

IX Всероссийская (с международным участием)
научная конференция учащихся имени Н.И. Лобачевского

Секция «Физика и астрономия»

**Исследовательская работа
«Северо-южная асимметрия солнечных пятен и периодические
изменения активности Солнца»**

Артемова Юлия, 10 класс

Направляющая организация:

ГМИК им. К.Э. Циолковского

Научный руководитель:

Алексеев Александр Юрьевич,

научный сотрудник физико-

астрономического отдела ГМИК им. К.Э.

Циолковского

Казань, 2024

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА I. Солнечная активность. Характер влияния на Землю и околоземное космическое пространство	5
ГЛАВА II. ИССЛЕДОВАНИЕ	10
Выводы и заключение	19
Список литературы.....	21
Приложения.....	22

ВВЕДЕНИЕ

Мы живем в планетарной системе, включающей в себя центральную звезду Солнце и все естественные космические объекты на гелиоцентрических орбитах. Наблюдение за Солнцем велось еще в древние времена, так как человечество на протяжении всего своего существования осознавало важность роли небесного светила. Солнце оказывает существенное влияние на нашу планету и на процессы, протекающие на ней в частности. Несмотря на то, что Солнце - ближайшая к нам звезда, человечество еще не располагает достаточным количеством информации о нем, чтобы иметь полное представление о гелиофизике Солнца, а также прогнозировать процессы, протекающие на Солнце с большой точностью, и давать оценку их влиянию на состояние околоземного космического пространства.

Одной из причин является тот факт, что серьезные научные наблюдения и исследования Солнца начались сравнительно недавно. Однако, уже установлено, что практически все явления на нем цикличны, и в той или иной мере связаны с основным циклом. Поэтому представляется возможность выявить единый цикл активности, в котором физически взаимодействуют разные процессы, несколько сдвинутые по времени, но имеющие единый характерный временной масштаб периодичности. Иногда между частотой появления процессов есть значительные сдвиги по времени, иногда они даже происходят в противофазе, но практически нет явлений солнечной активности, в которых отсутствовала бы 11-летняя цикличность. 11-летний цикл («цикл Швабе» или «цикл Швабе-Вольфа») является наиболее заметно выраженным циклом солнечной активности. Этот цикл характеризуется довольно быстрым увеличением числа солнечных пятен, а также другими проявлениями солнечной активности, и последующим, более медленным, его уменьшением. Крупномасштабное магнитное поле Солнца во многом определяет физические процессы в его атмосфере и существенно влияет на пространственно-временную организацию различных проявлений солнечной активности. В частности, мы можем говорить об асимметрии расположения активных областей в северном и южном полушариях Солнца.

Каждый цикл уникален, поэтому представляет интерес с точки зрения ответа на вопрос, что является вариативной нормой в пределах цикла, а что является аномалией. Подобные исследования помогают более глубоко понимать и оценивать циклические процессы, происходящие на Солнце и характер их влияния на нашу планету.

Актуальность темы проекта: Необходимость в оценке и уточнении прогнозов солнечной активности.

Гипотеза: Северо-южная асимметрия солнечных пятен влияет на характер течения цикла солнечной активности.

Объект исследования: Активность Солнца

Предмет исследования: Северо-южная асимметрия солнечных пятен и ее связь с характером течения цикла.

Цель проекта: Установка статистических закономерностей между количеством солнечных пятен в северном и южном полушариях Солнца и особенностями течения 25 солнечного цикла.

Задачи:

1. Изучить, что представляет собой одиннадцатилетний цикл солнечной активности
2. Ознакомиться с данными, которые были получены в течении предыдущих циклов и какие исследования велись на базе этих данных.
3. Собрать фотографический материал
4. Получить информацию о северо-южной асимметрии солнечной активности в условиях 25 цикла
5. Выявить статистические закономерности
6. Создать прогноз

Методы исследования:

1. На базе обсерватории ГМИК им. К.Э. Циолковского с помощью телескопа осуществлялись наблюдения за активностью Солнца. Кроме того, велся сбор фотографического материала, на основе которого отслеживалась тенденция развития групп пятен.

2. В работе также использовались классические теоретические и статистические методы исследования, применяемые в гелиофизике: анализ и синтез данных, статистика, вычисление корреляции. Основной результат исследования основывается на корреляционном анализе. Корреляционный анализ – статистический метод, позволяющий с использованием коэффициентов корреляции определить, существует ли зависимость между переменными и насколько она сильна [2].

ГЛАВА I. Солнечная активность. Характер влияния на Землю и околоземное космическое пространство

1.1 Общая характеристика активности Солнца

Солнце рассматривается как переменная звезда ввиду того, что его магнитная активность подвержена периодическим изменениям, как следствие изменяется и светимость. Цикличность солнечной активности является примером переменности, общей для многих звезд. Солнце является источником не только энергии, но и вещества и оказывает непосредственное воздействие на нашу планетарную систему. С каждым годом мы все более остро ощущаем зависимость жизни нашей цивилизации от разнообразных космических факторов. Этому способствует то, что наша цивилизация становится все более и более сложной, многосвязной системой. Как в любой сложной системе, на данном этапе развития существует огромное число связей, нарушение которых может привести к катастрофическим последствиям.

1.2 Индексы солнечной активности

Наблюдая за различными проявлениями солнечной активности, мы располагаем возможностью отслеживать динамику и характер течения процессов, происходящих на звезде, а также оценивать их влияние на космическую погоду. Существуют различные индексы, такие как: поток излучения на различных длинах волн (радиоизлучение, в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах), напряженность магнитного поля в пятнах. Учитываются также индекс вычисленного потока в открытых конфигурациях, число вспышек и корональных выбросов массы. Общим недостатком всех этих индексов является краткость ряда данных, в большинстве случаев данные имеются только за последние два-три цикла [3]. Наиболее длинный – ряд чисел Вольфа (относительное число солнечных пятен). Индекс W был выбран в качестве меры циклической деятельности Солнца и характеристики солнечных циклов.

Данные о пятнах на Солнце представилось возможным получать с изобретением первого телескопа (Галилео Галилей, 1609). Первооткрывателем цикла солнечных пятен был немецкий астроном-любитель аптекарь Генрих Швабе из Дессау. Надеясь открыть планету, более близкую к Солнцу, чем Меркурий, он с 1826 г. в течение 25 лет упорно регистрировал все пятна. Через 17 лет, в 1843 г., он объявил, что число пятен меняется с периодом около 10 лет. Но его открытие осталось без внимания. Только в 1851 г., когда убедительные таблицы Г. Швабе были опубликованы А. Гумбольдтом, открытие признали. Регулярные научные наблюдения начал Рудольф Вольф в 1848 г. в Берне, а затем в Цюрихе

[5]. Анализ пятнообразовательной деятельности позволил ученым заметить циклический характер процессов, происходящих на Солнце (рис. 1).

