

УДК 523.94

## Временные вариации крупномасштабного магнитного поля в атмосфере Солнца на высотах от фотосферы до поверхности источника

З.С. Ахтемов<sup>1</sup>, О.А. Андреева<sup>1</sup>, Г.В. Руденко<sup>2</sup>, Н.Н. Степанян<sup>1</sup>, В.Г. Файнштейн<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория” КНУ им. Т. Шевченко, Научный, АР Крым, Украина, 98409  
*nataly@crao.crimea.ua*

<sup>2</sup> ИСЗФ СО РАН, а/я 291, Иркутск, Россия, 664033  
*vfain@iszf.irk.ru*

Поступила в редакцию 4 ноября 2013 г.

**Аннотация.** С помощью расчетов магнитного поля в потенциальном приближении (с использованием Bd-технологии, Руденко, 2001) исследованы временные вариации нескольких параметров крупномасштабного магнитного поля в солнечной атмосфере в течение последних 4 циклов. На 10 высотах от поверхности Солнца ( $R = R_{\odot}$ ) до поверхности источника ( $R = 2.5R_{\odot}$ ) были построены синоптические карты (СК) радиальной компоненты  $B_r$  рассчитанного магнитного поля. На этих СК были выделены 10-градусные широтные зоны. В пределах этих зон были найдены  $S_p$  – усредненные в пределах широтной зоны по широте и долготе положительные значения  $B_r$ ;  $S_m$  – усредненный модуль отрицательных  $B_r$ ;  $S_{+fields}$  – доля площади широтной зоны (в %), занимаемой положительными значениями  $B_r$ . Анализ временных изменений  $S_p + S_m$  свидетельствует о различной природе крупномасштабного магнитного поля в приэкваториальной и в полярной областях солнечной атмосферы. Анализ вариаций  $S_{+fields}$  показал, что на низких широтах на  $R = 2.5R_{\odot}$  в течение 21, 22 и на фазе роста 23 цикла периодов со смешанной полярностью почти не наблюдается. Но, начиная с максимума 23 цикла, в приэкваториальной области смешанная полярность наблюдается до завершения длительного минимума активности. Высказано предположение, что это может быть одним из предвестников затяжного минимума между 23 и 24 циклами. Показано, что магнитное поле на  $R = R_{\odot}$  в максимуме 24 цикла существенно меньше, чем в максимуме соседнего 23 цикла, причем в диапазоне  $55^{\circ} - 75^{\circ}$  это различие достигает одного порядка.

TIME VARIATIONS OF THE LARGE-SCALE MAGNETIC FIELD IN THE SOLAR ATMOSPHERE, AT HEIGHTS FROM THE PHOTOSPHERE TO THE SOURCE SURFACE, by Z.S. Akhtemov, O.A. Andreeva, G.V. Rudenko, N.N. Stepanian, V.G. Fainshtein. Calculations of the magnetic field in the potential approximation (using the Bd technology (Rudenko, 2001)) were used to study time variations of some parameters of the large-scale magnetic field in the solar atmosphere. Synoptic maps (SMs) of radial component  $B_r$  of the calculated magnetic field were constructed at a height equal to 10 distances from the Sun's surface ( $R = R_{\odot}$ ) to the source's surface ( $R = 2.5R_{\odot}$ ). We marked 10-degree latitudinal zones on these SMs. The following characteristics of the magnetic field were determined within these latitudinal zones:  $S_p$ ,  $S_m$ ;  $S_{+fields}$ , where  $S_p$  is the positive  $B_r$  value averaged over latitude and longitude within a latitudinal zone;  $S_m$  is the averaged modulus of negative  $B_r$  values;  $S_{+fields}$  is the percentage of the latitudinal zone with positive  $B_r$  values. The analysis of time variations in  $S_{+fields}$  evidences the different origin of the large-scale magnetic field in the near-equatorial and polar regions of the solar atmosphere.

The analysis of time variations of S+field showed that there were almost no periods with the mixed polarity at  $R = 2.5R_{\odot}$  during solar cycles 21, 22 and ascending phase of solar cycle 23. But beginning from the maximum phase of solar cycle 23: in the near-equatorial region the mixed polarity had been observed for a long time until the prolonged solar minimum was over. We supposed that this could be a precursor of a long minimum between solar cycles 23 and 24. The magnetic field at  $R = R_{\odot}$  during the maximum phase of solar cycle 24 was shown to be much less than that during the maximum phase of solar cycle 23; in the range from  $55^{\circ}$  to  $75^{\circ}$ , this difference reached an order of one magnitude.

**Ключевые слова:** Солнце, магнитное поле, переполюсовка, крупномасштабные структуры

---

## 1 Введение

Данная статья является продолжением работ (Файнштейн и др., 2011; Степанян и др., 2012). Поставленные в них задачи, решенные для трех циклов с 21-го по 23-й, рассматриваются по материалам большей части 23 цикла и 24 цикла до апреля 2013 г.

Объектами исследования являются крупномасштабные структуры магнитного поля на высотах от фотосферы до поверхности источника для кэррингтоновских оборотов 1625–2135 (1975–2013 гг.). Исходным материалом для исследования послужили ежедневные магнитограммы продольного фотосферного магнитного поля высокого пространственного разрешения, полученные магнитографами KPNO и SOLIS (NSO, США).

С использованием этих материалов решены следующие задачи:

- Проведен новый расчет в потенциальном приближении радиальной компоненты магнитного поля  $B_r$  на десяти высотах от фотосферы ( $R_{\odot}$ ) до поверхности источника ( $2.5R_{\odot}$ ) с использованием “классической” коррекции полярного поля по наблюдениям с 1975 по 2013 гг. (кэррингтоновские обороты № 1625–2135).
  - Построены синоптические карты радиальной компоненты магнитного поля  $B_r$  на десяти высотах в атмосфере Солнца.
  - Определены изменения со временем, широтой и высотой следующих характеристик крупномасштабного магнитного поля:
    - Абсолютные значения потока “+” и “−” магнитного поля в каждой широтной зоне ( $S_p$  и  $S_m$ ).
    - Сумма абсолютных значений “+” и “−” потоков магнитного поля для каждой широтной зоны ( $S_p + S_m$ ), или суммарный поток.
    - Разность абсолютных значений потока “+” и “−” магнитного поля для каждой широтной зоны ( $S_p - S_m$ ), или результирующий поток.
    - Доля площади 10-градусных широтных зон в процентах, занимаемая “+” магнитным полем на синоптических картах  $S_{+fields}$ .
- Знак “+” означает направление радиальной компоненты магнитного поля от Солнца, то есть (N-поле), а знак “−” – к Солнцу (S-поле).
- Выявлены особенности изменения со временем перечисленных выше параметров в 24 цикле.

