

К ВОПРОСУ О СЕВЕРО-ЮЖНОЙ АСИММЕТРИИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В 25-М ЦИКЛЕ ШВАБЕ-ВОЛЬФА

© 2024 г. С. А. Язев^{1,2,*}, Е. С. Исаева¹, В. М. Томозов²,
К. И. Иванов¹, Б. Хос-Эрдэнэ^{1,3}

¹Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

²Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

³Институт астрономии и геофизики МАН, Улаан-Баатар, Монголия

*E-mail: syazev@gmail.com

Поступила в редакцию 20.06.2024 г.

После доработки 08.07.20 г.

Принята в печать 15.08.2024 г.

Выполнен анализ северо-южной асимметрии (NSA) расположения групп солнечных пятен и вспышек на фазе роста 25-го цикла Швабе-Вольфа солнечной активности. Активность пятен на протяжении первых четырех лет развития цикла нарастала квазисинхронно в северном и южном полушариях, модуль коэффициента NSA в этот период снижался от 0.6 до 0.2. Долготное распределение пятен во второй половине 2023 г. было неравномерным и сходным в обоих полушариях, группы пятен возникали в этот период преимущественно в долготных интервалах 30–100°, а также 200–280°, на остальных долготах активность была пониженной, как в северном, так и в южном полушариях. Количество вспышек всех классов составило 45% в северном полушарии, 42% в южном, 13% из них не отождествлены. Вспышечный индекс распределился между полушариями в соотношении 49.5% к 42%, 8.5% – не отождествлены. Сравнение с 24-м циклом показывает, что NSA в распределении пятен и вспышек между северным и южным полушариями в текущем (25-м) цикле существенно ниже, чем в предыдущем. Высокая степень симметрии активности может обеспечить большую высоту 25-го цикла по сравнению с 24-м, а также одновершинность 25-го цикла. Выдвинута гипотеза о том, что в 25-м цикле наблюдается более высокий уровень дипольной четности глобального магнитного поля по сравнению с 24-м циклом.

Ключевые слова: Солнце, солнечные пятна, вспышки, северо-южная асимметрия

DOI: 10.31857/S0004629924120086 EDN: IBVUPZ

1. ВВЕДЕНИЕ

В классических моделях, описывающих феномен квазиодинадцатилетней цикличности солнечной активности, изначально предполагалась симметричность проявлений последней относительно гелиоэкватора. Однако синоптические наблюдения, выполненные преимущественно во второй половине XX в., указывали на многочисленные факты явно неслучайных отклонений от ожидаемой симметрии. Описанию наблюдаемых проявлений северно-южной асимметрии (далее NSA) и анализу ее возможных физических механизмов на сегодняшний день посвящено множество работ (например, [1–6]).

Наблюдения показывают, что NSA действительно присутствует в квази-одиннадцатилетних циклах (циклах Швабе-Вольфа), демонстрируя разные варианты этого эффекта. Современные модификации модели динамо учитывают и описывают NSA [2–3, 6]. Тем не менее, параметры данного эффекта пока не поддаются прогнозированию и заметно отличаются

от цикла к циклу, а также варьируют в пределах одного цикла.

Настоящая работа посвящена анализу эффекта NSA в текущем 25-м цикле солнечной активности.

2. МЕТОДИКА

Развитие циклов Швабе-Вольфа, как правило, рассматривается на основе усредненных данных с помощью формулы (1) [7],

$$\tilde{W}_i = \left(\sum_{i=6}^{i+5} W_i + \sum_{i=5}^{i+6} W_i \right) / 24 \quad (1)$$

где W_i – среднемесячное число Вольфа для месяца с номером i . В настоящее время вместо значений W используется так называемое международное число солнечных пятен R (версия 2.0), значения которого примерно в 1.45 раза превышают значения W (версия 1.0) [8].

Использование для анализа слаженного по формуле (1) среднемесячного индекса R позволяет выявлять

наиболее характерные параметры солнечных циклов – продолжительность, высоту цикла, длительность фаз роста и спада. Именно значениями сглаженных индексов обычно описывают циклы Швабе–Вольфа.

Тем не менее, при анализе тонкой структуры циклов, усреднение по 13 точкам, предусмотренное формулой (1), приводит к потере информации о многих важных деталях развития циклов, которые могут оказаться существенными. В связи с этим анализ развития текущего 25-го цикла в сопоставлении с предыдущим 24-м циклом выполнен по не-сглаженным среднемесячным значениям индекса R , а некоторые параметры – по ежедневным значениям R .

Для численного описания степени северно-южной асимметрии применяется коэффициент асимметрии K

$$K = (N_n - N_s) / (N_n + N_s), \quad (2)$$

где N_n – значение выбранного индекса в северном полушарии, N_s – в южном полушарии в данном месяце. Модуль максимально возможного значения K равен 1, когда в одном из полушарий есть пятна, а в другом их нет. Такая ситуация нередко наблюдается в начале и в конце цикла. Кроме того, $K = 0$ при равном значении анализируемого индекса в обоих полушариях.

