

Изменение магнитного поля Солнца по данным Саянской обсерватории и обсерватории Mount Wilson в 2001-2014

Выполнил: Степанов Андрей

МБОУ ДОД «Центр детского технического творчества» г. Иркутска,

МАОУ Лицей ИГУ, г. Иркутск, 11 кл.

Научные руководители

Голубева Елена Михайловна,

м.н.с. ИСЗФ СО РАН

Рейнгольд Григорий Борисович,

магистр прикладной информатики

педагог доп. образования в.к.к. МБОУ ДОД ЦДТТ

Астраханцева Наталья Александровна,

Учитель в.к.к. МАОУ Лицей ИГУ

Иркутск 2015 г.

Аннотация

Цель работы состоит в исследовании изменчивости магнитной активности Солнца по магнитограммам продольного поля, регистрируемым в обсерватории Mount Wilson, а также сравнение полученных результатов, с данными Солнечного телескопа оперативных прогнозов (СТОП) Саянской обсерватории. Рабочая линия: Fe I 5250 Å (формируется на уровне фотосферы). Рассматривается временной промежуток 2001-2014гг. Данные представлены в виде файлов формата .fits, имеющих матрицы значений величин магнитных полей размером 512x512.

С использованием статистического метода оцениваются следующие среднегодовые параметры: Общее (среднее) магнитное поле, Средний абсолютный магнитный поток, Максимальные зафиксированные значения магнитного поля как северной, так и южной полярности

Данные параметры рассчитываются, для Солнца как для звезды, в ближайшем будущем также планируется измерить поле северной и южной полусфер, для полярных областей, для так называемых «королевских зон». Получены расчётные подробные базы данных. Основные результаты представлены в виде таблиц и графиков.

Важной составной частью данной работы является сделанная автором компьютерная программа (на языке C-Sharp) для обработки данных, полученных с инструментов и графического представления этих данных.

В ближайшей перспективе имеется возможность дополнить ряд, выполнив анализ имеющихся измерений для более длинного промежутка времени. Кроме того, предполагается выполнить такой анализ для данных инструмента еще одной обсерватории, для оценки качества данных каждой из них. А также после данной проверки, будет предприниматься попытка составления прогноза активности на ближайшее будущее, а также создание собственного устройства для измерения магнитного поля.

Объем работы: 14 страниц, 2 таблицы, 16 рисунков. Данные из 18 источников.

Оглавление

<i>Введение</i>	3
<i>Теоретическая часть: Магнитное поле Солнца</i>	4
<i>Практическая часть: Данные</i>	6
<i>Результаты</i>	8
<i>Выводы</i>	11
<i>Дальнейшие перспективы работы</i>	12
<i>Библиография</i>	12

Введение

О существовании магнитных явлений на Земле, в той или иной мере, было известно еще во II тысячелетии до н.э. в Китае, о чем свидетельствует изобретение компаса. Со временем эти знания распространялись по всей Земле[1]. В XIX веке была обнаружена связь между электричеством и магнетизмом, и возникло представление о магнитном поле. В 1908 году начались исследования внеземного магнитного поля ближайшей к нам звезды - Солнца. Первым опытом этого послужило исследование Дж. Хейла, когда он на своем 30-футовом спектрографе получил снимки, показывающие расщепление линий в спектре солнечных пятен, также известное как эффект Зеемана[2] Эти исследования сразу вызвали интерес у ученых-астрономов всего мира. Дальнейшие исследования позволили прийти к выводу, что магнитное поле на "поверхности" нашего светила определяет межпланетное поле, а также и космическую погоду в околоземном пространстве, состояние которой влияет на поведение электрических приборов как на Земле, так и на её орбите. [3] Наша планета обладает довольно сильной магнитосферой, которая защищает нас от большого спектра вредного и опасного излучения. Это значит, что при планировании межпланетных перелетов в будущем необходимо учитывать фактор солнечной активности, ведь космический корабль, оказавшийся в межпланетном пространстве во время солнечной вспышки будет находиться в серьезной опасности, что касается как оборудования, так и людей, находящихся на борту. Можно сделать вывод, что анализ магнитной активности и прогнозирование космической погоды - тема актуальная и необходима к изучения в наши дни.