## 2 Расчет радиальной компоненты магнитного поля $B_r$ и построение синоптических карт

Расчеты магнитного поля в короне проводились в рамках модели “потенциальное поле – поверхность источника” с использованием Vd-технологии (Руденко, 2001). В рамках этой модели в потенциальном приближении рассчитывались три компоненты магнитного поля в пространстве между фотосферой и поверхностью источника (сферой радиусом  $R = 2.5R_{\odot}$ , где  $R_{\odot}$  – радиус Солнца). При этом в данной работе использовалась так называемая “классическая” коррекция полярного

поля, впервые предложенная в работе (Свалгаард и др., 1978). В дальнейшем эта коррекция стала применяться в расчетах магнитного поля в короне в потенциальном приближении (Хоексема и др., 1983). Суть этой коррекции состоит в прибавлении к измеренному полю в полярной области в диапазоне широт  $70^\circ - 90^\circ$  добавочного радиального поля  $K \cos(90^\circ - \theta)$ , где  $\theta$  — широта, коэффициент  $K$  зависит от фазы цикла солнечной активности (он максимальный в минимуме ( $\approx 11.5$  Гс) и минимальный в максимуме активности).

В предыдущих наших работах (Файнштейн и др., 2011; Ахтемов и др., 2012) использовался подход к расчету магнитного поля в короне в потенциальном приближении, когда предполагалось, что в области измерения магнитного поля в фотосфере магнитное поле на всей поверхности Солнца радиальное. Этот метод расчета поля в потенциальном приближении был предложен в работе Ванга и Шили (1992). Авторы этой работы привели ряд аргументов в поддержку преимущества своего метода по сравнению с методом, использующем “классическую” коррекцию полярного магнитного поля. В частности, они пришли к выводу, что использование приближения радиального поля приводит к лучшему согласию конфигураций рассчитанных оснований открытых магнитных трубок в полярной области с измеряемыми полярными корональными дырами. Предполагая провести изучение переполюсовки полярного магнитного поля с использованием расчетов поля в короне в потенциальном приближении, мы выбрали для расчетов метод Ванга и Шили (1992).

Опираясь на результаты расчетов магнитного поля в потенциальном приближении в работе (Степанян и др., 2012) были сделаны важные выводы об особенностях переполюсовки на разных высотах и разных широтах. Возник вопрос: зависят ли эти результаты от использовавшегося метода расчета магнитного поля в короне? Было решено провести анализ динамики магнитного поля на разных высотах, применяя другой подход к расчетам поля в короне, использующий “классическую” коррекцию полярного поля. Был принят во внимание факт, что этот метод более точно позволяет определить конфигурацию нейтральной линии на поверхности источника, чем метод Ванга и Шили (1992) (Файнштейн, Манженко, 2003). Это означает, что он позволяет более точно рассчитывать магнитное поле на поверхности источника, по крайней мере вне полярных областей.

В данных расчетах поля использовалось разложение потенциала поля по 30 гармоникам сферических функций. На поверхности Солнца это соответствует пространственному разрешению примерно 102 угловых секунды. Формирование синоптических карт радиальной компоненты поля  $B_r$  осуществлялось стандартным образом. На сферической поверхности фотосферы радиальное магнитное поле усреднялось в фиксированных точках по магнитограммам, в пределы которых эти точки попадали, с учетом весового коэффициента для каждой магнитограммы. В результате основной вклад вносили магнитограммы, для которых анализируемые точки оказывались вблизи центрального меридиана. Эта процедура осуществлялась с шагом  $1^\circ$  по долготе до полного покрытия выбранной сферической поверхности.