Для анализа использовались ежемесячные и ежедневные значения индекса R , представленные в [9], а также данные о рентгеновских вспышках,

полученные спутниками серии GOES и доступные на сайте www.xras.ru.

3. СЕВЕРНО-ЮЖНАЯ АСИММЕТРИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В 25 ЦИКЛЕ

На рис. 1 приведены вариации среднемесячных значений R в 25-м цикле с января 2020 г. по март 2024 г. включительно, верхние столбики относятся к северному полушарию, нижние столбки (им для наглядности приписаны отрицательные значения) – к южному. Из графика видно, что активность пятен в 25-м цикле развивалась в целом квазисимметрично относительно гелиоэкватора. Как в северном, так и в южном полушарии на фазе роста (начиная со значений $R > 30$) наблюдались «импульсы активности» продолжительностью 6–7 месяцев, завершавшиеся спадом активности (локальным минимумом) продолжительностью около 1 месяца. Указанные локальные минимумы наблюдались квазисинхронно (с точностью до 1–2 месяцев) в обоих полушариях.

При этом по мере развития цикла синхронизация импульсов в северном и южном полушариях нарастала: если локальный N-минимум наблюдался в августе 2022, а близкий к нему S-минимум состоялся в ноябре 2022 (спустя два месяца), то следующие

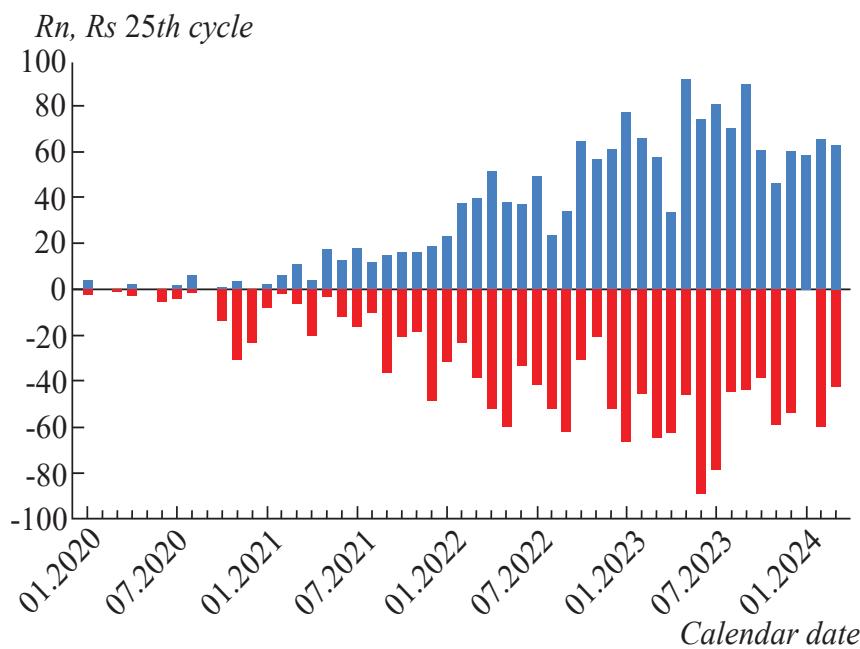


Рис. 1. Изменения среднемесячного индекса R в 25-м цикле солнечной активности. Северное полушарие — вверху, значениям в южном полушарии приписаны отрицательные значения.

N-и S-минимумы отмечены соответственно в апреле и мае 2023, а затем в ноябре и октябре 2023 г.

На рис. 2 приведены пообратные значения коэффициента асимметрии K для числа групп пятен в северном и южном полушариях в период с кэррингтоновского оборота 2219 (июль 2019 г.) по 2280 оборот (январь–март 2024 г.).

На рис. 2 видно, что естественные для начала года максимальные значения K (когда редкие группы пятен появляются попеременно то в северном, то в южном полушариях) постепенно сменяются на

малые значения K (модуль $K < 0.4$), что соответствует квазисимметричному расположению пятен относительно экватора.

Изменения модуля K за тот же период времени приведены на рис. 3.

Значения модуля K систематически уменьшаются по мере развития цикла, варьируя в пределах 0.1–0.3.

На рис. 4 показан ход ежедневных значений R в период с 1 мая 2023 г. по 31 января 2024 г.

График убедительно показывает, что по крайней мере в представленном на рисунке интервале времени

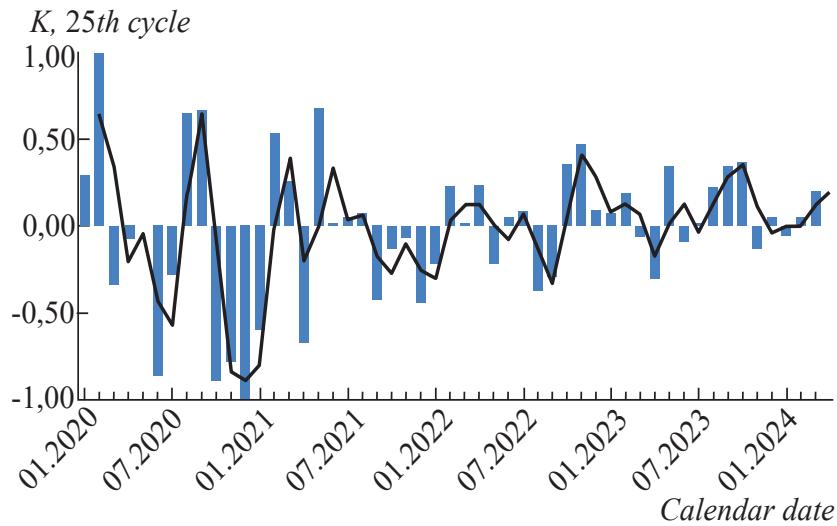


Рис. 2. Значения K для количества групп пятен в течение 2219–2280 кэррингтоновских оборотов.