Данная работа является продолжением работы “Анализ активности магнитного поля Солнца по данным СТОП ССО”, в которой рассматривались данные о магнитном поле Солнца в период с 2001 по 2012 года, полученные

на Солнечном Телескопе Оперативных Прогнозов Саянской Солнечной Обсерватории.

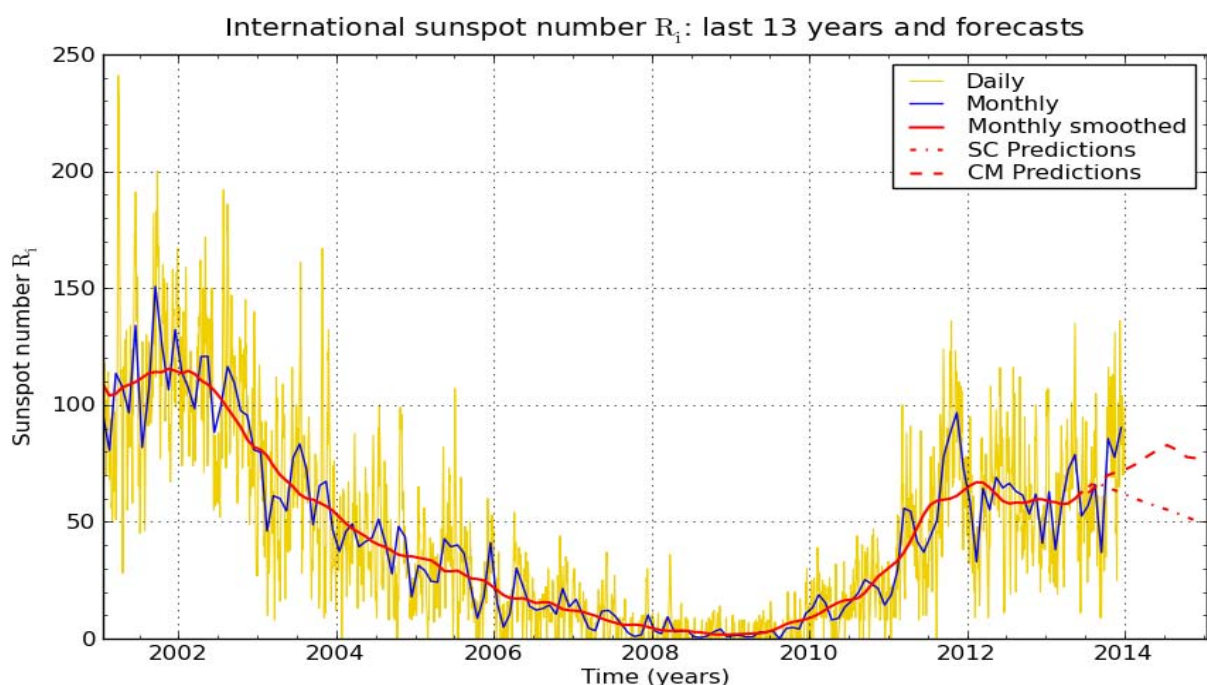
Цель работы: Исследовать изменчивость магнитного поля Солнца в период 2001г. - 2014г. По данным Mt. Wilson Observatory(MWO) и Саянской солнечной обсерватории (SSO), разобрать закономерности и сравнить результаты, сделать соответствующие выводы.

Поставленные задачи:

- Получить данные с инструмента обсерватории Mt. Wilson/Саянской Солнечной обсерватории.
- Провести выборку соответствия данных между SSO и MWO
- Создать компьютерную программу для проведения анализа активности.
- По имеющимся сериям магнитограмм за 2001-2014 годы найти такие характеристики магнитной активности как:
 - Максимальные значения поля как северной, так и южной полярностей.
 - Среднее поле по диску Солнца.
 - Величину среднего абсолютного потока магнитного поля.
- Составить таблицы за каждый год, составить сводную таблицу, перенести полученные сводные данные на графики.
- Сравнить данные 2х обсерваторий, подтвердить или опровергнуть выводы, полученные в предыдущей части работы.
- Оценить изменчивость магнитного поля.
- Сделать прогноз активности на ближайшие годы.