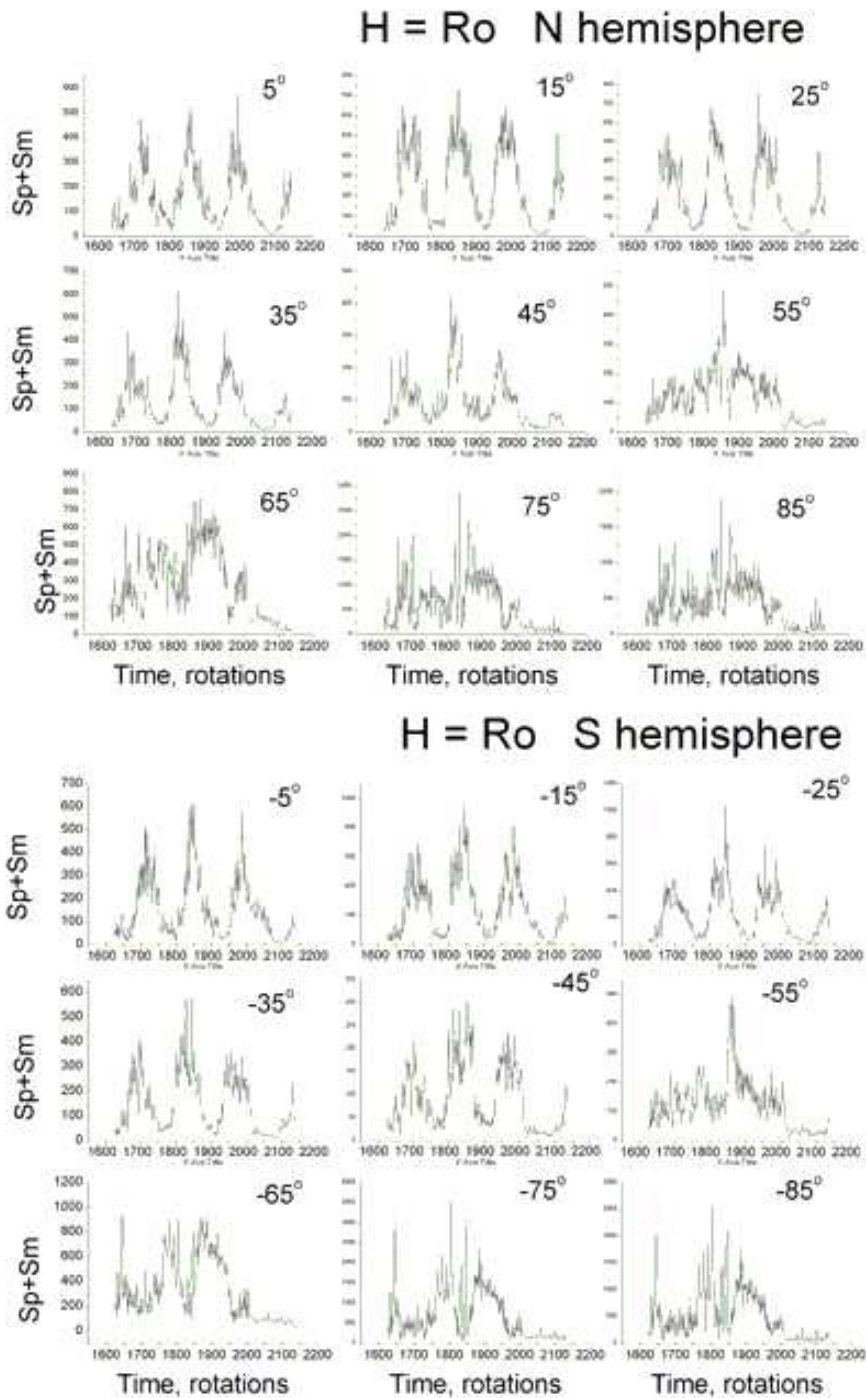
### 3 Поток магнитного поля

#### 3.1 Суммарные и результирующие магнитные потоки

По синоптическим картам для всех высот в 10-градусных широтных зонах были подсчитаны потоки магнитного поля каждого знака. Обозначим поток “+” поля в зоне  $10^\circ$  по широте и  $360^\circ$  по долготе как  $S_p$ . Абсолютное значение потока “-” поля от такой же зоны обозначим  $S_m$ . Суммарным потоком назовем  $S_p + S_m$ , а результирующим  $S_p - S_m$ . На рис. 1 показано изменение со временем суммарных потоков в N- и S-полусферах на высоте фотосферы ( $H = R_\odot$ ). На рис. 2 приведено изменение чисел Вольфа.

На рис. 3 показаны суммарные магнитные потоки на высоте  $2.5R_\odot$ . На рис. 4 представлено изменение со временем результирующих потоков ( $S_p - S_m$ ) в N- и S-полусферах на высоте  $H = R_\odot$ . На графиках рис. 1, рис. 3, рис. 4 видно, что в последний минимум активности суммарные и результирующие магнитные потоки на всех широтах достигают наименьшей за последние 38 лет величины. Это же относится ко всем высотам, для которых проводились расчеты.

Изменение со временем суммарных магнитных потоков в фотосфере на широтах от  $-45^\circ$  до



**Рис. 1.** Суммарные потоки  $Sp + Sm$  от девяти широтных зон в N-полусфере (верхняя панель графиков) и в S-полусфере (нижняя панель). Графики относятся к высоте  $H = R_{\odot}$  (фотосфера). Временной интервал – 38 лет, номера оборотов 1625–2135. Центральные значения широты каждой зоны указаны на графиках справа

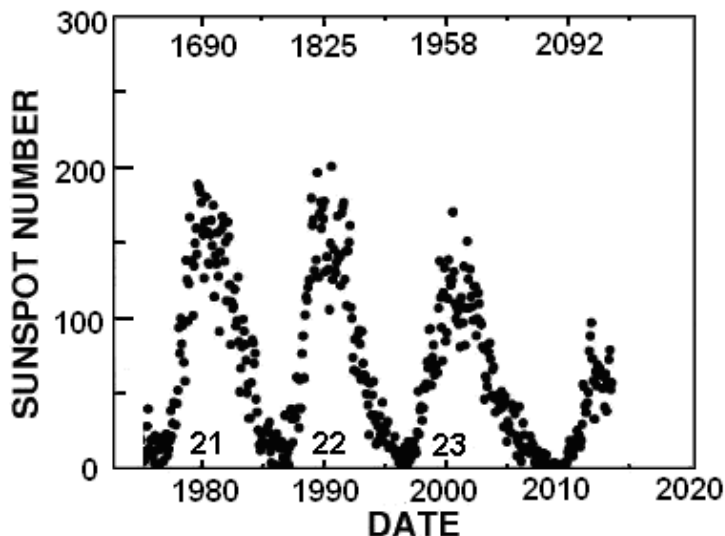


Рис. 2. Изменения чисел Вольфа с той же временной шкалой, что и на графиках, приведенных на рис. 1

$+45^\circ$  по виду похоже на изменение чисел Вольфа. При более детальном рассмотрении видно, что нет полного совпадения этих характеристик как внутри отдельных циклов, так и в относительной величине максимальных значений в трех рассматриваемых циклах.

Выше широт  $\pm 45^\circ$  картина меняется. На широте  $55^\circ$  и выше циклический характер изменения суммарного потока проявляется плохо. Возможно, что это отражает разную природу крупномасштабного магнитного поля в полярных областях и на более низких широтах. На широтах ниже  $\pm 45^\circ$  крупномасштабное поле возникает при усреднении полей пятен, мелкомасштабных полей на границах ячеек хромосферной сетки, а также полей корональных дыр, промежуточных областей и др. Возможно, что есть вклад фонового крупномасштабного поля. В полярных областях крупномасштабное поле есть результат усреднения поля полярной корональной дыры и полей на границах, окружающих дыру ячеек хромосферной сетки. Кроме того, здесь существенным является вклад фонового поля (преимущественно дипольного поля) в той же дыре. Слабовыраженная цикличность суммарного потока на высоких широтах отражает, вероятно, характер изменения со временем магнитного поля прежде всего в полярной корональной дыре, которое меняется отличным образом от полей солнечных пятен. Если поля пятен отчетливо проявляют солнечную цикличность, то поле в полярной дыре меняется более сложным образом, без четко выраженной цикличности.

Отметим еще одну особенность изменения суммарного потока со временем. Вблизи оборота CR 1900 в обоих полушариях на широтах выше  $55^\circ$  на всех высотах наблюдается высокий максимум суммарного потока.

На высоте  $2.5R_\odot$  только для широт вблизи экватора можно увидеть некоторое сходство изменения суммарного потока с числами Вольфа. На всех остальных широтах цикличность суммарного потока выделяется плохо. Так как на поверхности источника мы наблюдаем только поля в открытых магнитных трубках, исходящих из корональных дыр, отсутствие здесь выраженной цикличности на высоких широтах аналогично результату, полученному на поверхности Солнца, и позволяет сделать следующий вывод: усредненное поле в полярной дыре на всех высотах меняется со временем иначе, чем пятенная активность.