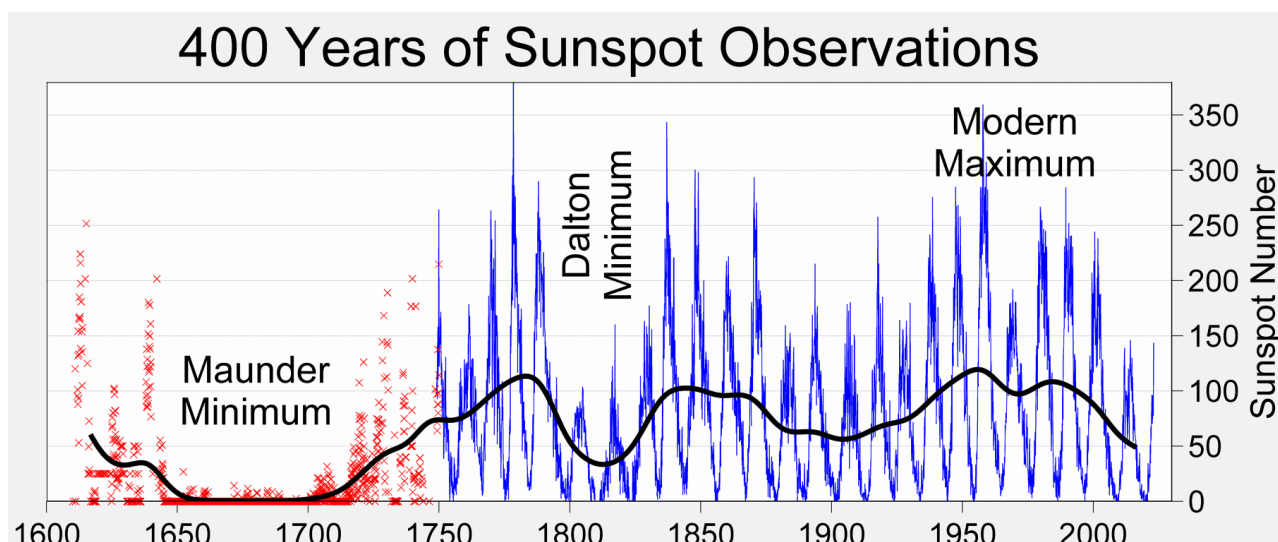


Рисунок 1 – Данные об активности Солнца за всю историю наблюдений [5].

В современной науке используются не только индексы, вводимые для оценки изменений, тенденций и динамики деятельности Солнца в целом, но и более сложные, такие как северо-южная асимметрия, показывающая неоднородность солнечной активности в северном и южном полушариях. Рассматривают асимметрию для любых параметров, которые возможно измерить отдельно для южного и северного полушария Солнца. Асимметрия рассчитывается по формуле $A=(N-S)/(N+S)$, где N и S – значения параметра для северного и для южного полушария Солнца. Северо-южная асимметрия наблюдается во всех индексах солнечной активности. В различных индексах она сходна как на малых, так и на больших временных масштабах [1]. Данное обстоятельство позволяет предположить существование связи с единой компонентой физических процессов на Солнце. Вероятно, такой компонентой является солнечное динамо, а все явления, происходящие на Солнце, связаны с общим 22-х летним магнитным циклом. Пример северо-южной асимметрии для разных параметров представлен на рисунке 2.

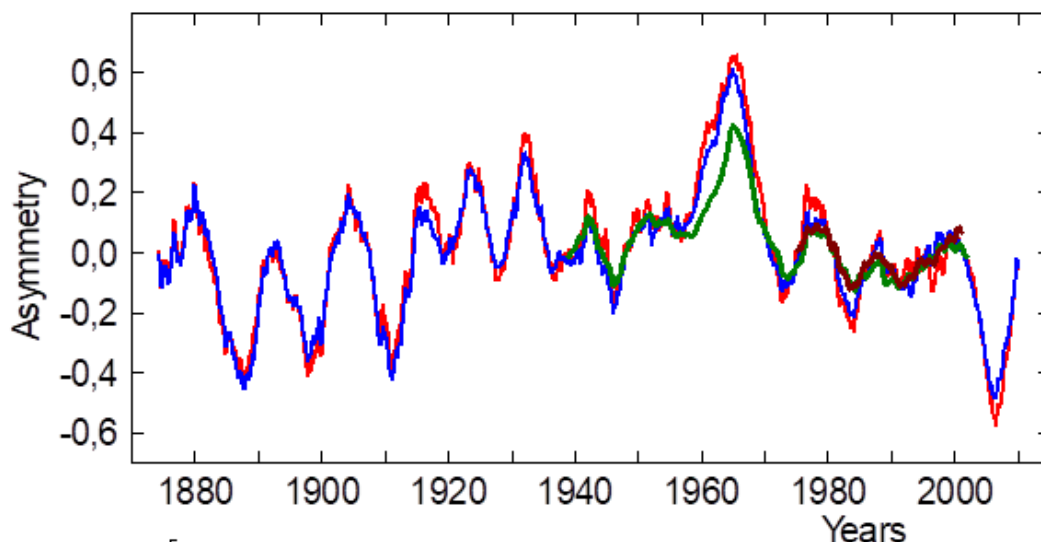


Рисунок 2 – Циклы солнечной активности в разных индексах. Красная линия – площадь пятен, синяя – число пятен, зеленая – яркость зеленой корональной линии, коричневая – магнитный поток [1].

1.3 Суть процессов, происходящих на Солнце, и взаимосвязь с магнитной активностью звезды

Солнечное динамо – физический процесс, обуславливающий формирование и изменения во времени солнечных магнитных полей. Физической сутью солнечного динамо является переход кинетической энергии движения плазмы в магнитную энергию благодаря комплексу электромагнитных и механических процессов. Модель солнечного динамо требуется не столько для объяснения самого факта существования магнитного поля Солнца, сколько для объяснения характера его изменений во времени.

В 1961 году американским астрономом Х.У. Бэбкоком была предложена модель, иллюстрирующая прямую связь между характером временной реорганизации магнитных полей Солнца и солнечными пятнами (механизм Бэбкока – Лейтона) [10]. В начале 22-летнего цикла магнитное поле Солнца имеет вид диполя, ось которого ориентирована вдоль оси вращения Солнца. Дифференциальность вращения звезды приводит к тому, что по мере вращения линии поля, изначально направленные вдоль меридианов, закручиваются в широтном направлении. При этом поле увеличивает свою напряжённость, и магнитная плавучесть поднимает трубки магнитного поля к солнечной поверхности. При поднятии этих трубок над поверхностью фотосферы в ней формируются биполярные области. Из-за подавления конвекции в области всплывших сильных магнитных полей температура и яркость этих областей уменьшается. Таким образом, формируются солнечные пятна, которые выглядят тёмными на более яркой поверхности фотосферы. Пятна нового цикла возникают за несколько лет до минимума на относительно высоких широтах (35–40°). С течением времени зона пятнообразования перемещается на все более низкие широты.

ты, приближаясь к экватору (законом Шперера). Первые пятна нового цикла появляются до минимума текущего, то есть раньше, чем исчезают пятна предыдущего цикла [6].

Физические исследования солнечных пятен начались в 1908 г., когда Дж. Хейл по измерению магнитного расщепления в спектральных линиях солнечных пятен установил, что в пятнах присутствует сильное магнитное поле. Пятна объединяются в группы, в которых пятно биполярной области, расположенное по ходу вращения имеет ту же полярность, что и общее дипольное магнитное поле в данном полушарии, другое же пятно — противоположную полярность. Хейл установил, что полярность солнечных пятен в каждом полушарии меняется на с началом нового 11-летнего цикла. Таким образом два последовательных 11-летних цикла имеют противоположную полярность (правило полярности Хейла) и объединяются в один 22-летний магнитный цикл (правило Гневашева — Оля). Обычно четный цикл является менее мощным, чем следующий за ним нечетный, а крупномасштабные солнечные события происходят практически на пике цикла или в период его спада. Можно наблюдать удивительное постоянство в основных проявлениях развития отдельных 11- и 22-летних солнечных циклов и структуры их цикличности. На основе имеющейся статистики также прослеживается периодическая смена эпох «пониженной» (циклы 12 – 16) и «повышенной» (18 – 22) солнечной активности. Между этими эпохами наблюдаются переходные периоды (11, 23 и 17) [3].