Теоретическая часть: Магнитное поле Солнца

Магнитная активность Солнца имеет 11-летнюю цикличность, которую также называют пятенным циклом. В максимумах каждого такого цикла происходит переполюсовка магнитных полей Солнца и как следствие это сопровождается изменениями магнитного потока, и 2001 год входил в максимум, а 2008 в минимум такого цикла [Рис.1]. Есть еще более масштабный цикл, который принято считать за магнитный цикл активности Солнца (Цикл Хейла), в него входят 2 пятенных цикла, в течение которых магнитные полюса возвращаются на свои места.



SILSO graphics (<http://sidc.be>) Royal Observatory of Belgium 01/01/2014

Рис.1 График активности магнитного поля Солнца по пятнам (Ось ox-Года; оу-Числа Вольфа) [5]

Основные принципы изучения Солнца, как и других внеземных объектов, построены на различных приемах спектрального анализа. Спектр (Электромагнитный спектр) - это совокупность всех диапазонов частот электромагнитного излучения(ЭМИ).



Рис.2 Спектр[9]

В данном случае мы говорим о спектре видимого ЭМИ (~380-740 нм). Солнечный свет можно разложить на спектр при помощи рассеивающих элементов, таких как призма или дифракционная решетка. Дифракционная решётка — оптический прибор, действие которого основано на явлении дифракции света. Представляет собой совокупность большого числа нанесённых штрихов на некоторую поверхность. Решетка может быть отражательная: штрихи нанесены на зеркальную (металлическую) поверхность, и наблюдение ведется в отражённом свете), или прозрачная (пропускающие): штрихи нанесены на прозрачную поверхность, наблюдение ведется в проходящем свете.

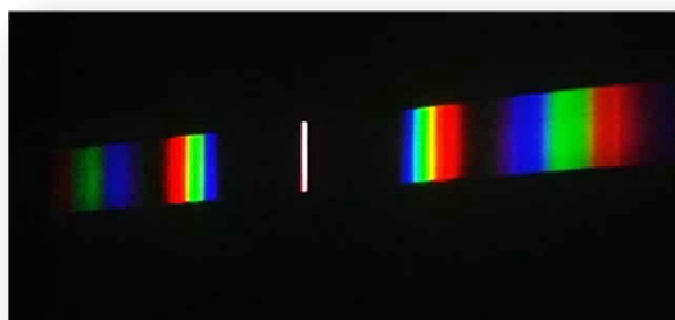
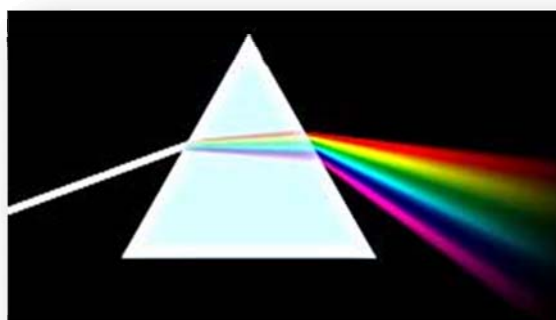
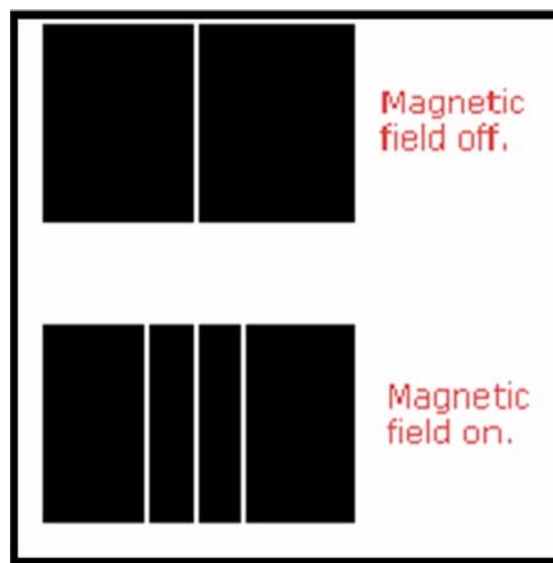


Рис.3 Получение спектра призмой и дифракционной решеткой.[10]

Полученный спектр Солнечного света можно изучать, применяя свойства различных эффектов. Изучение магнитных полей Солнца построены на эффекте Зеемана. Эффект Зеемана - это расщепление линий атомных спектров под действием магнитного поля [Рис. 4]. Впервые обнаружен нидерландским физиком Питером Зееманом в 1896 г. при наблюдении расщепления спектра линий поглощения атомов Na в магнитном поле. Этот эффект обусловлен тем, что в присутствии магнитного поля происходит расщепление энергетических уровней атома, которые появляются в его спектре. При слабом магнитном поле, линия поглощения размывается, а при более сильном может распасться на компоненты. Такой эффект мы можем проследить наблюдая за магниточувствительными линиями.