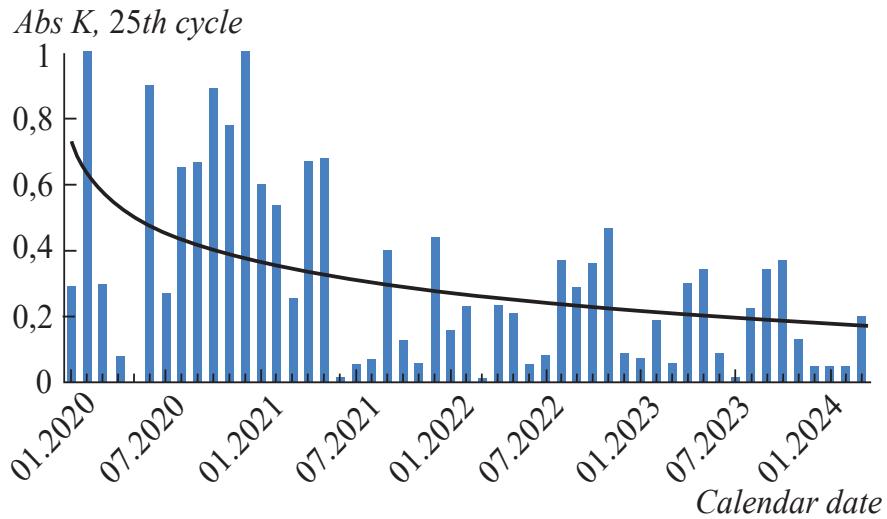


Рис. 3. Значения модуля K для количества групп пятен в течение 2219–2280 кэррингтоновских оборотов.

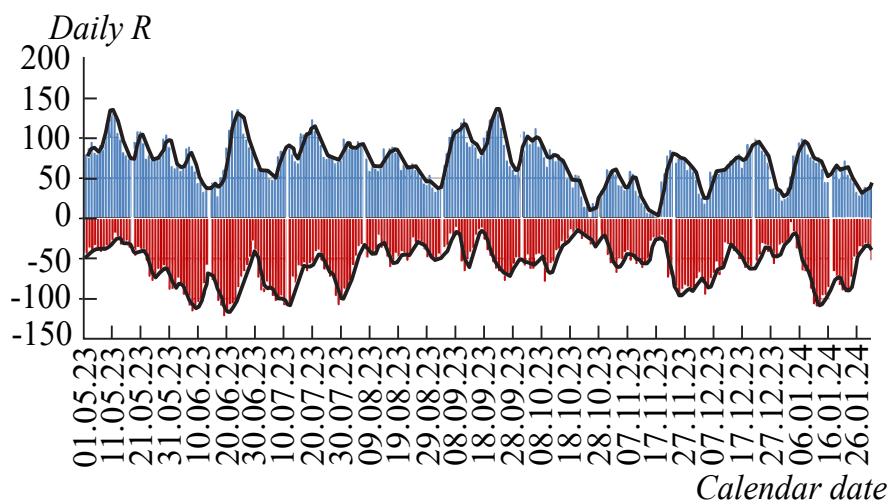


Рис. 4. Ход ежедневных значений R в период с 01.05.2023 по 31.01.2024. Синий цвет — северное полушарие, красный — южное, значениям южного полушария приписаны отрицательные значения. Жирные вертикальные линии соответствуют моментам, когда центральный меридиан соответствовал нулевой кэррингтоновской долготе.

активность пятен развивалась в значительной степени симметрично относительно гелиоэкватора: росту значений R в северном полушарии практически всегда соответствовал рост значений в южном полушарии. График указывает на существенную неравномерность распределения активности пятен по долготе, при этом северно-южная симметрия сохранялась. Группы пятен возникали в это период преимущественно в долготных интервалах $30\text{--}100^\circ$, а также $200\text{--}280^\circ$, на остальных долготах активность была пониженной, как в северном полушарии, так и в южном.

4. СРАВНЕНИЕ СЕВЕРНО-ЮЖНОЙ АСИММЕТРИИ АКТИВНОСТИ ПЯТЕН В 24-М И 25-М ЦИКЛАХ

Ход индекса R в 24-м (черный цвет) и 25-м (красный) циклах приведен на рис. 5. По оси абсцисс отложены месяцы от начала цикла, точки начала циклов (январь 2009 и январь 2020 г.) совмещены. Последняя точка для 25-го цикла — март 2024 г.

