23-го цикла активности, когда амплитуда импульсов активности КА на соответствующей фазе цикла продолжала нарастать (рис. 4). Наблю-

дения покажут, каким будет дальнейший ход событий. Не исключено, что на рубеже 2012–2013 гг. последует новый всплеск активности КА, хотя падение общего уровня КА-активности (крайне низкие значения индексов КА для середины 2012 г.) в преддверии ожидаемого максимума цикла выглядит неожиданным. Указанное падение уровня развития КА может быть отчасти связано с перестройкой в распределении активности между северным и южным полушариями Солнца.

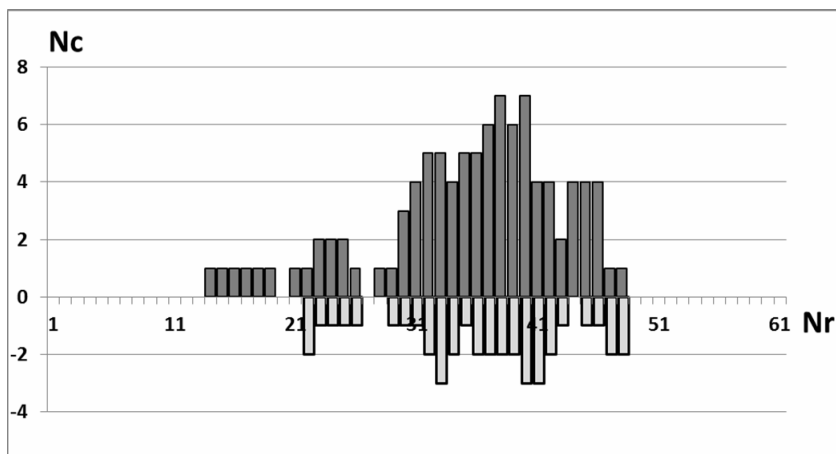


Рис. 2. Количество ядер КА N_c на фазе роста 24-го цикла. Положительные значения – северное полушарие, отрицательные – южное полушарие, N_r – количество кэррингтоновских оборотов Солнца, начиная от минимума 24-го цикла

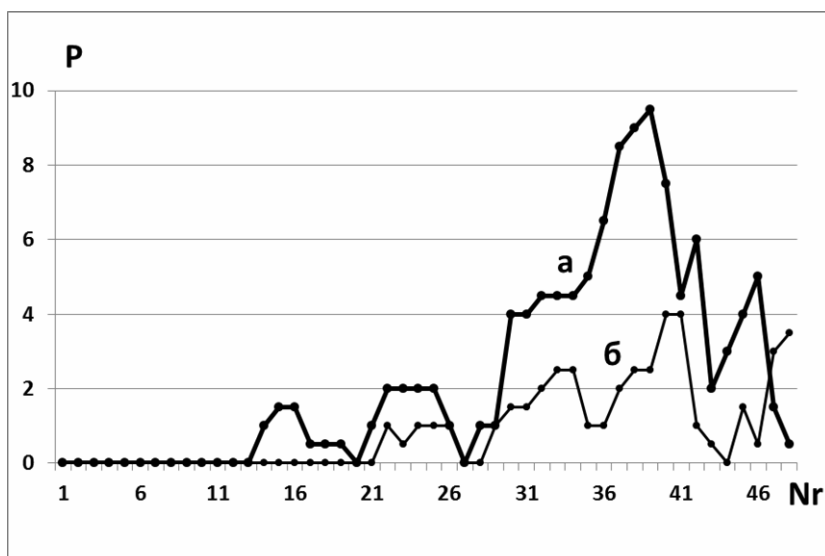


Рис. 3. Мощность ядер КА P на фазе роста 24-го цикла. а – северное полушарие, б – южное полушарие, N_r – количество кэррингтоновских оборотов Солнца начиная от минимума 24-го цикла