Примеры таких спектральных линий:

$\lambda(\text{\AA})$	Элемент	Фактор Ланде(g)
5250.2	FeI	3.00[6]
6173.3	FeI	2.49[6]
6302.5	FeI	2.52[6]
5859.9	NaI	1.33[17]
8688.6	FeI	1.66[17]
6767.8	NiI	1.43[17]
Фактор	Ланде	— величина



характеризующая магниточувствительность спектральной линии и являющаяся константой для каждой из них.

Рис. 4 Спектральная линия атома (H) без магнитного поля и с ним.[8]

Практическая часть: Данные

Саянская Солнечная Обсерватория расположена в горах Саян на высоте 2000 м. на границе с Монголией в России, республике Бурятия. Основана в

1966 году. Солнечный телескоп оперативных прогнозов(СТОП) – горизонтальный рефракторный телескоп. Был запущен в 1980-х годах. К настоящему времени было проведено несколько его модернизаций. В 1992 году инструмент был оснащен персональным компьютером, а с 2001 года вместо фотоэлектронного умножителя в качестве приемного устройства стала использоваться ПЗС линейка.

Mt Wilson – это обсерватория на горе Вилсон (высота 1742 метра), к северо-западу от Лос-Анджелеса в США. Обсерватория была официально открыта 8 декабря 1908 года. Основателем и первым директором обсерватории был Джордж Эллери Хейл(1868-1938), который изобрёл спектрогелиограф — прибор, позволяющий делать внеатомные фотографии хромосферы Солнца. 150-футовый телескоп – вертикальный телескоп, начал свою работу в 1912 году[18]



Рис. 5 Солнечный телескоп оперативных прогнозов Рис. 6 150-футовый телескоп[18]



Данные СТОП ССО представляют собой квадратную числовую матрицу размером 21x21, значения которой являются величиной продольного

магнитного поля Солнечного диска в Гс. Сложностей в обработке подобных данных не возникло. Спектральная линия наблюдения – линия FeI (5250,2Å).

Данные 150-ft. Telescope MWO, как и многих других инструментов и обсерваторий, представляют собой файлы в формате .fits(*Flexible Image Transport System*, досл. перевод: гибкая система передачи изображений). Такой файл состоит из “шапки”(header), в которой занесена информация о файле (размер, происхождение, координаты, формат двоичных данных, комментарии к файлу в свободной форме), и, непосредственно, самих данных, которые могут быть представлены как в виде матрицы, так и в виде одномерной строки измеряемых значений. В данном случае у нас представлена шифрованная квадратная матрица 512x512 пикселей, значениями которой являются величины магнитного поля в ед. измерения - Гаусс(Гс) Спектральная линия наблюдения – линия FeI(5250,2Å) /NaI(5859Å).

Для обработки этих данных была создана программа на языке C-Sharp, которая должна была выводить изображения на экран, вычислять необходимые данные исходя из входных файлов(.fits;.txt), такие как максимальные (северной полярности (Max B_N^+) - Силовые линии идут от Солнца, южной полярности (Max B_S^-) - Силовые линии идут к Солнцу), средние значения поля со среднеквадратичной погрешностью, а так же средний абсолютный поток (Эта величина характеризует как входящие в Солнце силовые линии так и выходящие из него и вычисляется как среднее по модулю значение магнитного поля), сохранять результаты в файлы для дальнейшей работы. Т.к. матрица непосредственно самих данных была зашифрована, возникли проблемы при работе с ней, которые были вскоре решены при помощи вспомогательных библиотек “CFITSIO”, которые были созданы специально для работы с такими файлами.

После получения необходимых данных, была проведена обработка, результаты которой были представлены в виде графиков и таблиц. В данный момент обработаны данные 2001-2012 годов включительно. Данные за 2013-

2014 года получены совсем недавно и еще не обработаны, что планируется сделать в ближайшее время.