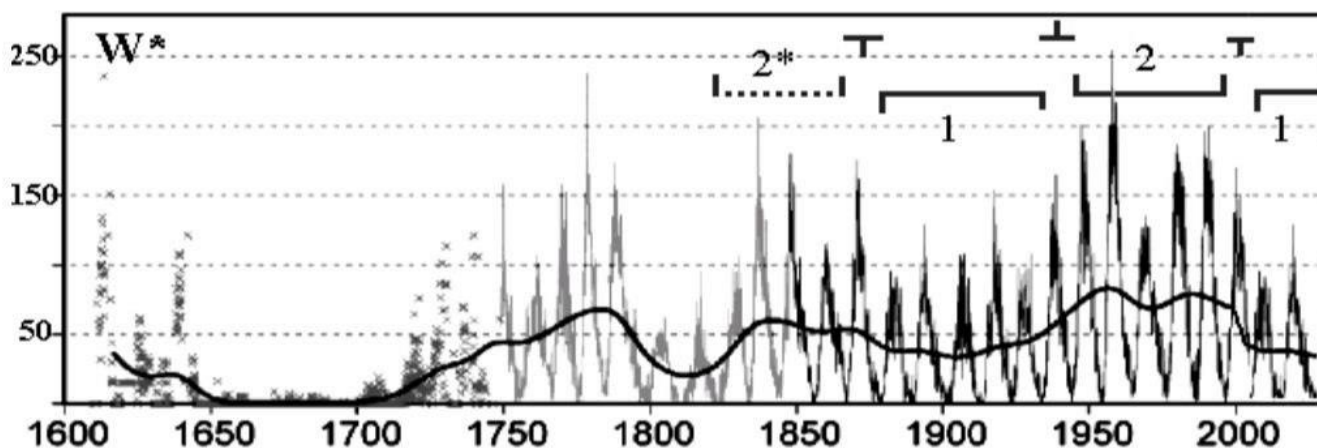


Рисунок 3 — Достоверный ряд относительных чисел солнечных пятен с границами структурных эпох «пониженной» (1) и «повышенной» (2) солнечной активности с переходными периодами между ними. Вероятный период «повышенной» солнечной активности (2*), включающей солнечные циклы 9 – 6 [3].

Данная модель солнечного динамо дает возможность судить о тенденциях поведения звезды по визуальным параметрам. Уже имеются данные о некоторых взаимосвязях ком-

понент одного цикла n и цикла $n+2$. В исследовании [6] показано, что пик активности южного полушария цикла n коррелирует со временем нарастания, а общий пик активности цикла n коррелирует со временем спада цикла $n + 2$. Указано, что эти результаты позволяют предположить, что солнечное динамо хранит память по меньшей мере три солнечных цикла. Также установлено, что площадь пятен южного полушария Солнца коррелирует с временем роста цикла $n+2$. Обнаружение корреляции между параметрами важно для получения полной картины механизма, лежащего в основе солнечного цикла. Предсказание амплитуды и продолжительности солнечного цикла важно также для мониторинга космической погоды и для понимания солнечно-земных связей.

ГЛАВА II. ИССЛЕДОВАНИЕ

2.1 Обработка снимков Солнца и получение данных об пятнообразовательной деятельности

2.1.1 Получение фотографий Солнца

Для данного исследования был сделан выбор в пользу общего числа пятен в качестве исследуемого параметра солнечной активности по нескольким причинам. Во-первых, для получения необходимых данных не требуется сложного оборудования. Пятна можно наблюдать даже с помощью простейших телескопов (с использованием фильтра, разумеется). Во-вторых, доступность визуального анализа. В-третьих, на данный момент мы располагаем наибольшим количеством визуальных данных о пятнообразовательной деятельности, что является хорошей основой для поиска закономерностей и взаимосвязей. Каждый новый цикл активности добавляет существенное количество новых данных к существующим рядам, и поэтому очень ценится астрономами.

Нами была проведена фотосъемка Солнца в 25 цикле солнечной активности (в период с 19 марта по 11 октября) с целью подтверждения возможности проводить исследования на базе собственных данных. Данные были получены с помощью фотоаппарата Canon EOS R и телескопа TEC APO 250VT f/8.8 Fluorite Apochromat (фокусное расстояние 2200 мм, диаметр объектива 250 мм) астрономической обсерватории ГМИК им. К.Э. Циолковского.

Фотографирование включало в себя саму фотосъемку – получение нескольких фотографий с последующим выбором наиболее четкой из них, а также съемку суточной параллели – естественного движения Солнца в поле кадра при остановленной системе ведения телескопа.



Рисунок 4 — Телескоп TEC APO 250VT f/8.8 Fluorite Apochromat



Рисунок 5 – Фотография Солнца 23.09.2023.

2.1.2 Обработка фотографий Солнца и снятие данных со снимков

Для получения информации о количестве пятен и групп пятен нужно было определить положение экватора на диске Солнца. Ось вращения Солнца наклонена под углом $82^{\circ}45'$ к плоскости земной орбиты [4]. Кроме того, положение экватора на снимке зависит от времени суток и взаимного расположения фотоаппарата и телескопа.

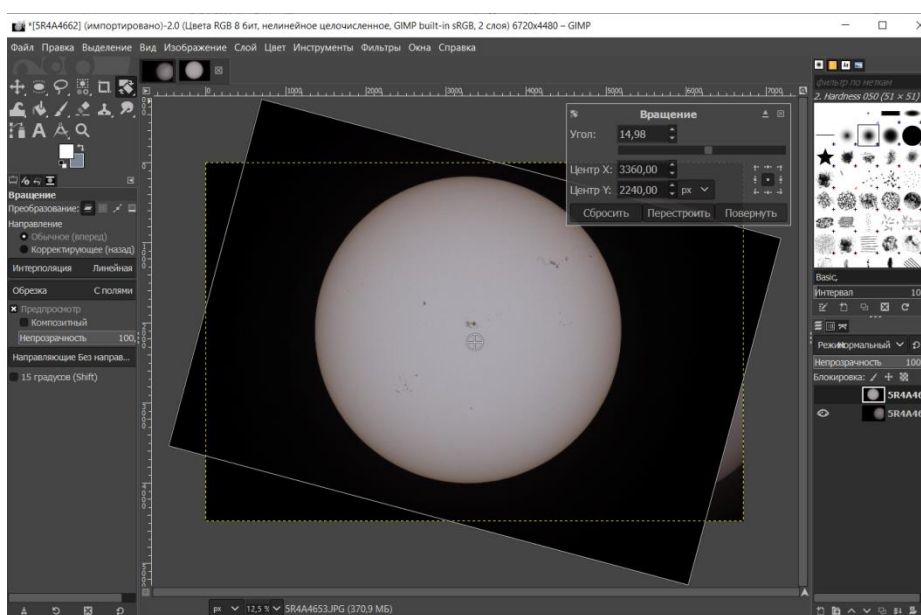


Рисунок 6 — Процесс обработки фотографий в программе GIMP

В разные времена года различно расположение солнечного экватора и полюсов на диске Солнца. С целью восстановления на изображениях экватора мы воспользовались таблицей из справочника астронома-любителя Петра Григорьевича Куликовского [4]. Через направление суточной параллели и значения позиционного угла оси вращения Солнца была получена линия экватора, относительно которой рассматривалась северо-южная асимметрия. Также была проведена идентификация групп пятен по цюрихской системе (см. приложение 2) [7] – наиболее общепотребительное системе классификации солнечных пятен и их групп.

2.1.3 Сравнение данных со спутниковыми

Сравнение со спутниковыми данными показало лишь небольшое различие (около двух групп пятен), которое связано с различием во времени фотографирования (см. таблица 1) [8].