Общий характер изменений параметра R на протяжении первых 44 месяцев развития циклов можно считать сходным. Однако, начиная с 45 месяца (в 24-м цикле это сентябрь 2011 г.) начинается резкий подъем значения индекса R , который привел к пиковому значению $R = 139.1$ в ноябре 2011 г. (47-й месяц от начала 24 цикла). Этот всплеск, завершившийся на 50-м месяце (февраль 2012 г.) глубоким локальным провалом до значения $R = 47.8$, первоначально был воспринят исследователями как максимум цикла, поскольку после него на протяжении 51–70 месяцев (вплоть до октября 2013 г.) уровень R варьировал

в пределах от 54 до 120 (в среднем около 80), не превышая достигнутого ранее уровня. Однако, на 74 месяце развития цикла (февраль 2014) в значительной степени неожиданно наблюдался сильный локальный всплеск до значения $R = 146.1$, превышавший значение первого максимума в ноябре 2011. Сглаживание по формуле 1 привело к выводу о двухвершинном характере цикла № 24, и по формальным показателям оказалось, что максимум цикла был достигнут в 2014 г., что выглядело как определенная аномалия: в результате получилось, что фаза роста 24-го цикла превышает по продолжительности фазу спада, что на статистике «достоверных циклов» [11] никогда не наблюдалось. В то же время рассмотрение фактора NSA в 24-м цикле позволяет несколько иначе интерпретировать ход цикла.

Первый максимум R в ноябре 2013 г. обеспечен увеличением активности пятен в северном полушарии, тогда как в южном полушарии аналогичный всплеск не наблюдался. Напротив, второй (основной) максимум в феврале 2014 г. обусловлен резким увеличением уровня активности пятен в южном полушарии Солнца при сравнительно невысокой активности северного полушария. Таким образом, можно констатировать существенное фазовое рассогласование наступления максимума активности в северном полушарии (ноябрь 2011 г.) и в южном полушарии (февраль 2014 г.). С этой точки зрения следует не просто выбрасывать из рассмотрения первый максимум цикла в конце 2011 г., а указывать на наличие двух независимых

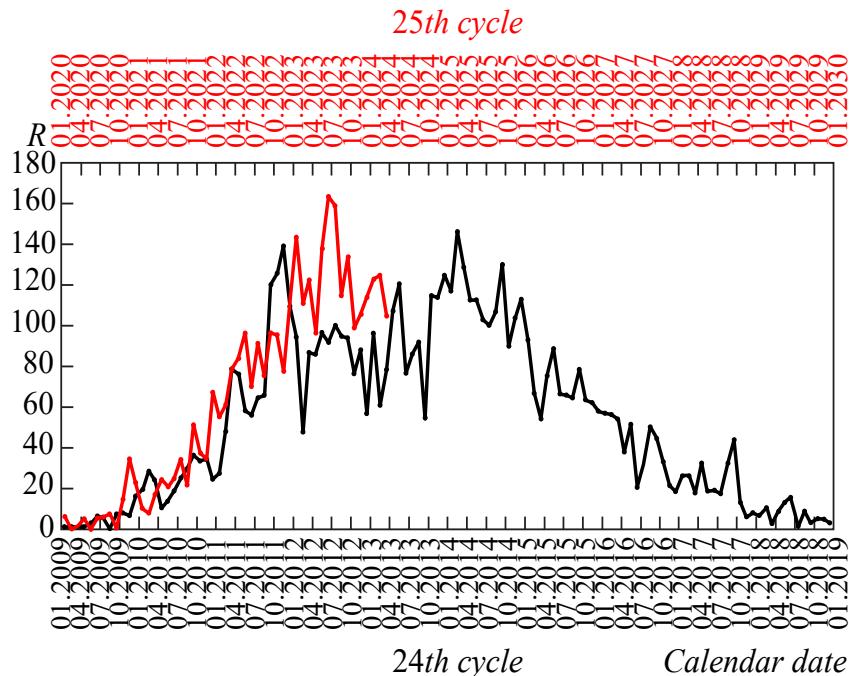


Рис. 5. Ход развития 24-го (черный цвет) и 25-го (красный цвет) циклов солнечной активности

максимумов цикла в северном и южном полушариях, разнесенных на 15 месяцев.

В отличие от 24-го цикла, в 25-м цикле наблюдается высокая степень симметрии развития активности в южном и северном полушариях. Различия иллюстрируются рис. 6 а, б.

Из рис. 6б следует, что на фазе роста 25-го цикла скорость увеличения значений индекса R в обоих полушариях была сходной, а начиная примерно с 35 месяца (май 2023 г.) изменения R происходили квазикоррелировано в северном и южном полушариях.

Что касается 24-го цикла (рис. 6а), то здесь подобное соответствие не наблюдается, и, начиная с 41-го месяца, кривые колеблются в противофазе.