Результаты

Date	Max(B _S)	Max(B _N)		< B >
2001	-85,195	91,224	-0,014 ± 0,334	3,011
2002	-61,296	57,057	0,077 ± 0,283	2,832
2003	-49,681	61,175	-0,051 ± 0,166	1,678
2004	-51,659	73,908	-0,054 ± 0,148	1,370
2005	-42,805	54,426	-0,013 ± 0,135	1,252
2006	-29,775	24,285	0,116 ± 0,069	0,665
2007	-40,171	24,285	-0,082 ± 0,063	0,682
2008	-20,915	18,468	-0,031 ± 0,037	0,412
2009	-18,009	21,824	0,085 ± 0,033	0,391
2010	-28,309	24,881	0,131 ± 0,072	0,707
2011	-107,681	120,649	-0,066 ± 0,210	1,708
2012	-153,391	113,459	-0,142 ± 0,231	1,940
01-12	-153,391	120,649	-0,004 ± 0,149	1,387

Табл. 1-Обобщенные результаты SSO.(Гс)

Date	Max (B _S)	Max (B _N)		< B >
2001	-946	1040,1	-0,087±0,070	10,187
2002	-1025,7	957	-0,001±0,061	10,020
2003	-1067,1	881,2	-0,081±0,071	7,024
2004	-947,7	786,4	0,042±0,068	5,764
2005	-837,2	833,1	0,159±0,030	5,044
2006	-800,6	311,8	0,263±0,023	3,560
2007	-488	610,3	0,029±0,017	2,066
2008	-494,2	158,1	0,000±0,006	1,491
2009	-156,7	261,9	0,000±0,003	1,487
2010	-540,8	377	-0,003±0,006	1,960
2011	-475	469,7	-0,018±0,012	3,291
2012	-745,4	505,2	-0,089±0,011	3,547
01-12	-1067,1	1040,1	0,018±0,027	4,620

Табл. 2-Обобщенные результаты MWO.(Гс)

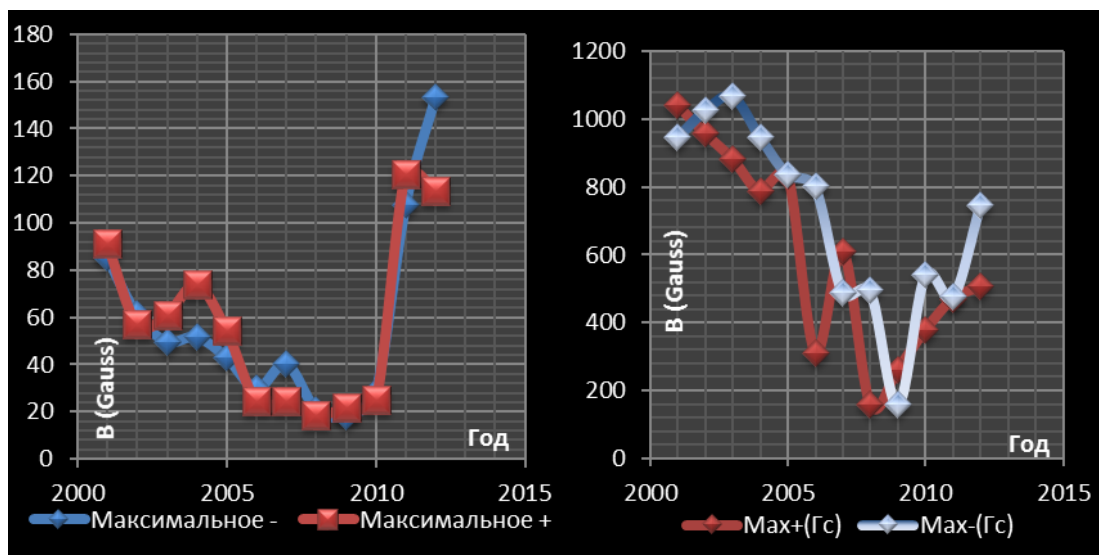


Рис. 7.8 - Изменение максимальных значений поля северной(+) и южной(-) полярности 7-SSO, 8-MWO.