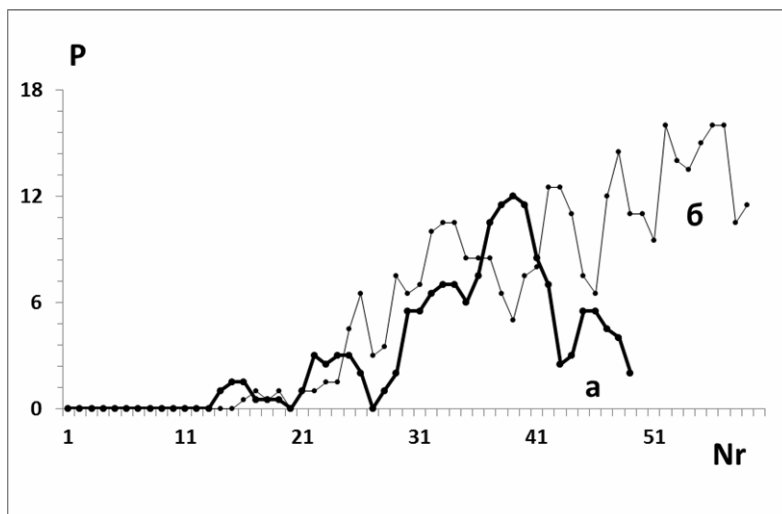


Рис. 4. Мощность ядер КА P . а – 24-й цикл, б – 23-й цикл, Nr – количество экваториальных оборотов Солнца начиная от минимума цикла

На рис. 5 сопоставлены среднемесячные значения чисел Вольфа и мощности ядер КА, наблюдавшихся по всему диску Солнца. Высокая коррелированность между кривыми *a* и *б* свидетельствует о том, что индекс мощности КА хорошо характеризует динамику солнечной активности в целом. На основании этого можно сделать вывод, что вариации чисел Вольфа в ходе развития цикла обусловлены прежде всего импульсным характером развития комплексов активности. Импульсный характер развития ядер КА отмечен и для предыдущих циклов активности [8].

В развитии активности КА наблюдались пять импульсов, при этом последний (пятый) оказался существенно ниже двух предыдущих по мощности (рис. 5). Видно, что в окрестностях сорокового месяца от начала цикла относительный вклад групп пятен в комплексах активности по отношению к общему числу групп пятен на Солнце понизился.

Исходя из гипотезы о том, что характер изменений уровня солнечной активности, описываемого числами Вольфа, обусловлен вариациями параметров комплексов активности, можно использовать данные о числах Вольфа в предыдущих циклах для оценки проявлений комплексов активности в этих циклах. На рис. 6 показано развитие солнечной активности, выраженной в среднемесячных значениях чисел Вольфа, для 16-го цикла Швабе – Вольфа (1923–1933 гг.), и для текущего 24-го цикла. Налицо высокая степень схожести развития указанных циклов, вплоть до отдельных деталей. По-видимому, это позволяет использовать 16-й цикл как модель дальнейшего развития текущего цикла.

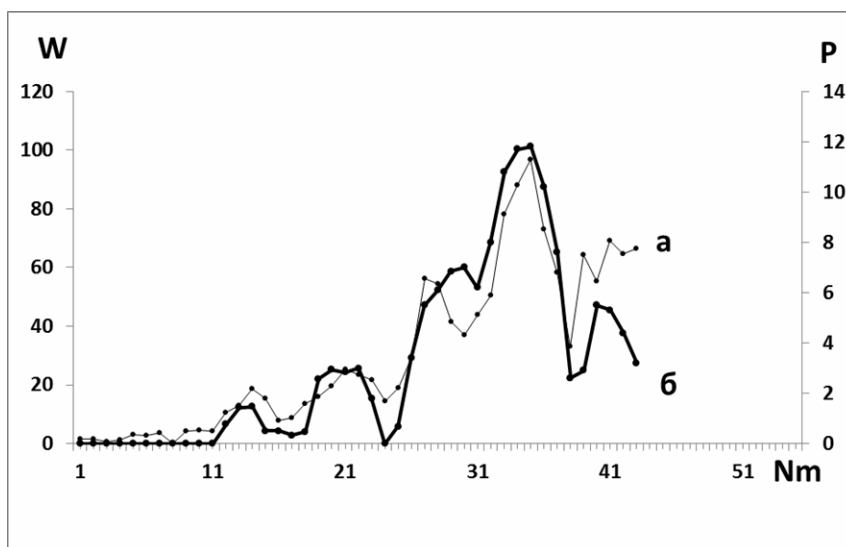


Рис. 5. Сравнение временных вариаций среднемесячных значений чисел Вольфа W (a – ось ординат слева) и среднемесячных значений индекса суммарной мощности ядер КА P (b – ось ординат справа) на солнечном диске. Nm – число месяцев, прошедших от минимума цикла активности