5. АСИММЕТРИЯ ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В 24-М И 25-М ЦИКЛАХ

В табл. 1 приведены данные о вспышечной активности в 24-м и 25-м циклах на протяжении первых 51-го месяца от начала циклов. Здесь указано количество вспышек раздельно по полушариям, а также оценена их суммарная энергетика. Энергетику вспышек можно оценить с помощью вспышечного индекса F . Напомним, что для обозначения вспышек используется следующая классификация, в соответ-

ствии с которой максимальные интенсивности рентгеновского излучения вспышки лежат в пределах

$$(1-9) \times 10^{-6} \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ — (класс C),}$$

$$(1-9) \times 10^{-5} \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ — (класс M),}$$

$$(1-n) \times 10^{-4} \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ — (класс X),}$$

где n ограничено возможностями сенсора. Малыми или слабыми называются все вспышки баллов С и меньше, средними — вспышки в пределах от M1 до M4.9 ($M1-10^{-5} \text{ Вт}/\text{м}^2$, $M4.9-4.9 \times 10^{-5} \text{ Вт}/\text{м}^2$). Вспышки класса больше M5 ($M5-5 \times 10^{-5} \text{ Вт}/\text{м}^2$) относятся к разряду сильных. Запись (например) «вспышечный индекс данной вспышки равен M6.7» означает, что излучение в максимуме ее развития достигло значения $6.7 \times 10^{-5} \text{ Вт}/\text{м}^2$, а соответствующая вспышка может быть отнесена к разряду сильных.

В данной работе значения вспышечного индекса F определялись следующим образом. Запись (например) «вспышечный индекс данной вспышки равен C6.1» означает, что излучение в максимуме ее развития достигло значения $6.1 \times 10^{-6} \text{ Вт}/\text{м}^2$, и этому событию приписывается значение вспышечного индекса 0.061 (в случае вспышки M6.1 — значение $F = 0.61$, в случае вспышки X6.1 — значение $F = 6.1$). Суммарный вспышечный индекс данной АО вычисляется как сумма значений индексов всех вспышек, наблюдавшихся в данной АО. При этом надо всегда иметь в виду, что часть вспышек в большинстве слу-

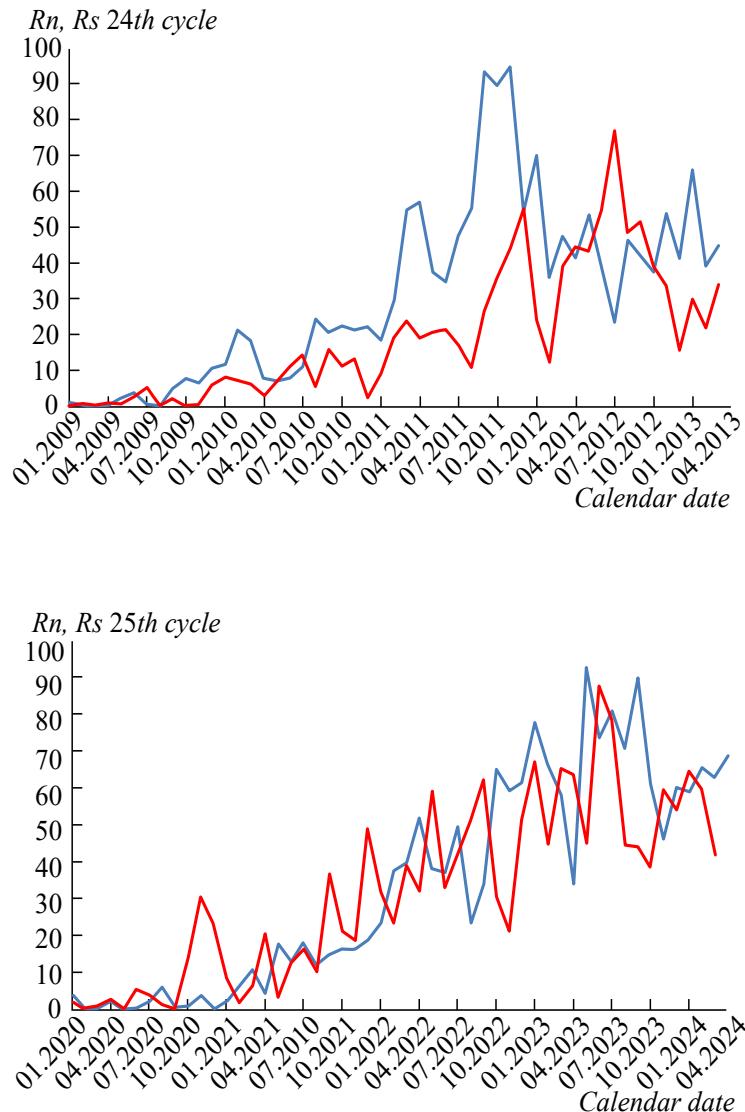


Рис. 6. Изменение индекса R в 24-м (а) и 25-м (в) циклах на протяжении первых 52 месяцев от начала цикла. Синий цвет — северное полушарие, красный — южное.

Таблица 1. Некоторые характеристики вспышечной активности в 24-м и 25-м циклах.