Мы сравнили моменты максимумов фотосферных суммарных потоков с моментами переполюсовок полярных полей и моментами максимумов чисел Вольфа. Результат сравнения представлен на рис. 5.

Сопоставление моментов максимумов суммарных потоков на разных широтах, переполюсовок

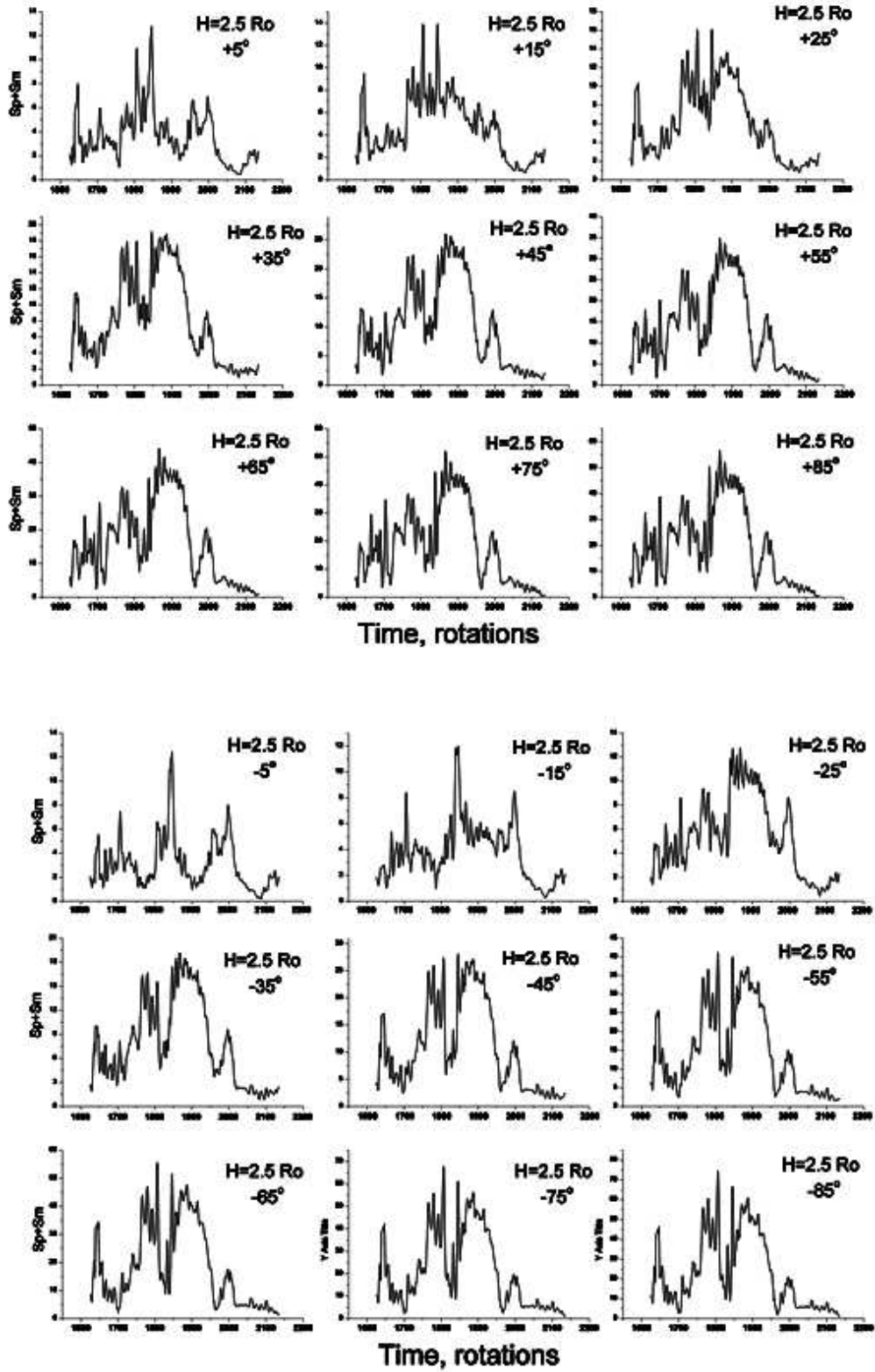


Рис. 3. То же, что и на рис. 1, но для высоты  $H = 2.5 R_{\odot}$

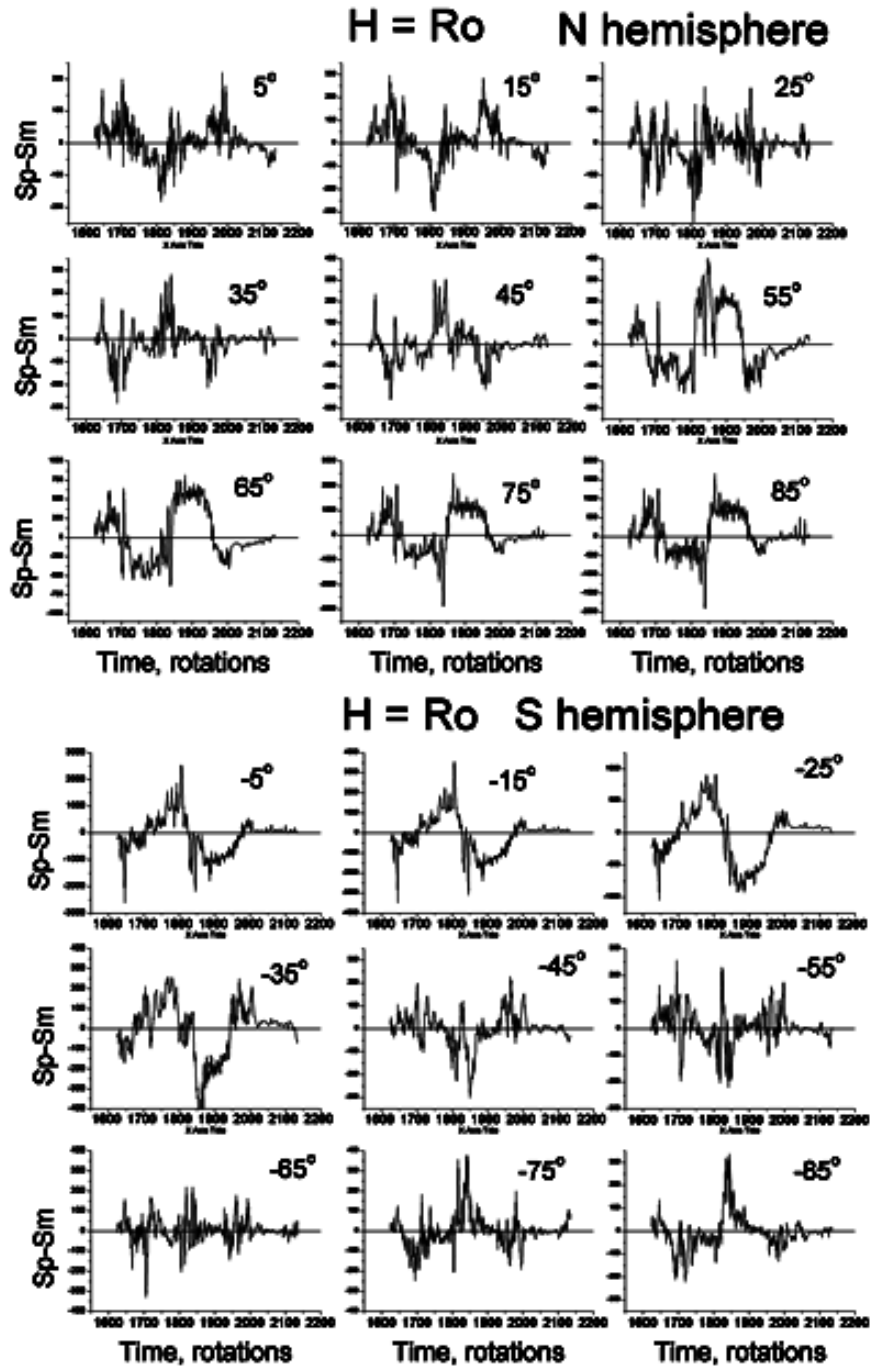
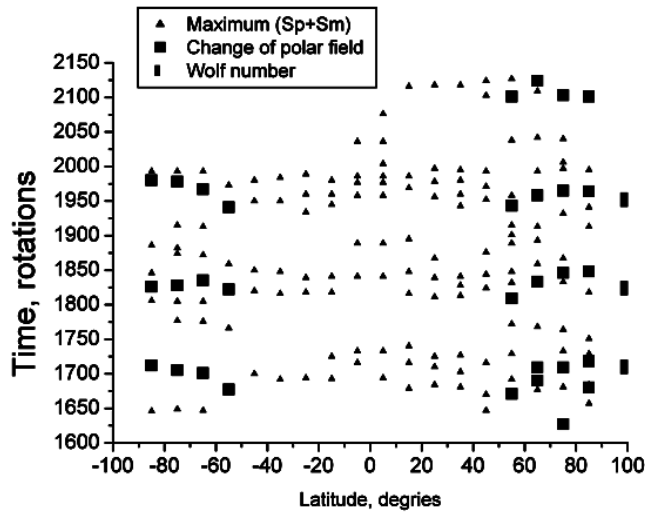


Рис. 4. Результирующие потоки  $S_p - S_m$  от девяти широтных зон в N-полушере (верхняя панель графиков) и в S-полушере (нижняя панель). Графики относятся к высоте  $H = R_{\odot}$  (фотосфера)



**Рис. 5.** Сопоставление моментов максимумов  $S_p + S_m$ , переполюсовок полярного поля и максимумов чисел Вольфа. Черные черточки – моменты максимумов  $S_p + S_m$ , определенные по графикам рис. 1. Черными квадратами нанесены средние моменты переполюсовок на высоких широтах. Об их получении будет сказано ниже. Справа черными вертикальными прямоугольниками нанесены моменты максимумов чисел Вольфа, взятые из Интернета

полярных полей и максимумов чисел Вольфа показывает, что характер изменения со временем высокоширотного магнитного поля существенно отличается от циклических вариаций пятенной активности Солнца, видимо это отражает особенность изменения со временем усредненного поля в полярной корональной дыре.