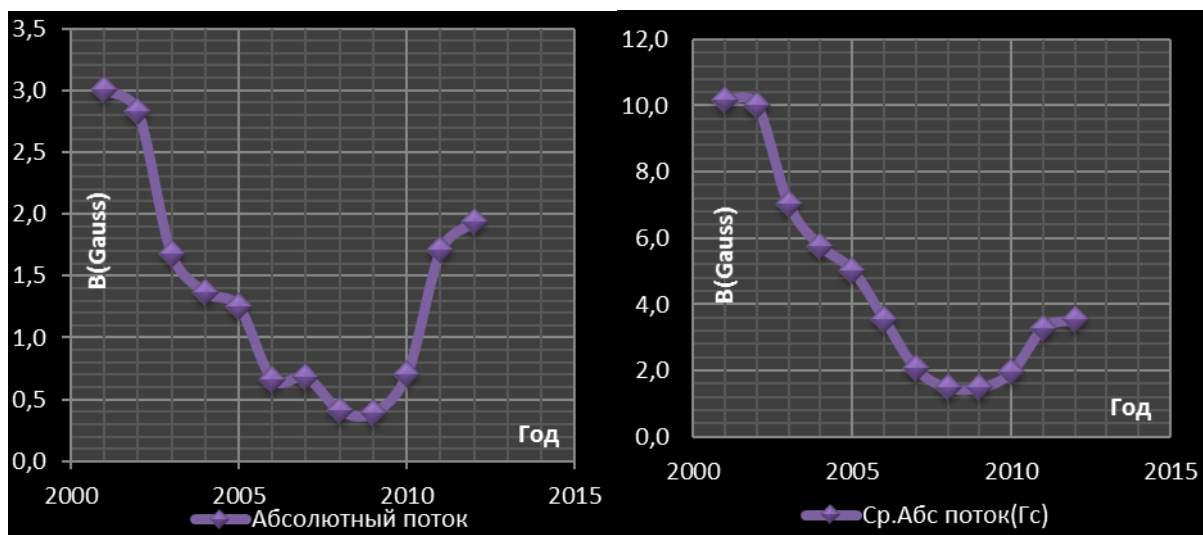


Рис. 9.10- Изменение среднего абсолютного потока 9-SSO 10-MWO

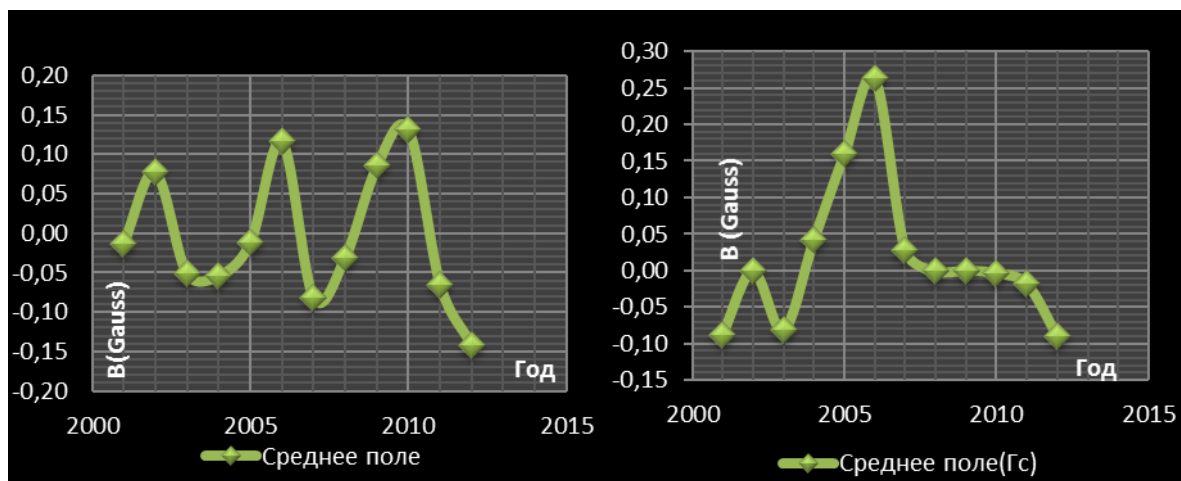


Рис. 11.12- Изменение среднего поля 11-SSO 12-MWO

Также были построены изображения, которые были сопоставлены с изображениями, полученными самими обсерваториями:

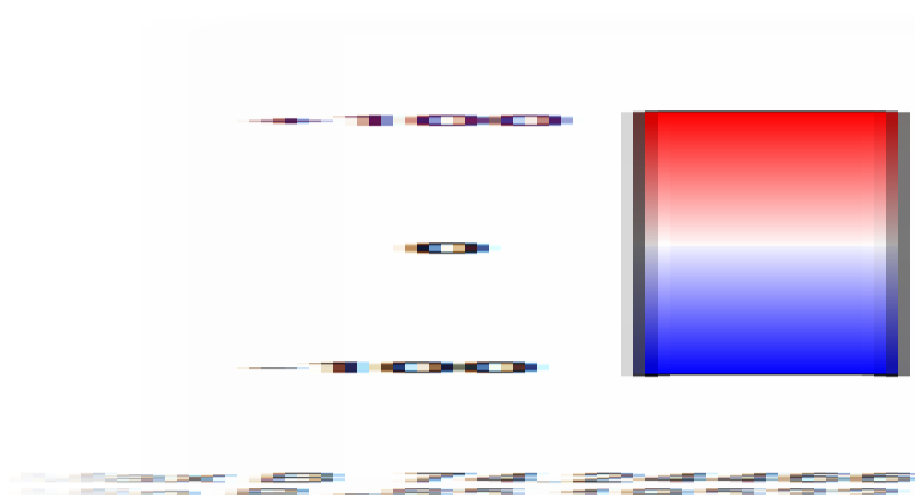
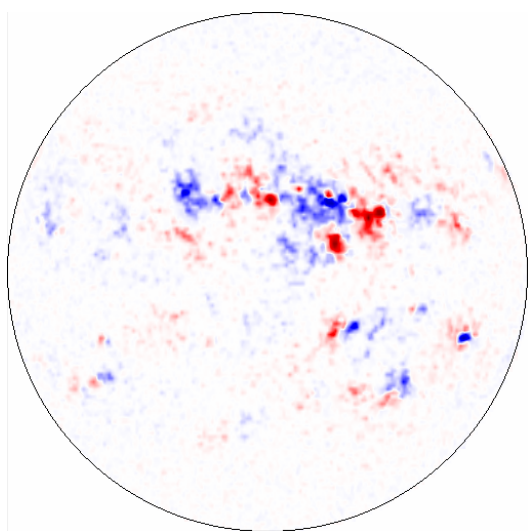


Рис 13-14 (Полученные изображения активных областей на Солнце, период максимума (Слева-MWO, справа - STOP))

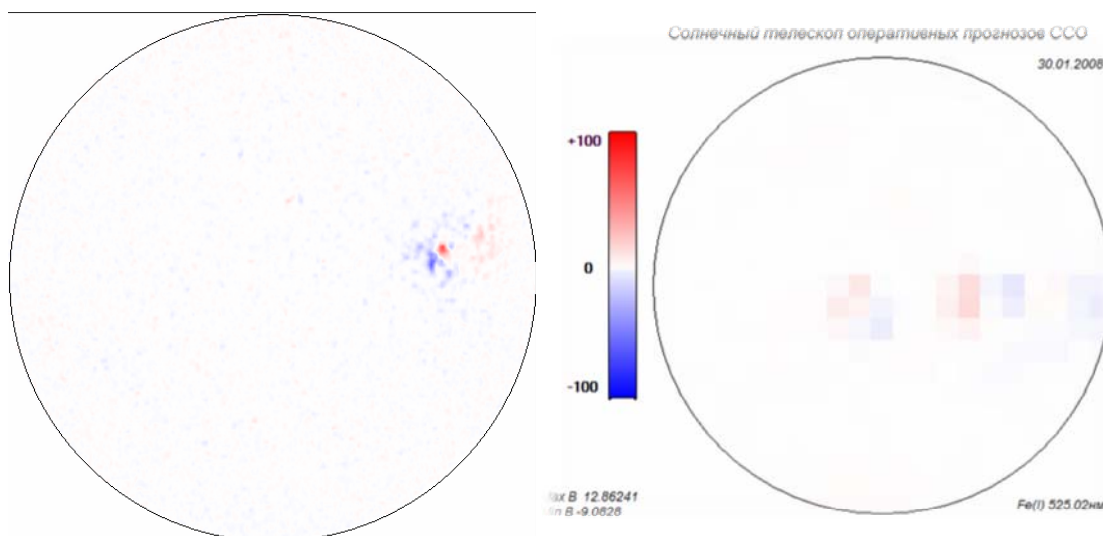


Рис 15-16 (Полученные изображения активных областей на Солнце, период минимума (Слева-MWO, справа - STOP))

Выводы

Обработано 670 парных магнитограмм SSO/MWO и 777 в целом по СТОП (SSO).