На основании этой гипотезы можно предположить, что очередной импульс, вероятно, начнется на рубеже 2012–2013 гг. По-видимому, речь идет о начале фазы максимума, которая, скорее всего, как и в 16-м цикле, будет представлять собой последовательность из нескольких (трех-четырёх) импульсов активности КА переменной мощности на протяжении 3,5–3,8 лет.

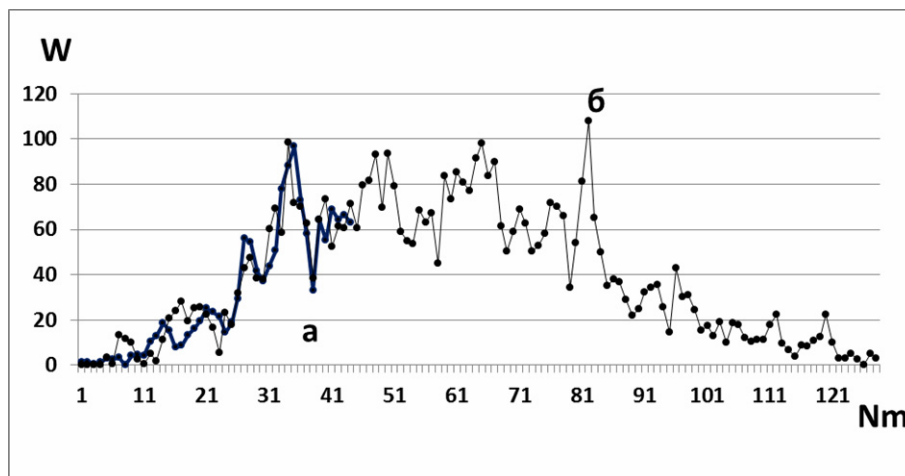


Рис. 6. Сравнение среднемесячных значений чисел Вольфа для текущего 24 цикла (a) и 16 цикла (b), последняя точка текущего цикла – август 2012 г. Nm – число месяцев, прошедших от минимума цикла активности

Заключение

Новый каталог ядер КА в 24-м цикле солнечной активности, отличающийся по структуре от предыдущего [7], может быть использован для сопоставления с другими типами проявлений солнечной активности, геоэффективными событиями, происходившими на Солнце. Каталог содержит большее количество параметров по сравнению с предыдущим каталогом [7], описывающим ситуацию в 21–23-м циклах. Применение введенных индексов для описания ядер КА позволяет использовать методы статистики для выделения свойств КА, а также выявления их зависимости от фазы цикла активности и долговременных трендов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 11–02–92202 Монг_а, Программы Президиума РАН № 4 и Госконтракта № 14. 518. 11. 7047