Таблица 1. Сравнение полученных данных по общему количеству пятен со спутниковыми данными.

Дата	Общее количество групп пятен (данные со снимков)	Общее количество групп пятен (данные ИКИ РАН)	Общее количество пятен (данные со снимков)	Общее количество пятен (данные ИКИ РАН)	Полушарие Солнца
19.03.2023	3	3	5	5	Южное
19.03.2023	1	0	1	0	Северное
04.04.2023	3	2	14	12	Южное
04.04.2023	2	2	2	4	Северное
02.05.2023	4	3	17	18	Северное
02.05.2023	2	2	18	19	Южное
16.05.2023	4	4	21	36	Северное
16.05.2023	2	2	4	7	Южное
01.06.2023	6	6	10	9	Северное
01.06.2023	4	37	4	41	Южное
15.06.2023	2	3	4	5	Северное
15.06.2023	4	4	21	32	Южное

01.07.2023	2	2	27	31	Северное
01.07.2023	4	3	13	6	Южное
14.07.2023	5	4	23	38	Северное
14.07.2023	4	4	26	28	Южное
15.08.2023	5	4	20	22	Северное
15.08.2023	4	2	8	3	Южное
02.09.2023	1	2	1	13	Северное
02.09.2023	3	3	15	20	Южное
16.09.2023	3	5	15	21	Северное
16.09.2023	1	1	6	5	Южное
01.10.2023	6	4	22	20	Северное
01.10.2023	3	3	17	16	Южное
11.10.2023	5	5	18	17	Северное
11.10.2023	3	3	23	24	Южное

2.2 Определение возможности качественной реализации исследований солнечной активности на базе визуальных параметров

Высокая степень совпадения данных, полученных с наземного телескопа и со спутника показывает, что изучение солнечной активности возможно вести скромными средствами астрономов-любителей, обладающих доступными для многих телескопами.

Причем практика предсказания солнечной активности на основе простых эмпирических закономерностей применяется и в серьезных научных организациях. Например Институт космических исследований РАН широко применяет способ прогнозирования солнечных вспышек на основе статистических закономерностей по визуальным параметрам. Этот прогноз дает высокое совпадение с предсказаниями на основе самых современных физических моделей.

В рамках проведения школы молодых ученых по вопросам физики Солнца и современных космических исследований «Солнце и космос-2023» на базе ИКИ РАН была проведена экспериментальная коллективная работа по расчёту профиля и высоты предыдущего солнечного цикла. Как известно, коллективные вычисления широко применяются в астрономии, и состоят в том, что решается какая-то несложная задача, но результат ее реше-

ния возникает только при объединении большого числа индивидуальных результатов. Было предоставлено 130 фотографий Солнца за период с 2011 по 2021 год. Расчеты велись по числам Вольфа, определяемым по формуле $W=10*NG+N$, где NG – количество групп пятен на Солнце, а N – суммарное число отдельных пятен. Проверка показала, что несмотря на субъективность оценки относительного количества пятен на Солнце, динамика солнечного цикла получилась примерно такая же, как и на основе канонических чисел Вольфа. Отклонение составило примерно 2,2%. Результат данной работы позволяет говорить о том, что ведение исследований Солнца не обязательно должно предполагать наличие сложной аппаратуры, а для оценки характера течения цикла Солнца визуальный метод исследований дает достаточно информации (см. приложение 3).

Данные полученные в рамках нашего исследования также подтверждают правомерность и эффективность подобной методики.

2.3 Установление взаимосвязи между северо-южной асимметрией количества пятен и ходом солнечного цикла. Разработка прогноза

2.3.1 Выявление статистических закономерностей. Расчёт корреляции

Для выявления корреляционной зависимости между северо-южной асимметрией и характером течением цикла были использованы данные О.Г. Бадалян [1]. Данные о длительности периодов роста и периодов спада активности Солнца были взяты из работы В.Н. Ишкова [3], содержащей длительность периодов роста и периодов спада солнечной активности для циклов с 12 по 23. Эти данные соответствуют временному интервалу 1878-2008 года, когда наблюдения солнечной активности были поставлены на регулярную основу.

Была построена корреляция между северо-южной асимметрией количества солнечных пятен n -го цикла и временем спада $n+1$ цикла, и временем роста $n+2$ цикла. Были получены статистически значимые величины коэффициента корреляции. Северо-южная асимметрия рассчитывается по формуле: $A = (N-S)/(N+S)$, где N и S – значения соответствующих параметров в северном и южном полушариях Солнца. Расчет корреляции производился с помощью стандартных возможностей Excel (рис. 7).

Коэффициент корреляции между асимметрией пятен n -го цикла и временем спада $n+1$ цикла был получен равным -0,6, что соответствует статистически значимой обратной связи. Коэффициент корреляции между асимметрией пятен и временем роста $n+2$ цикла равен -0,46, что соответствует слабой статистически значимой обратной связи.

3	cycle number	north spots	south spots	assimetry	cycle duration	rising time	decrising time		
4	12	77	96	-0,10982659	11,33	5	6,33		asim*dec_time
5	13	114	130	-0,06557377	12,08	3,83	8,25		-0,90606936416185
6	14	96	83	0,072625698	11,67	4,08	7,59		-0,49770491803279
7	15	140	122	0,06870229	10,08	4	6,08		0,441564245810056
8	16	109	119	-0,04385965	10,25	4,67	5,58		0,383358778625954
9	17	149	150	-0,00334448	10,5	3,58	6,92		-0,30350877192983
10	18	182	179	0,008310249	10,25	3,25	7		-0,02341137123746
11	19	242	195	0,107551487	10,42	3,92	6,5		0,054016620498615
12	20	170	131	0,129568106	11,83	4,08	7,75		0,833524027459954
13	21	217	203	0,033333333	10,25	3,5	6,75		0,874584717607973
14	22	197	226	-0,06855792	9,58	2,92	6,66	sum G5-G15	0,222
15	23	161	157	0,012578616	12,7	3,83	8,87		77,95
16	24					5,4			sum
17								correlation: assimetry n — ris n+2	0,470245217595716
18				sum d4-d14		sum f6-f16			-0,457895952415411
19				0,128928754		43,23		correlation: assimetry n — dec n+1	
20									-0,592271356370787
21				asim^2		r_time^2	asim*r_time		
22				0,01206188		25			
23				0,004299919		14,6689			
24				0,005274492		16,6464	-0,44809249		
25				0,004720005		16	-0,26229508		
26				0,001923669		21,8089	0,339162011		
27				1,11856E-05		12,8164	0,245954198		
28				6,90602E-05		10,5625	-0,14254386		
29				0,011567322		15,3664	-0,01311037		
30				0,016787894		16,6464	0,033905817		
31				0,001111111		12,25	0,376430206		
32				0,004700188		8,5264	0,37833887		
33				0,000158222		14,6689	0,127666667		
34						29,16	-0,37021277		
35				sum asim^2		sum r_time^2	sum		
36				0,062526727		174,4523	0,265203209		

Рисунок 7 — Вычисление корреляции между северо-южной асимметрией и динамикой роста и спада цикла солнечной активности.

2.3.2 Прогноз будущей солнечной активности

Данные по количеству пятен за 24 и 25 циклы, необходимые для прогноза, были предоставлены Институтом космических исследований РАН (рис. 8) [8]. Предварительно было произведено сравнение данных собственных наблюдений и данных ИКИ РАН (см. таблицу 1).