	24 цикл	25 цикл
Всего вспышек	3194	6917
Вспышек в северном полушарии	1585 (50%)	3092 (45%)
Вспышек в южном полушарии	1121 (35%)	2912 (42%)
Вспышек с неотождествленной локацией	488 (15%)	913 (13%)
Суммарный вспышечный индекс	172	410
Вспышечный индекс в северном полушарии	100 (58%)	203 (49,5%)
Вспышечный индекс в южном полушарии	60 (35%)	172 (42%)
Вспышечный индекс вспышек с неотождествленной локацией	12 (7%)	35 (8.5%)

чае остается неучтенной, если они происходили на обратной по отношению к Земле стороне Солнца.

Прежде всего, обращает на себя внимание существенное различие в общем количестве вспышек всех типов в 24-м и 25-м циклах. Число вспышек в текущем 25-м цикле за сходные периоды времени более чем вдвое превышает соответствующий параметр в предыдущем, 24-м цикле. Степень асимметрии вспышечной деятельности также заметно различается: в 24-м цикле превалировало северное полушарие (50%), в южном полушарии наблюдалось 35% вспышек. Кроме того, 15% вспышек формально признаны неотождествленными (в большинстве случаев это вспышки за лимбом, которые не удалось достоверно привязать к конкретным активным областям, поэтому неизвестно, в каком полушарии они происходили). Аналогичные параметры для 25-го цикла составляют 45, 42 и 13% соответственно, что указывает на существенно меньшую степень северно-южной асимметрии в продуктивности вспышек в текущем цикле.

Как следует из табл. 1, суммарный вспышечный индекс за первый 51 месяц развития цикла составил 172 в 24-м цикле и 410 в 25-м цикле. При этом в обоих циклах превалировало северное полушарие, но эффект NSA был существенно заметнее в 24-м цикле: 58% / 35% в 24-м цикле (7% у неотождествленных вспышек), 49.5% / 42% в 25-м цикле (8.5% – неотождествленные вспышки).

Таким образом, количество вспышек и их суммарная энергетика демонстрируют значительно меньшую степень северно-южной асимметрии в 25-м цикле по сравнению с 24-м.

6. ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Вопросу изучения феномена NSA посвящено множество работ (см., например, монографию [8] и приведенный в соответствующем разделе (стр. 176–178) перечень ссылок на публикации, начиная с 1955 г.). Целый ряд работ описывает проявления NSA в распределениях солнечных пятен, вспышек, протуберанцев, радиовсплесков, и даже корональных дыр [12] и т.д. Замечено [8], что эффект NSA для числа солнечных пятен всегда отмечается на фазе спада цикла, при этом до 1970 г. доминировало северное полушарие, затем знак коэффициента асимметрии изменился. В работе [13] по данным RGO/USAF/NOAA установлена связь между северно-южной асимметрией образования солнечных пятен и амплитудой 11-летних циклов. Показано, что чем выше амплитуда солнечного цикла, тем меньше абсолютная величина коэффициента NSA.

Выявленная закономерность исследована и теоретически обоснована с помощью численной модели динамики в варианте нерегулярных изменений альфа-эффекта.

Большое исследование посвящено изучению феномена NSA на долговременной шкале, охватывающей интервал в 2000 лет [4]. В качестве данных взята информация из каталогов низкоширотных полярных сияний. В рамках принятой модели восстановлены временные вариации NSA, выполнены оценки ее периодичности и связи с уровнем солнечной активности. Сделан вывод, что величина NSA квазипериодически меняется скорее в противофазе с циклами Швабе–Вольфа (период в пределах 8–16 лет), Брюкнера (30–50 лет), Гляйссберга (65–110 лет), Зюсса (150–210 лет) и Линка (380–420 лет). Диапазоны вариаций длительности циклов оказались шире для параметра NSA, чем для солнечной активности, выраженной индексами пятнообразования. Таким образом, феномен NSA, несомненно, характерен для солнечной активности в целом, и должен учитываться в теоретических моделях.

Поскольку базовой концепцией, описывающей солнечную активность, является теория динамики, в современных ее вариантах выполнен поиск параметров, которые должны привести к появлению феномена NSA. Так, например, упомянутая выше закономерность (высокий уровень NSA характерен для пониженного уровня солнечной активности и наоборот) исследована в [13] с применением численной модели динамики, в которую были заложены нерегулярные изменения параметров альфа-эффекта. В работе [2] в модель динамики введена случайная зависимость механизма генерации полоидального поля от времени и широты. Расчеты показали, что в результате возможно появление целых эпох, для которых характерны крайне низкие амплитуды магнитных циклов типа гранд-минимума Маундера. Модель показала корреляцию гранд-минимумов с отклонениями от дипольной четности солнечного динамика. Был сделан вывод о том, что нарастающий уровень NSA (статья написана во время 24-го цикла) может указывать на приближение очередной эпохи гранд-минимума.

Так, малая амплитуда 24-го цикла в совокупности с его сильной асимметрией привела к появлению прогнозов смены режима солнечной активности и перехода в состояние очередного гранд-минимума в ближайшее время (возможно, уже во время 25-го цикла). Можно заметить, что фактические пара-

метры развития текущего цикла указывают на то, что этот прогноз оказался неверным.

Применение мощных статистических методов позволило выявить в вариациях уровня NSA регулярной долговременной составляющей [5].