Список литературы

1. Банин В. Г. Площадки длительной активности на нисходящей ветви солнечного цикла № 21 / В. Г. Банин, С. А. Язев // Кинематика и физика небесных тел. – 1989. – Т. 5, № 4. – С. 62–68.
2. Банин С. А. Каталог площадок длительной активности в 1980–1989 годах / В. Г. Банин, С. А. Язев // Исслед. по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. – 1991. – Вып. 95. – С. 141–148.
3. Савинкин М. Ю. Последний комплекс активности 23 цикла солнечной активности / М. Ю. Савинкин, С. А. Язев // Тр. X конф. мол. ученых «Современные проблемы в астрофизике и физике космической плазмы». – Иркутск : ИО ИСЗФ СО РАН, 2007. – С. 242–245.
4. Савинкин М. Ю. Последний комплекс активности 23 цикла солнечной активности. II. Структура и динамика корональных петель / М. Ю. Савинкин, С. А. Язев // Тр. XI конф. мол. ученых «Гелио- и геофизические исследования». – Иркутск : ИО ИСЗФ СО РАН, 2009. – С. 282–285.
5. Савинкин М. Ю. Уникальный комплекс активности на рубеже 2006–2007 года / М. Ю. Савинкин, В. И. Сидоров, С. А. Язев // Солнечно-земная физика. – 2008. – Вып. 19. – С. 8–9.
6. Саттаров И. С. Тонкая структура солнечных пятен и комплексов активности : автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук в форме науч. докл. / И. С. Саттаров. – Иркутск : РИО ИСЗФ СО РАН, 1994. – 77 с.
7. Язев С. А. Комплексы активности на Солнце в 1980–2008 г. Комментарии к каталогу данных / С. А. Язев // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2010. – Т. 3, № 2. – С. 217–225.
8. Язев С. А. Комплексы активности в циклах Швабе – Вольфа / С. А. Язев, А. В. Коротких, И. Г. Тарлюк // Солнечно-земная физика. – 2011. – Вып. 19. – С. 3–9.
9. Язев С. А. Комплексы активности на Солнце в 23 цикле активности / С. А. Язев // Солнечно-земная физика. – 2010. – вып. 16. – С. 94–101.
10. Язев С. А. Корональные дыры и комплексы активности на Солнце / С. А. Язев // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2010. – Т. 3, № 2. – С. 226–241.

11. Язев С. А. О вкладе комплексов активности в генерацию геоэффективных проявлений Солнца / С. А. Язев // Активность звезд и Солнца на разных стадиях их эволюции. Рабочее совещание-дискуссия. Москва, 17–18 декабря 2010 г. : сб. ст. – М. : Астрон. о-во, 2010. – С. 199–204.
12. Язев С. А. О развитии трех комплексов активности на Солнце в 1989 году / С. А. Язев // Исслед. по геомагнетизму, аэронамии и физике Солнца. – М. : Наука, 1991. – Вып. 95. – С. 152–165.
13. Язев С. А. Развитие на Солнце комплекса активности с экстремальными характеристиками / С. А. Язев, Е. С. Комарова // Избранные проблемы астрономии : материалы науч.-практ. конф. «Небо и Земля» (г. Иркутск, 21–23 ноября 2006 г.). – Иркутск : Иркут. гос. ун-т, 2006. – С. 195–200.
14. Язев С. А. Феномен комплексов активности на Солнце / С. А. Язев // Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. – Иркутск : РИО ИСЗФ СО РАН, 2012. – 23 с.
15. Язев С. А. Феномен комплексов активности на Солнце / С. А. Язев, В. И. Сидоров // Тр. X конф. мол. ученых «Современные проблемы в астрофизике и физике космической плазмы». – Иркутск : ИО ИСЗФ СО РАН, 2007. – С. 65–71.
16. Large-scale patterns formed by active solar regions during the ascending phase of cycle 21 / V. Gaizauskas, K. L. Harvey, J. W. Harvey, C. Zwaan // Ap. J. 1983. – Vol. 265. – P. 1056–1065.

Catalogue of activity complexes on the Sun at the Schwabe – Wolf cycle 24 growth phase

S. A. Yazev

Annotation. The paper presents the cores (constant sunspot generation regions) catalogue for the activity complexes on the Sun observed in 2009–2011 compiled from the Irkutsk State University Astronomical Observatory observational results and supplemented by the SDO extra-atmospheric data. Cited are the activity complex evolution analysis results within the specified period, as well as the forecast for the current solar activity cycle 24 evolution.

Key words: complexes of activity, solar activity, indexes.

Язев Сергей Артурович
кандидат физико-математических наук,
Иркутский государственный университет
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1
директор астрономической обсерватории
ИГУ, доцент
Институт солнечно-земной физики СО
РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126а
старший научный сотрудник
тел.: 8–902–511–54–19

Yazev Sergey Arkturovich,
Ph. D. in Physics and Mathematics,
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
Director of Astronomical observatory
of Irkutsk State University,
Assistant Professor
Institute of Solar-Terrestrial Physics
of SB RAS
126a, Lermontova str., Irkutsk, 664033
senior researcher
tel.: 8–902–511–54–19