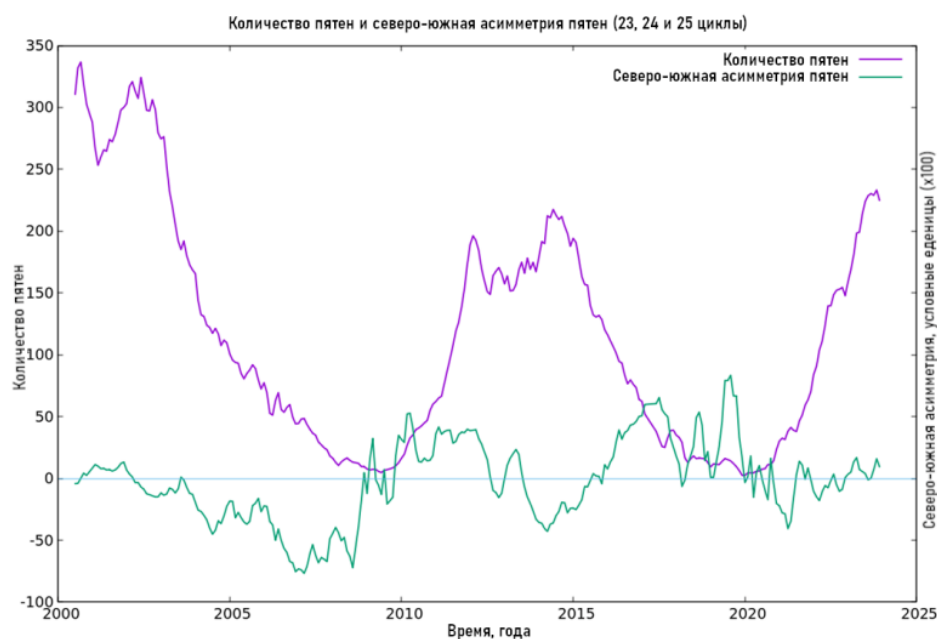


Рисунок 8 – количество пятен и северо-южная асимметрия количества пятен для 23, 24 и 25 циклов [8].

Для визуализации зависимостей и составления прогноза длительности периодов роста и спада будущих циклов в зависимости от текущей асимметрии был выбран самый простой метод корреляционного анализа – построение линейной регрессии. В этом случае искомая зависимость представляется в виде линейной функции вида $y=a+b*x$. Коэффициенты вычислялись по формулам [11]:

$$\begin{cases} \hat{b} = \frac{n \sum_{t=1}^n x_t y_t - (\sum_{t=1}^n x_t)(\sum_{t=1}^n y_t)}{n \sum_{t=1}^n x_t^2 - (\sum_{t=1}^n x_t)^2}, \\ \hat{a} = \frac{\sum_{t=1}^n y_t - \hat{b} \sum_{t=1}^n x_t}{n}. \end{cases}$$

Результаты аппроксимации зависимостей будущих периодов активности показаны на рисунках 9 и 10.

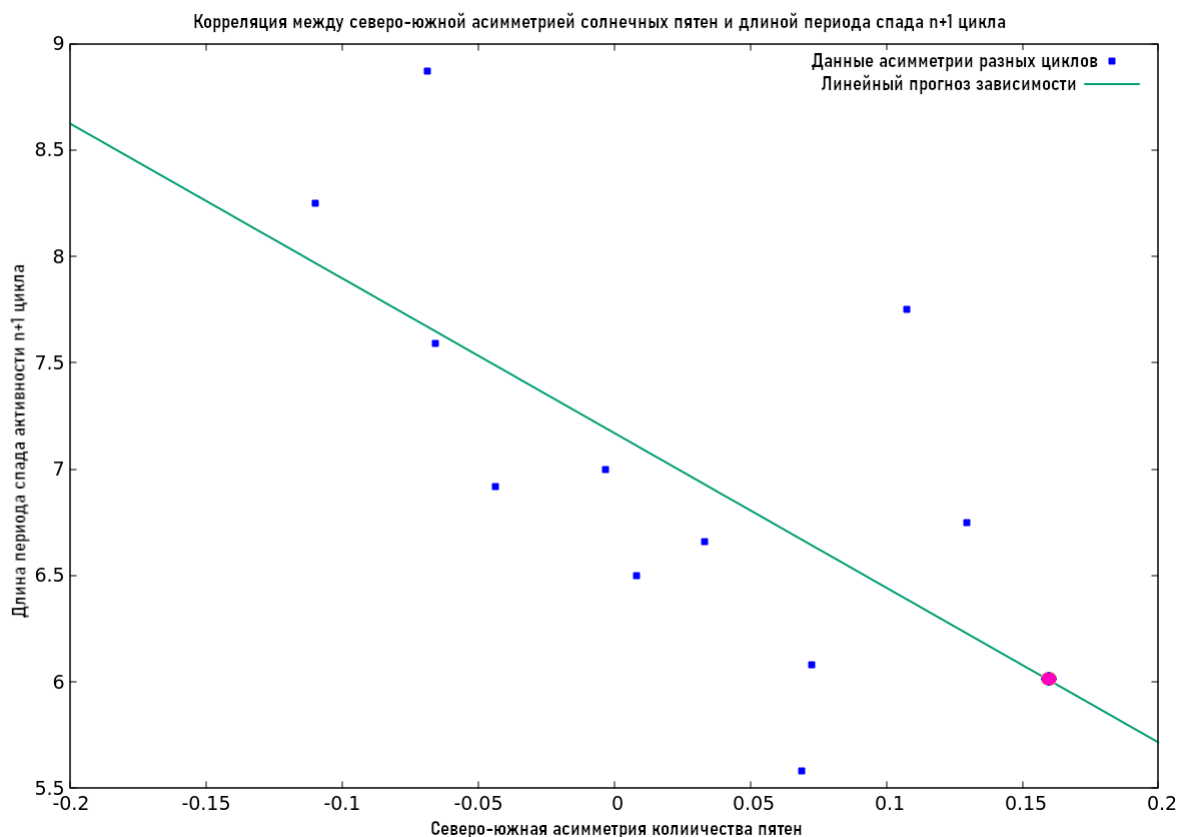


Рисунок 9 — Аппроксимация зависимости длительности периода спада n+1 цикла и асимметрии пятен текущего цикла. Фиолетовая точка — прогноз длительности периода спада 26-го цикла.