В работе [3] рассмотрена северно-южная асимметрия процесса обращения полярного магнитного поля (переполюсовки) в 24-м цикле в рамках модифицированной модели Бэбкока-Лейтона. Поскольку вклад магнитного поля в северном полушарии значительно превышал вклад южного полушария, это обстоятельство рассматривалось как возможная причина более раннего обращения северного полярного поля во время начальной стадии цикла.

В работах [14, 1] проанализирована возможность объяснения феномена NSA фазовым сдвигом между циклами активности полушарий.

В работе [15] эффект NSA рассмотрен отдельно для активных областей двух разных морфологических типов в двухвершинных 23-м и 24-м циклах – регулярных биполярных активных областей (АО) и всех прочих (нерегулярных). Оба типа АО продемонстрировали сильную асимметрию, подтвержденную статистическим методами. Показано, что в обоих рассмотренных циклах в южном полушарии было больше нерегулярных АО. Для объяснения этой особенности была предложена гипотеза об ослаблении тороидального магнитного поля из-за взаимодействия между дипольной и квадрупольной компонентами глобального поля Солнца.

Кратко отметив полученные за последние десятилетия ключевые результаты, касающиеся проявлений эффекта NSA в солнечной активности, вернемся к ситуации в текущем 25-м цикле. Изложенные в предыдущих разделах настоящей работы данные свидетельствуют о том, что уровень NSA на фазе роста текущего цикла оказался значительно ниже, чем в предыдущих циклах. Можно констатировать следующие особенности, касающиеся первых четырех лет развития 25-го цикла:

- рост уровня активности пятен, выраженный в единицах среднемесячных значений Международного относительного числа солнечных пятен R , происходил квазисинхронно в северном и южном полушариях. В северном полушарии рост шел более регулярно, в виде четырех последовательных «импульсов активности» с характерной продолжительностью 6 месяцев. В южном полушарии эта закономерность выражена не так явно, но локальные ми-

нимумы здесь наблюдались квазисинхронно с ситуацией в северном полушарии (рис. 1);

- среднее численное значение модуля коэффициента асимметрии хода числа R в обоих полушариях постепенно уменьшалось со временем от более чем 0.6 до менее чем 0.2 (рис. 3). При этом наблюдалось квазипериодическое изменение знака R (см. рис. 2).

- ход ежедневных значений индекса R демонстрирует сходный характер поведения значений в северном и южном полушариях. Это означает, что долготная неравномерность распределения групп пятен носит сходный характер в обоих полушариях: и повышенное, и пониженное количество пятен наблюдалось одновременно в обоих полушариях в одних и тех же долготных интервалах. При этом более ярко были выражены интервалы, где и на севере, и на юге практически отсутствовали пятна («пассивные долготы»). Такие интервалы пониженной активности пятен наблюдались на протяжении как минимум 4–6 месяцев подряд.

- сравнение вспышечной активности в северном и южном полушариях за первые 4 года цикла показывает, что и по числу вспышек, и по суммарному вспышечному индексу превалировало северное полушарие, однако различие в обоих случаях было не столь существенным, как в предыдущем 24-м цикле (см. табл. 1).

За последние полвека циклы с номерами 21–24 демонстрировали последовательно нарастающий уровень NSA. Наибольшую степень асимметрии продемонстрировал 24-й цикл, где существенно различались общие контуры цикла в северном и южном полушариях, включая продолжительность фаз роста, максимума и спада. Расфазировка достигла 15 месяцев между максимальным значением числа R в северном полушарии (2012 г.) и в южном полушарии (2014 г.). Такое развитие цикла привело к наиболее ярко выраженной среди нескольких последних циклов величине двухвершинности. Кроме того, в 23-м цикле описан эффект своеобразного «принципа дополнительности» для комплексов активности [16]: если в северном полушарии сформировался мощный комплекс активности, то на тех же долготах через экватор активность была пониженной. Сходные закономерности (хотя не всегда) наблюдались и в 24-м цикле. Что касается 25-го цикла, то такое свойство в текущем цикле на протяжении первых четырех лет не проявляется: повышенная активность пятен наблюдалась в обоих полушариях в одних и тех же долготных интервалах.

Учитывая отмеченную выше закономерность, связывающую в рамках модели динамо повышенное

значение NSA в 24-м цикле с ожидавшимся пониженным уровнем солнечной активности в целом [2, 13], можно было предположить, что 25-й цикл будет низким (ниже 24-го), а соответствующий уровень NSA окажется сходным либо даже более высоким (хотя надо отметить, что согласно правилу Гневышева-Оля, 25-й цикл должен превзойти по высоте цикл предыдущий). Тем не менее, низкий уровень NSA в 25-м цикле, как на уровне среднемесячных, так и ежедневных значений, оказался в известном смысле неожиданным. Это обстоятельство приводит, как минимум, к двум выводам.

Во-первых, отсутствие расфазировки хода цикла по полушариям приводит к одновременному росту активности в обоих полушариях на фазе максимума цикла, а значит, и к более высокому значению R в максимуме цикла (в отличие от 24-го цикла, отличавшегося значительной расфазировкой в ходе развития цикла в разных полушариях).