### 3.2 Площади, занятые магнитным полем одного знака

Для каждой широтной зоны была определена площадь, занятая магнитным полем “+” полярности. Результаты выражались в процентах от полной площади соответствующей широтной зоны. Назовем этот параметр  $S_{+fields}$ .

Примем, что во всей широтной зоне поле имеет знак “+”, если площадь, занятая “+” полем  $S_{+fields} \geq 80\%$  и знак “-”, если  $S_{+fields} < 20\%$  площади зоны. Поскольку такие обширные униполярные области чаще всего относятся к высоким широтам вплоть до полюса, назовем такое поле полярным.

На рис. 6 представлены изменения со временем широтных распределений знака полярного поля на разных высотах в атмосфере Солнца. Первое, что видно на этих рисунках, это уменьшение с ростом высоты площади областей, занятых смешанными полями (белые области на графиках). На высоте 2.5 радиуса Солнца структура крупномасштабного поля практически представляет собой диполь. Исключением является период около 2000-го кэррингтоновского оборота.

Из рис. 6 следует, что начиная с максимума 23 цикла структура магнитного поля на поверхности источника на низких широтах усложняется. Это проявляется в отсутствии в течение длительного времени униполярных областей в приэкваториальной части поверхности источника. Возможно, что это один из предвестников последующего затянувшегося минимума.

### 3.3 Переполюсовки полярных полей

В работе Степанян и др. (2012) были получены важные результаты, касающиеся деталей переполюсовки полярного магнитного поля для 21–23 солнечных циклов. Был сделан вывод, что для всех рас-