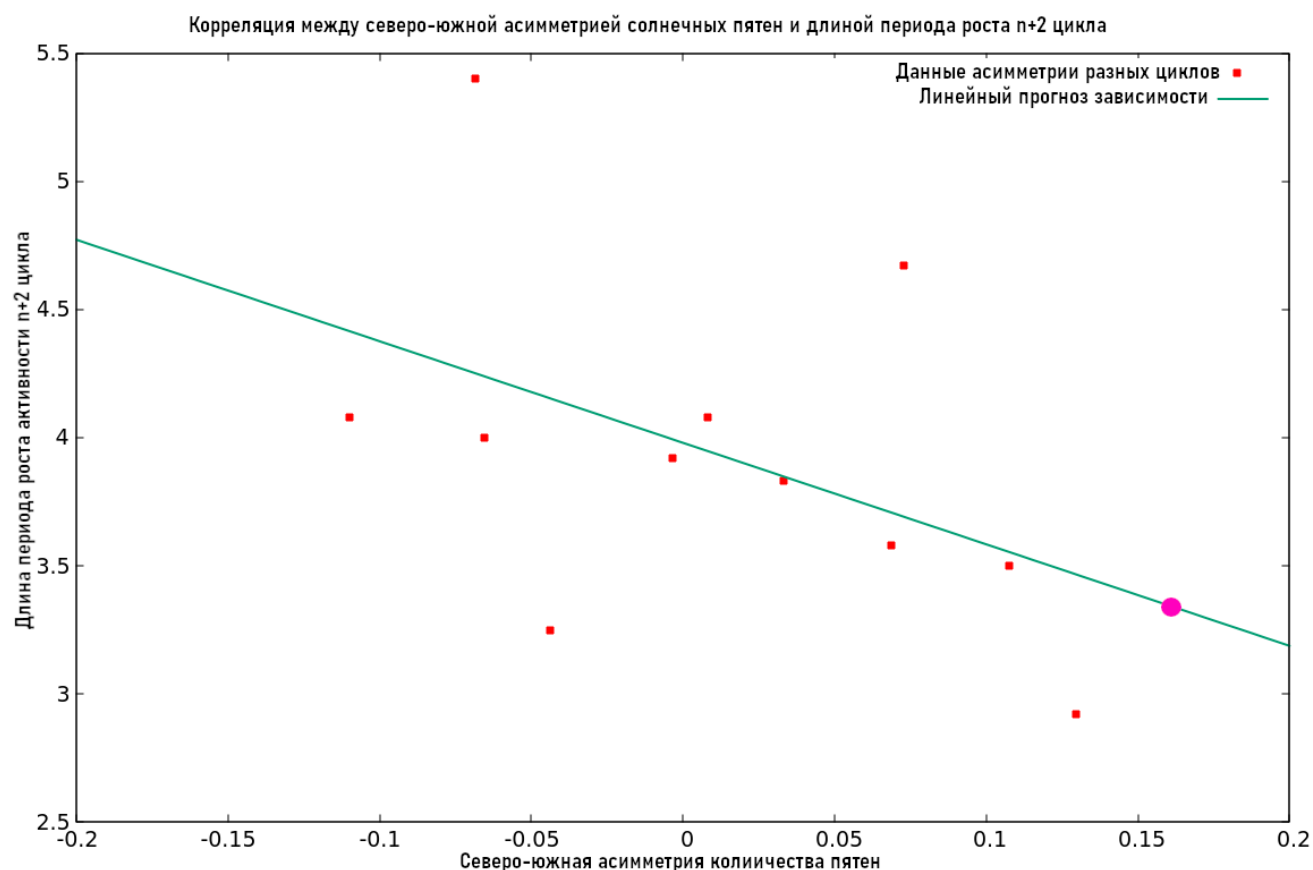


Рисунок 10 – Аппроксимация зависимости длительности роста $n+2$ цикла и асимметрии пятен текущего цикла. Фиолетовая точка – прогноз длительности периода роста 27-го цикла.

Асимметрия максимума текущего цикла была оценена по данным ИКИ РАН (рис. 8) и принята равной 0,158. В настоящее время Солнце вступило во вторую эпоху «пониженной» солнечной активности. Поэтому в текущем 25 цикле и будущих 26, 27 циклах будет прослеживаться данная тенденция. По полученным прогнозам период спада 26-го цикла составит 6,02 года, период роста 27-го цикла составит 3,35 года. Таким образом, из асимметрии текущего цикла следует, что 26 и 27 циклы будут вероятно несколько короче, чем обычный 11-летний цикл солнечной активности. Причем 26 как четный цикл будет ниже текущего (по правилу Гневывшева-Оля), а 27 предположительно будет средним по величине и аналогичен текущему 25 циклу.

Значительные солнечные события являют собой принципиально стохастические процессы и возникает в условиях неустойчивости в сложных системах магнитного поля на Солнце. Как правило, они происходят в основном на фазе спада цикла. Высокий показатель асимметрии позволяет судить о достаточно спокойной магнитной обстановке

на Солнце и как следствие низкой концентрации мощных вспышечных событий в этот период.

Выводы и заключение

Достоверная информация о количестве чисел солнечных пятен даёт возможность по новому взглянуть на сценарий солнечной активности. С тех пор как начались регулярные наблюдения и серьезные исследования солнечных пятен, человечество сильно расширило понимание возможных изменений физических характеристик как всего Солнца, так и характера вспышечной активности. Исследование показало, что базы данных о визуальных характеристиках солнечной активности достаточно, чтобы вести исследования динамики солнечного цикла и, устанавливая статистические закономерности, делать долгосрочные прогнозы. Располагая данными о пятнообразовательной деятельности на Солнце, представляется возможность изучать и предсказывать тенденции солнечной активности и характер эволюции звезды.

Была установлена корреляция между северо-южной асимметрией и особенностями течения будущих циклов солнечной активности. Как оказалось, неоднородность активности в разных полушариях Солнца влияет преимущественно на характер спада цикла. А по тенденции спада цикла можно судить о магнитной обстановке на звезде. Также еще раз подтвердилось существование четкой взаимосвязи между циклом n и $n+2$. Сделан прогноз на 26 и 27 циклы солнечной активности. Соответственно до цикла 28 будут поочередно осуществляться низкие и средние солнечные циклы.

Следует заметить, что современная техническая цивилизация стала гораздо более чувствительной к последствиям вспышек на Солнце. Возможные отказы технических систем при мощном солнечном событии, и следует заблаговременно предусматривать возможные пути их устранения. Кроме того, освоение космического пространства и планируемые полеты к Луне и другим планетам напрямую зависят от активности Солнца. Таким образом, понимание природы солнечной цикличности и создание современных методов прогнозирования солнечной активности выходит за пределы чисто фундаментальной науки.

На данный момент человечество располагает широкими возможностями наблюдений разнообразных проявлений солнечной активности во всех диапазонах электромагнитного и корпускулярного излучений. Однако подобного рода данных крайне мало чтобы на их основе делать какие-либо определенные выводы. Каждый цикл дает нам новую информацию. Поэтому исследования Солнца несут особую актуальность в современных реалиях.

В заключение хочется отметить, что мы живем в эру космических исследований. Поэтому подобные исследования представляют актуальность не только в рамках нашей планетарной системы и отдельно взятой планеты. Изучая Солнце, мы в перспективе сможем использовать эту информацию с целью исследований и прогнозов для звезд такого же спектрального класса как и наша звезда (G2V), и вместе с тем проводить параллели и сопоставления с поведением звезд других классов.

Список литературы

1. Бадалян О.Г. Свойства северо-южной асимметрии солнечной активности / ИЗМИРАН, 2002.
2. Большая советская энциклопедия. — М.: Советская энциклопедия. 1969—1978.
3. Ишков В.Н. Эпохи «пониженной» и «повышенной» солнечной активности: наблюдательные особенности и ключевые факты // Сб. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2013», под ред. Ю.А. Наговицина, Изд. ВВМ, Санкт- Петербург, 2013, С. 111 – 114
4. Куликовский П.Г., Справочник любителя астрономии, М.: – 2002.
5. Обридко В.Н. Циклы солнечной активности и особенности 23-го цикла / Земля и Вселенная. – 2011. – №1. – С. 3-17
6. J. Javaraiah, "North-South Asymmetry in Solar Activity and Solar Cycle Prediction, IV: Prediction for Lengths of Upcoming Solar Cycles," *Solar Phys*, p. 294, 2019.
7. Библиотека по астрономии и космонавтике. URL: <http://12apr.su/books/item/f00/s00/z00000039/st018.shtml?ysclid=lqp1e2jop1198160086> (дата обращения 01.12.2023).
8. Лаборатория солнечной астрономии ИКИ и ИСЗФ, URL: <https://tesis.xras.ru/> (дата обращения 15.11.2023).
9. Справочно-информационный интернет-портал «Википедия»: солнечные циклы. https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cycle (дата обращения 01.12.2023).
10. Справочно-информационный интернет-портал «Википедия»: модель Бэбкока. https://ru.wikipedia.org/wiki/Модель_Бэбкока (дата обращения 01.12.2023).
11. Справочно-информационный интернет-портал «Википедия»: метод наименьших квадратов https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_наименьших_квадратов (дата обращения 05.12.2023).