Во-вторых, отсутствие расфазировки является фактором, который способствует реализации одновершинной формы цикла (опять-таки по сравнению в 24-м циклом). Факт низкого значения NSA заставляет предположить, что 25-й цикл активности окажется либо одновершинным, либо мало отличающимся от одновершинного.

В-третьих, возвращаясь к причинам изменений в режиме NSA, можно предположить, что в 25-м цикле восстановилась дипольная четность глобального магнитного поля.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (субсидия № 075-Г3/113569/278).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны Мировому центру анализа данных SILSO за возможность открытого доступа к данным о солнечных пятнах на основе мировой сети обсерваторий, Лаборатории солнечной астрономии и гелиофизического приборостроения ИКИ РАН и ИСЗФ СО РАН) за предоставленную возможность использования данных о рентгеновских вспышках на

Солнце на сайте www.xras.ru по данным спутников NASA серии GOES, а также Л.Л. Кичатинову и В.В. Пипину за полезные консультации.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. N.V. Zolotova, D.I. Ponyavin, N. Marwan, J. Kurths, Astron. and Astrophys. 503, 197–201 (2009).
2. S.V. Olemskoy, L.L. Kitchatinov, Astrophys. J. 777, 1, 71–79 (2013).
3. Л.Л. Кичатинов, А.И. Хлыстова, Письма в АЖ 40, №10, 729–732 (2014).
4. Yu.A. Nagovitsyn, A.I. Kuleshova, Geomagnetism and Aeronomy 55, 7, 887–891 (2015).
5. D. Ratul, G. Aparup, B.K. Bidya, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. 511, 1, 472–479 (2022).
6. L.L. Kitchatinov, A.I. Khlystova, Astrophys. J. 919, 1, 36–45 (2021).
7. Плазменная гелиогеофизика (М.: ФИЗМАТЛИТ, ред. Л.М. Зеленого, И.С. Веселовского, том 1, 672, 2008).
8. В.Н. Обридко, Ю.А. Наговицын Солнечная активность, цикличность и методы прогноза (СПб.: Изд-во ВВМ, 466, 2017).
9. Sunspot Index and Long-term Solar Observations: <https://www.sidc.be/SILSO/datafiles>.
10. Сайт Лаборатории солнечной астрономии ИКИ и ИСЗФ: www.xras.ru.
11. В.Н. Ишков Солнечная и солнечно-земная физика (СПб.: Изд. ВВМ, ред. Ю. А. Наговицын, 111–114, 2013).
12. O. Andreeva, Advances in Space Research 71, 4, 1915–1921 (2023).
13. S.V. Latyshev, S.V. Olemskoy, Astronomy Letters 42, 7, 488–494 (2016).
14. A.S. Shibalova, V.N. Obrikko, D.D. Sokoloff, Astronomy Reports 60, 10, 949–953 (2016).
15. A.V. Zhukova, D.D. Sokoloff, V.I. Abramenco and A.I. Khlystova Adv. in Space Research, 71, 4, 1984–1994 (2021).
16. С.А. Язев Феномен комплексов активности (Иркутск, изд-во ИГУ, 377, 2014).

TO THE QUESTION OF NORTH-SOUTH ASYMMETRY OF SOLAR ACTIVITY IN THE 25TH SCHWABE-WOLF CYCLE

S. A. Yazev^{1,2,*}, E. S. Isaeva¹, V. M. Tomozov², K. I. Ivanov¹, B. Hos-Erdene^{1,3}

¹*Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

²*Institute of Solar-Terrestrial Physics of the Siberian Branch of the RAS, Irkutsk, Russia*

³*Institute of Astronomy and Geophysics MAS, Ulaan-Baatar, Mongolia*

*E-mail: syazev@gmail.com

An analysis of the north-south asymmetry (NSA) of the groups of sunspots and flares location during the growth phase of the 25th Schwabe-Wolf cycle of solar activity was performed. During the first four years of the cycle's development, sunspot activity increased quasi-synchronously in the northern and southern hemispheres; the module of the NSA coefficient during this period decreased from 0.6 to 0.2. The longitudinal distribution of sunspots in the second half of 2023 was uneven and similar in both hemispheres; groups of sunspots appeared during this period mainly in the longitudinal intervals of 30–100°, as well as 200–280°, at other longitudes activity was reduced, as in the northern, and in the southern hemispheres. The number of flares of all classes was 45% in the northern hemisphere, 42% in the southern hemisphere, 13% were not identified. The flare index was distributed between the hemispheres in the ratio of 49.5% to 42%, 8.5% were not identified. A comparison with the 24th cycle shows that NSA in the distribution of sunspots and flares between the northern and southern hemispheres in the current (25th) cycle is significantly lower than in the previous one. A high degree of symmetry of activity can ensure a greater height of the 25th cycle compared to the 24th, as well as the single-peaked nature of the 25th cycle. It is hypothesized that in the 25th cycle there is a higher level of dipole parity of the global magnetic field compared to the 24th cycle.

Keywords: Sun, sunspots, flares, north-south asymmetry