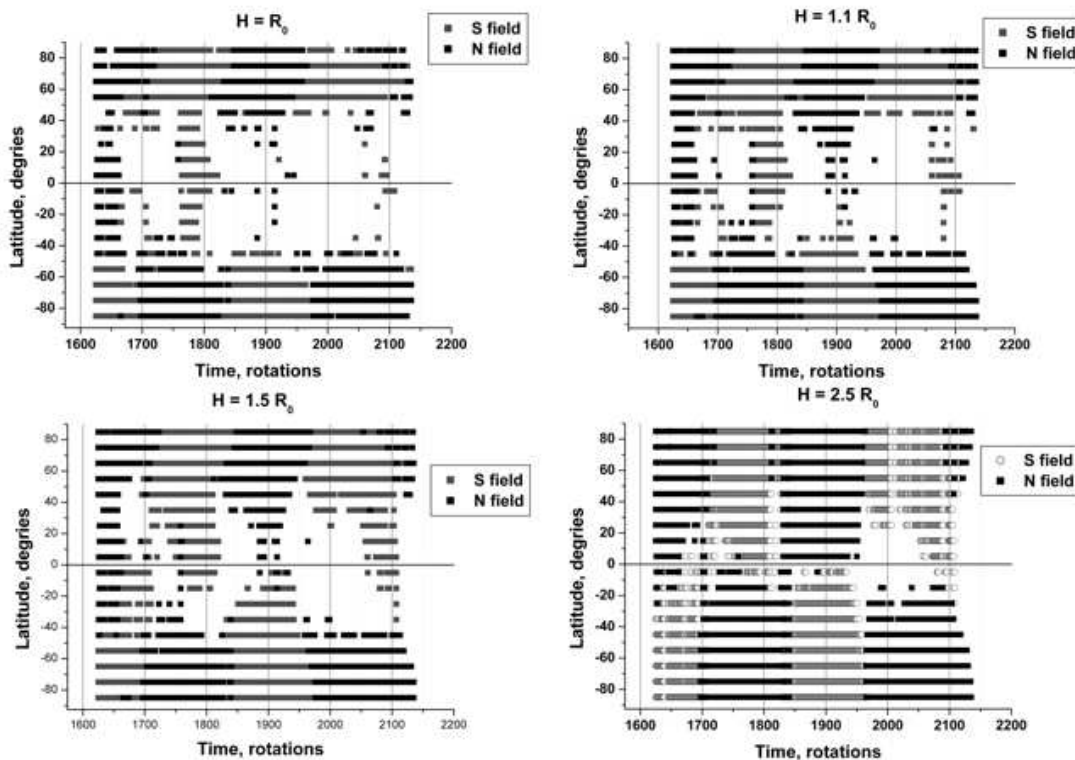


Рис. 6. Изменения со временем широтных распределений знака полярного поля на разных высотах в атмосфере Солнца. Серым цветом обозначено S полярное поле, черным – N-поле

смотренных циклов активности переполюсовка начинается раньше и заканчивается существенно (на 6–16 кэррингтоновских оборотов) раньше на поверхности источника, чем на поверхности Солнца. Было также обнаружено, что переполюсовка может происходить неоднократно, причем в отличие от вывода, сделанного в работе (Макаров, Сивараман, 1989) о том, что трехкратная переполюсовка наблюдается только в четных циклах, в нашем случае неоднократная переполюсовка происходила как в четном, так и в нечетном циклах. В то же время в одном нечетном цикле переполюсовка была неоднократной, в другом – однократной. Результаты об опережении переполюсовки на больших высотах по сравнению с маленькими можно интерпретировать таким образом, что в начале происходит изменение знака на полюсах у крупномасштабной составляющей магнитного поля в короне, а затем у мелкомасштабных компонент, которые концентрируются вблизи поверхности Солнца. Было также показано, что на высоте  $H = R_{\odot}$  процесс переполюсовки в полярной области в обоих полушариях начинается раньше в широтных зонах, расположенных ближе к экватору.

Возникает вопрос: в какой степени эти результаты отражают реальные процессы переполюсовки? Ведь они получены с использованием расчетов магнитного поля в короне в рамках достаточно упрощенной модели. Ответ на этот вопрос мы можем дать, сравнив процесс переполюсовки на поверхности Солнца по результатам расчетов магнитного поля двумя методами: с радиальной и классической коррекцией полярного поля (см. раздел 2 данной работы). Такое сравнение было проведено для переполюсовок в трех циклах на высотах от одного до 2.5 радиуса Солнца на широте  $75^{\circ}$ . Результаты расчетов представлены на рис. 7. Как видим, оба метода дают близкие результаты. Это может рассматриваться как аргумент в поддержку надежности сделанных нами выводов.

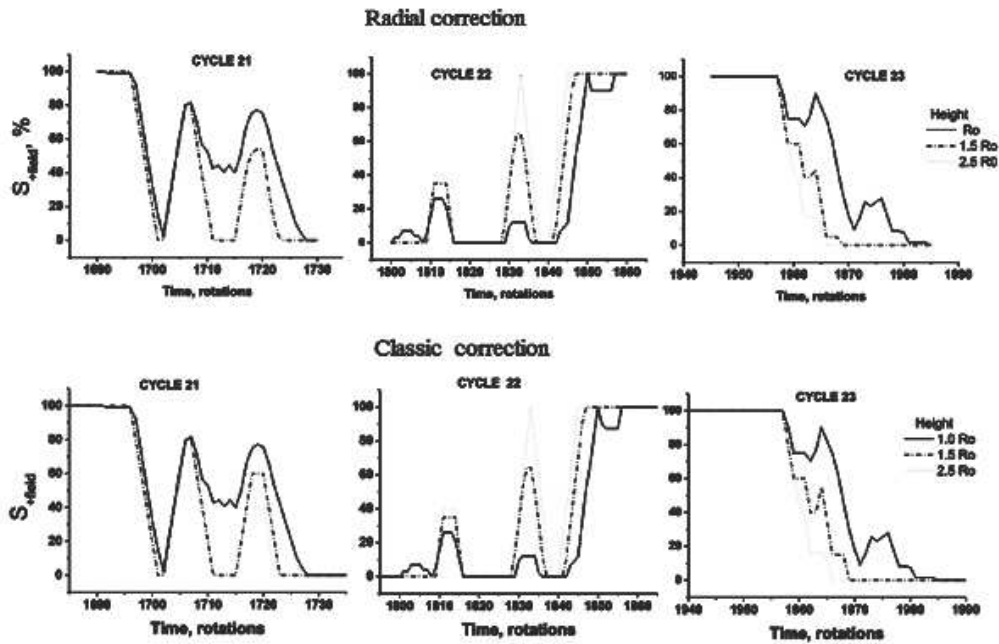


Рис. 7. Изменение площади 10-градусной зоны на широте  $75^\circ$ , занятой “+” полем на высотах  $1-2.5R_\odot$  в периоды переполюсовок в 21, 22 и 23 циклах. Верхние рисунки получены при расчете магнитного поля методом радиальной коррекции полярного поля, а нижние – методом “классической” коррекции

## 4 Характеристики 24-го цикла

Остановимся подробнее на характеристиках 24-го цикла. Известно, что минимум между 23-м и 24-м циклами был затяжным. Рассмотрим, как в соответствии с наблюдениями магнитографа SOLIS менялись крупномасштабные магнитные поля на Солнце.