1) Измеряемое среднее магнитное поле по диску всегда находится вблизи 0, т.к. при существовании на поверхности Солнца участков с положительным значением всегда имеются участки с противоположным значением — таким образом происходит взаимная компенсация. Когда мы усреднили значения полей за 2001-2012 года, мы увидели, что значение среднего стало еще ближе к 0, что еще больше подтверждает это явление. (Подтверждено как измерениями на SSO так и на MWO)

2) Графики максимальных значений и среднего абсолютного потока показывают, что текущие значения величины магнитного поля соответствуют периоду находящемуся чуть дальше середины цикла, исходя из чего, можно предположить, что текущий цикл активности магнитного

поля Солнца приближался к своему максимуму. (Относительно данных до конца 2012г.)

3) Средние поля с данных обсерваторий, после 2006г. не совпадают. Рассматривая средние поля с данных СТОП ССО, можно сказать, что амплитуда значений в магнитограммах – возрастает.

4) Изменчивость среднего абсолютного потока совпадает в период 2001-2010гг. И расходится, начиная с 2011г.

5) Изменчивости максимальных за год показателей также совпадает с 2001-2010гг. А с 2011, она существенно отличается (По данным СТОП, полученные в последние года значения больше значений максимума 2001г. В 4 раза, а по данным 150-ft Telescope, они равны лишь половине значения в период максимума.

6) Рассматривая, полученные по данным СТОП результаты, можно предположить, что в измерения закралась ошибка, которая искажает результаты начиная с 2011г. Что подтверждает выводы, сделанные в предыдущей работе (Предположение о наличии постоянной ошибки при измерениях, возникшей в 2010 году)

Дальнейшие перспективы работы

В продолжении данной работы предполагается:

- 1) Определить среднее поле, средний абсолютный поток, максимальные значения поля для разных областей солнечного диска.
- 2) Дополнить исследования доступными данными
- 3) Сделать аналогичный анализ данных еще одного источника, чтобы можно было отсеять неточные данные инструментов, руководствуясь отборными данными закончить анализ.
- 4) Сделать прогноз активности магнитного поля Солнца на ближайшие годы.

Авторы благодарят В.С. Пещерова, Т.А. Латушко, М.Л. Демидова, Р.М. Верецкого и Г.С. Васильеву за содействие в получении данных СТОП ССО ИСЗФ СО РАН.

Библиография

1. Ю.Н. Гнедин. "Земля и Вселенная" 2009, №1. Статья "Межгалактическое магнитное поле"
2. Astrophysical Journal, 1907.
3. В.Н. Обридко. Земля и Вселенная" 2011, №1 Статья "Циклы солнечной активности и особенности 23-го цикла "
4. Степанов А.Н., Голубева Е.М "Солнце в понимании людей: С древних времён до наших дней", БШФФ-2011, 19-24 сентября 2011, Иркутск (http://bsfp.iszf.irk.ru/bsfp2011/sbornik_shcool.htm)
5. www.sidc.be – Solar Influences Data Analysis Center
6. Степанян Н.Н "Наблюдаем Солнце",.. 1992г.
7. www.iszf.irk.ru – сайт ИСЗФ СО РАН
8. www.biglobe.ne.jp
9. www.maratka.org
10. www.12apr.ru – Библиотека по астрономии и космонавтике.
11. А.В. Брюханов, Г.Е. Пустовалов, В.И. Рыдник "Толковый физический словарь", Москва "Русский язык" 1987г.
12. www.sfiz.ru
13. www.fizika.ru
14. www.sbras.ru – Наука в Сибири.
15. www.astronet.ru
16. www.elementy.ru
17. M.I. Demidov, E.M. Golubeva, V.M. Grigoryev - "Comparison of Solar Magnetic Fields Measured at Different Observatories: Peculiar Strength Ratio Distributions Across the Disk" –Solar Phys Journal, 2008.
18. www.obs.astro.ucla.edu