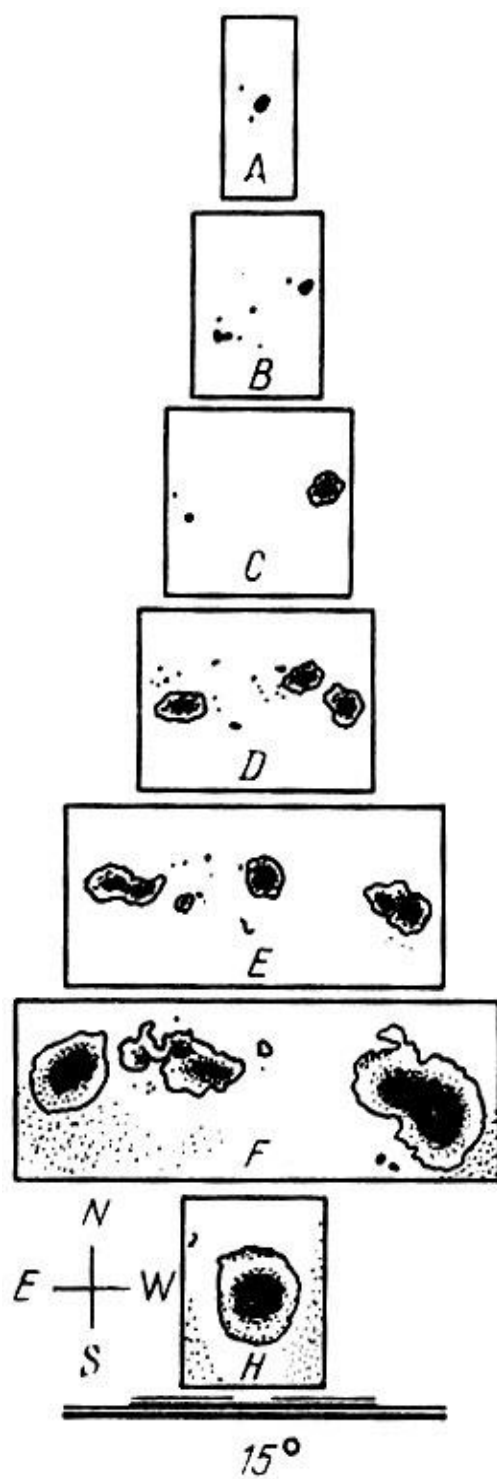
Приложения

Приложение 1. Классификация пятен по цюрихской системе

Дата	Класс активных областей (по Цюрихской классификации)	Полушарие Солнца	Количество групп пятен	Число пятен
19 марта	D	Южное	1	2
19 марта	E	Южное	1	2
19 марта	H	Южное	1	1
19 марта	H	Северное	1	1
4 апреля	B	Южное	1	2
4 апреля	C	Южное	1	3
4 апреля	D	Южное	1	9
4 апреля	A	Северное	2	2
2 мая	C	Северное	1	4
2 мая	D	Северное	2	12
2 мая	H	Северное	1	1
2 мая	C	Южное	1	5
2 мая	E	Южное	1	13
16 мая	B	Северное	1	3
16 мая	D	Северное	2	13
16 мая	H	Северное	1	1
16 мая	B	Южное	2	4
1 июня	A	Северное	1	1
1 июня	B	Северное	1	1
1 июня	C	Северное	2	5
1 июня	D	Северное	1	2
1 июня	H	Северное	1	1
1 июня	D	Южное	3	34
1 июня	H	Южное	1	3
15 июня	C	Северное	1	2
15 июня	H	Северное	1	1
15 июня	C	Южное	2	5
15 июня	D	Южное	2	16
1 июля	H	Северное	1	1
1 июля	F	Северное	1	26
1 июля	A	Южное	1	1
1 июля	B	Южное	1	2
1 июля	D	Южное	2	10
14 июля	C	Северное	1	5

14 июля	Е	Северное	2	16
14 июля	Н	Северное	1	1
14 июля	А	Северное	1	1
14 июля	С	Южное	1	5
14 июля	Н	Южное	2	3
14 июля	Д	Южное	1	18
15 августа	Д	Северное	3	18
15 августа	Н	Северное	1	1
15 августа	А	Северное	1	1
15 августа	В	Южное	1	2
15 августа	С	Южное	2	6
15 августа	Н	Южное	2	2
2 сентября	Н	Северное	1	1
2 сентября	А	Южное	1	1
2 сентября	С	Южное	1	11
2 сентября	Д	Южное	1	3
16 сентября	Д	Северное	1	13
16 сентября	Н	Северное	2	2
16 сентября	С	Южное	1	9
1 октября	А	Северное	1	1
1 октября	Д	Северное	2	8
1 октября	С	Северное	2	12
1 октября	Н	Северное	1	1
1 октября	С	Южное	1	2
1 октября	Е	Южное	1	14
1 октября	Н	Южное	1	1
11 октября	А	Северное	1	1
11 октября	С	Северное	2	11
11 октября	Е	Северное	1	5
11 октября	Н	Северное	1	1
11 октября	С	Южное	2	8
11 октября	Д	Южное	1	15

Приложение 2. Визуальная таблица групп пятен по цюрихской системе



Класс	Характеристика группы
A	Униполярная группа. Пятна без полутени (одиночная пора или скопление пор).
B	Биполярная группа без полутеней.
C	Биполярная группа с полутенью у пятна одной полярности на одном конце вытянутой группы. Нет верхнего предела протяженности группы. Группа C переходит в D, если полутень имеет размер больше 5° по долготе.
D	Биполярная группа с полутенями у пятен обеих полярностей на обоих концах вытянутой группы. Длина группы не превышает 10° по долготе.
E	Биполярная группа с полутенями у пятен обеих полярностей. Протяженность по долготе между 10° и 15° .
F	Биполярная группа с полутенями у пятен обеих полярностей и протяженностью по долготе более 15° .
H	Униполярная группа с полутенью. Мелкие пятна на расстоянии меньше 3° от полутени основного пятна — остатка старой группы.

Приложение 3. Подведение итогов работы по восстановлению профиля солнечного цикла в школе молодых ученых «Солнце и космос – 2023» по визуальным параметрам

Номер изображения	Фактическая дата и время
1	11.10.2011 00:06:56
2	02.06.2020 00:04:38
3	01.10.2021 00:04:38
4	22.12.2011 00:09:56
5	22.11.2012 00:07:40
6	06.07.2020 00:10:38
7	12.11.2013 00:05:25
8	02.05.2020 00:10:38
9	09.08.2020 00:10:38
10	04.11.2020 00:10:38
11	06.04.2020 00:10:38