### 4.1 Суммарные и результирующие потоки магнитного поля в 24 цикле

Выше (см. рис. 1, 3) мы говорили, что в минимуме активности между 23 и 24 циклами суммарные магнитные потоки на всех широтах достигают минимальной за последние 38 лет величины. Это уменьшение суммарных потоков совпало с введением в строй нового магнитографа SOLIS, данные которого мы используем в данной работе. Мы разными способами убедились, что магнитное поле в 24 цикле существенно меньше, чем в предыдущих циклах. В том числе и по Стенфордским данным об общем магнитном поле Солнца. На рис. 8 представлено изменение суммарных и результирующих потоков на широте во время минимума и роста активности 24 цикла (в течение оборотов CR2000–CR2135).

Как следует из рис. 8, суммарный поток показывает интересный характер изменения его амплитуды в 24 цикле в зависимости от широты. Максимальная амплитуда пиков суммарного потока растет от широты  $5^\circ$  до широты  $25^\circ$ , где становится максимальной для всех рассмотренных широт, затем уменьшается и достигает минимального значения на широте  $65^\circ$  – примерно в 10 раз меньшего, чем на широте  $25^\circ$ . Но затем амплитуда отдельных пиков суммарного потока снова начинает

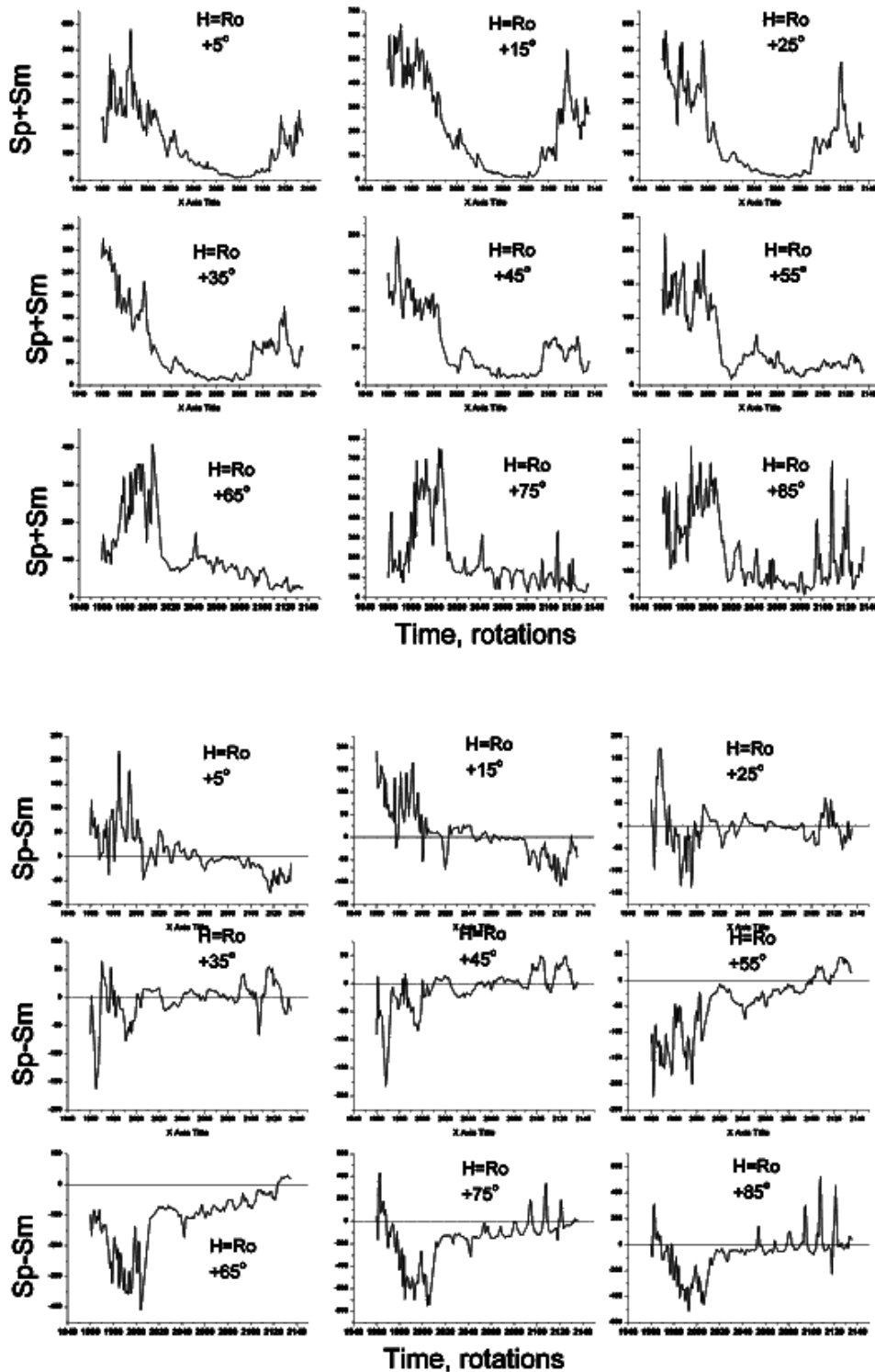
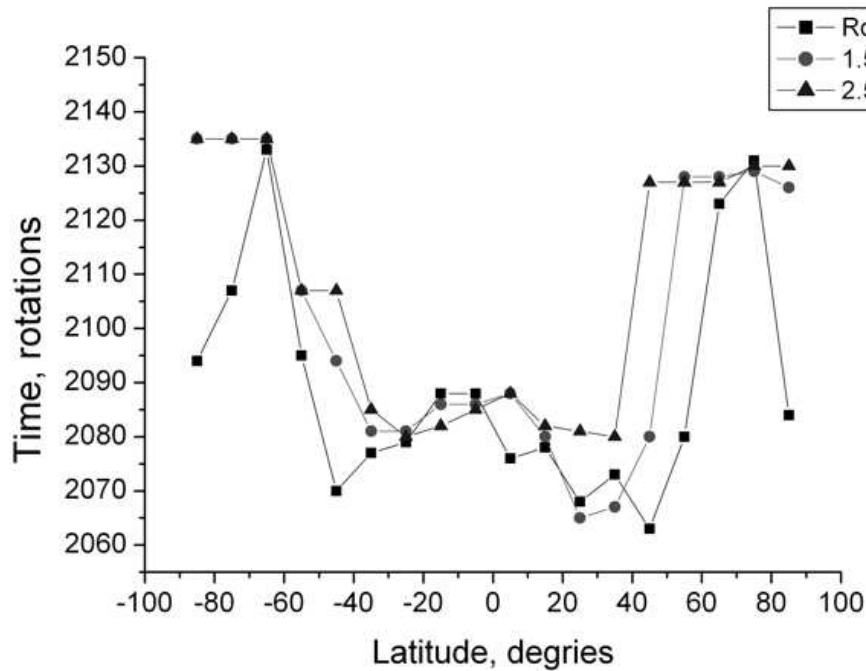