АЛЬТАИР		
NG	N	W
5	11	61
0	0	0
4	7	47
4	29	69
5	18	68
0	0	0
9	60	150
0	0	0
1	2	12
1	15	25
0	0	0

12	13.10.2013 00:03:10
13	04.10.2016 00:10:39
14	01.03.2020 00:10:38
15	03.02.2020 00:10:38
16	01.01.2020 00:10:38
17	01.10.2019 00:10:38
18	05.10.2018 00:10:38
19	21.10.2014 00:12:10
20	01.03.2011 08:22:41
21	22.01.2011 00:34:41
22	02.04.2011 00:22:41
23	04.01.2012 00:00:00
24	01.12.2021 00:10:38
25	07.05.2011 17:22:41
26	07.03.2021 00:10:38
27	16.12.2012 00:07:40
28	01.01.2013 06:40:40
29	18.11.2014 00:09:10
30	09.06.2012 00:09:56
31	06.01.2015 00:11:25
32	23.10.2012 00:32:25
33	06.06.2011 06:22:41
34	02.03.2013 00:05:25
35	14.12.2020 00:10:38
36	02.02.2012 00:10:41
37	30.05.2021 00:10:38
38	15.10.2020 00:10:38
39	30.03.2012 00:10:41
40	14.11.2018 13:46:38
41	23.10.2017 00:10:38
42	04.06.2021 00:10:38
43	06.02.2015 00:03:55
44	01.04.2012 00:10:41
45	07.08.2011 00:10:41
46	24.12.2013 00:06:55
47	17.01.2021 00:10:38
48	06.08.2021 00:10:38
49	01.11.2019 00:10:38
50	01.01.2019 00:10:38

7	48	118
2	13	33
0	0	0
0	0	0
0	0	0
1	1	11
0	0	0
4	44	84
2	29	49
2	12	32
6	10	70
6	30	90
4	7	47
3	9	39
1	2	12
5	9	59
6	16	76
3	9	39
6	15	75
5	38	88
4	23	63
4	22	62
5	28	78
1	4	14
2	9	29
1	1	11
0	0	0
7	39	109
0	0	0
2	2	22
3	5	35
5	50	100
4	17	57
4	41	81
9	43	133
1	5	15
1	2	12
1	1	11
1	2	12

51	19.02.2013 00:06:55
52	13.01.2017 00:10:38
53	17.07.2021 00:04:38
54	16.04.2021 00:10:38
55	29.11.2011 00:09:56
56	09.12.2015 00:10:39
57	16.11.2015 00:10:39
58	02.04.2014 00:05:25
59	31.01.2018 00:10:38
60	18.02.2014 00:05:25
61	03.02.2016 00:10:39
62	02.04.2013 00:10:40
63	04.07.2013 00:09:10
64	26.09.2020 00:10:38
65	10.09.2012 00:05:25
66	27.01.2014 00:05:25
67	01.02.2017 00:10:38
68	17.11.2017 00:10:38
69	24.01.2016 00:10:39
70	27.11.2021 00:10:38
71	23.09.2011 00:10:41
72	24.05.2012 00:03:56
73	27.02.2011 00:40:41
74	01.02.2018 00:10:38
75	29.07.2011 01:39:56
76	08.08.2013 00:08:25
77	21.12.2017 00:10:38
78	28.10.2015 00:10:39
79	27.02.2021 00:10:38
80	15.12.2016 00:10:39
81	30.06.2014 00:06:10
82	04.03.2016 00:10:39
83	12.12.2018 00:10:38
84	01.12.2019 00:10:38
85	01.02.2019 00:10:38
86	26.03.2014 00:05:25
87	27.12.2014 00:11:25
88	26.09.2021 00:10:38
89	25.04.2015 00:09:55

4	46	86
1	1	11
3	11	41
3	22	52
6	40	100
4	22	62
3	14	44
5	24	74
1	5	15
6	35	95
5	41	91
6	44	104
8	90	170
2	9	29
8	55	135
5	22	72
3	22	52
3	15	45
4	37	77
5	32	82
3	41	71
4	35	75
2	28	48
0	0	0
3	53	83
3	3	33
1	20	30
5	33	83
1	10	20
1	2	12
6	8	68
3	5	35
0	0	0
0	0	0
2	2	22
13	67	197
7	26	96
2	5	25
4	9	49

90	01.03.2017 00:10:38
91	24.05.2014 00:05:25
92	20.06.2015 00:06:55
93	01.03.2018 00:10:38
94	28.05.2013 00:06:55
95	28.08.2012 00:05:25
96	01.03.2019 00:10:38
97	01.04.2017 00:10:38
98	15.04.2016 00:10:39
99	23.09.2013 00:03:10
100	26.06.2013 00:10:40
101	21.05.2016 00:10:39
102	30.07.2015 00:12:54
103	18.05.2015 00:10:40
104	29.03.2015 00:10:40
105	15.08.2014 00:12:10
106	15.04.2018 00:52:38
107	28.07.2014 00:09:55
108	04.09.2014 00:00:10
109	05.04.2019 00:10:38
110	01.06.2016 00:10:39
111	11.05.2018 00:04:38
112	11.08.2015 00:12:54
113	04.06.2017 00:10:38
114	06.08.2016 00:04:39
115	01.05.2019 00:10:38
116	05.06.2018 00:10:38
117	23.07.2016 00:10:39
118	16.09.2015 00:12:54
119	27.05.2017 00:10:38
120	09.07.2017 00:10:38
121	01.06.2019 00:10:38
122	07.09.2016 00:10:39
123	22.07.2018 00:10:38
124	21.09.2017 00:04:38
125	16.08.2017 00:10:38
126	01.07.2019 00:10:38
127	02.08.2018 00:10:38
128	01.08.2019 00:10:38

4	6	46
5	31	81
2	24	44
1	1	11
3	8	38
3	9	39
0	0	0
2	11	31
1	5	15
3	7	37
3	5	35
1	2	12
5	9	59
7	8	78
4	15	55
11	24	134
0	0	0
8	20	100
5	24	74
0	0	0
3	7	37
1	1	11
7	11	81
8	19	99
5	15	65
0	0	0
0	0	0
4	16	56
11	34	144
6	16	76
7	16	86
0	0	0
3	10	40
0	0	0
2	2	22
1	8	18
1	3	13
1	1	11
0	0	0

129	13.09.2018 00:10:38
130	01.09.2019 00:10:38

0	0	0
1	1	11

Данные каталога за этот день		
NG	N	W
6	27	87
1	1	11
2	26	46
5	43	93
5	37	87
1	1	11
6	44	104
0	0	0
1	1	11
1	5	15
0	0	0
6	46	106
2	12	32
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
1	1	11
4	53	93
3	24	54
2	22	42
4	22	62
6	35	95
5	11	61
5	21	71
2	3	23
5	38	88
6	27	87
5	45	95
6	30	90
5	39	89
4	46	86

5	24	74
6	28	88
1	4	14
4	45	85
2	6	26
1	2	12
7	30	100
1	1	11
1	3	13
2	8	28
3	56	86
7	26	96
4	45	85
7	38	108
1	5	15
3	6	36
0	0	0
0	0	0
6	32	92
1	1	11
3	5	35
1	12	22
6	30	90
4	18	58
4	23	63
7	54	124
1	5	15
6	41	101
4	12	52
6	24	84
6	34	94
1	1	11
5	37	87
8	29	109
0	0	0
1	5	15
3	24	54
3	22	52
5	36	86

6	31	91
3	19	49
1	3	13
5	34	84
7	29	99
1	6	16
5	14	64
1	6	16
2	5	25
8	32	112
4	10	50
1	1	11
0	0	0
0	0	0
6	54	114
7	22	92
2	18	38
6	19	79
0	0	0
7	42	112
2	54	74
1	1	11
5	37	87
6	25	85
0	0	0
0	0	0
3	16	46
7	28	98
7	21	91
3	13	43
4	26	66
6	15	75
5	32	82
7	38	108
1	1	11
7	40	110
6	42	102
0	0	0
3	10	40

1	1	11
3	37	67
1	12	22
2	16	36
0	0	0
1	1	11
2	16	36
4	26	66
1	12	22
1	14	24
0	0	0
2	12	32
1	1	11
2	2	22
1	11	21
0	0	0
1	1	11
0	0	0
1	1	11
0	0	0