Рис. 8. Суммарные и результирующие потоки на девяти широтах конца 23 и начала 24 цикла в северной полусфере на высоте фотосферы



**Рис. 9.** Время достижения минимального значения  $S_p + S_m$  на различных широтах для 3-х высот: 1, 1.5 и 2.5 радиуса Солнца

расти и на широте  $85^\circ$  достигает значения, немногим меньшего максимального значения на широте  $25^\circ$ . Заметим, что максимум суммарного потока в 23 цикле показывает уменьшение при переходе от широт  $5^\circ$ – $25^\circ$  к широтам  $35^\circ$ – $55^\circ$ , а при больших широтах снова начинает расти. Результирующие потоки в 24 цикле активности также показывают зависимость их величины и знака от широты. Интересно, что изменения преимущественного знака результирующих потоков в 24 цикле происходят в противофазе с изменением знака в 23 цикле. Для каждой широтной зоны был определен момент минимального значения суммарного потока. Результат таких измерений на трех высотах представлен на рис. 9.

Как видно на рис. 9, минимум суммарного потока наступает раньше всего на широтах  $-45^\circ$  и  $+45^\circ$  в фотосфере. Затем он распространяется к полюсам и экватору, достигая экватора через 20 оборотов, а широт  $-65^\circ$  и  $+65^\circ$  через 60 оборотов. Наблюдается также волна распространения минимума от полюсов к экватору. Она проявляется менее уверенно. На высотах  $1.5$  и  $2.5 R_\odot$  картина подобная, но минимум суммарного потока, который достигается раньше всего, оказывается на более низких широтах.

#### 4.2 Переполюсовка 24 цикла

Как мы писали выше, 24 цикл отличается низкой пятенной активностью и происходит в существенно меньшем магнитном поле, чем предыдущие циклы.

На рис. 10 представлено изменение площади, занятой “+” полем  $S_{+fields}$  на широтах  $\pm 75^\circ$  на высотах  $1$ – $2.5 R_\odot$  для оборотов CR2050–CR2135.

Оказалось, что переполюсовка в 24 цикле активности имеет несколько особенностей по сравнению с 21–23 циклами. Во первых, она началась существенно раньше в северном полушарии, чем в южном. На низких высотах перед завершением переполюсовки поля наблюдается 4 или, возможно,

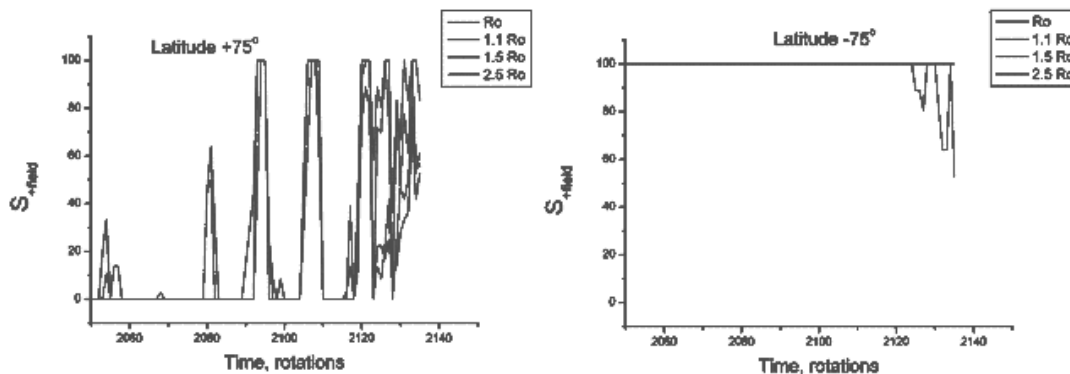


Рис. 10. Изменение площади, занятой “+” полем  $S_{+fields}$  на широтах  $\pm 75^\circ$  на высотах 1–2.5  $R_\odot$  для оборотов CR2050–CR2135

5 “вкраплений” положительной полярности (переполусовка еще не завершена) – это больше, чем в предыдущих циклах. Завершающая фаза переполусовки в северной полусфере Солнца происходит по другому сценарию, чем в предыдущем четном цикле активности – другое соответствие между поведением  $S_{+fields}$  на поверхности Солнца и на поверхности источника. Неясно, в какой последовательности завершится переполусовка на больших и маленьких высотах, но, похоже, обнаруженная тенденция в 21–23 циклах сохранится и в 24 цикле – на поверхности источника переполусовка закончится раньше, чем на поверхности Солнца.

Переполусовка в 24 цикле на широтах  $+55^\circ$  и выше начинается с оборота CR 2080 (начало 2009 года). В южном полушарии в это время только на широте  $-85^\circ$  появляются структуры “-” поля и они занимают около 30 % площади. На уровне фотосферы выбросы “+” поля сначала наблюдаются на широте  $75^\circ$  и только через 100 оборотов на более низких широтах. На высотах 1.5 и 2.5 радиуса Солнца все выбросы происходят одновременно. В южной полусфере к апрелю 2013 года переполусовка еще не наступила, но площадь  $S_{+fields}$  составила уже более 50 % широтной зоны  $55^\circ$ .

## 5 Заключение

- Сопоставление моментов максимумов суммарных потоков на разных широтах, переполусовок полярных полей и максимумов чисел Вольфа показало, что характер изменения со временем высокоширотного магнитного поля существенно отличается от циклических вариаций пятенной активности Солнца. Высказано предположение, что это отражает особенность изменения со временем усредненного поля в полярной корональной дыре.
- 24-й цикл солнечной активности характеризуется малой пятенной активностью и очень слабыми магнитными полями. Минимальное значение суммарного потока поля наблюдалось сначала на широтах  $45^\circ$  обеих полусфер, а затем распространялось к полюсам и экватору.
- Переполусовка 24 цикла сначала произошла в северной полусфере и на больших высотах.
- Сравнение процессов переполусовок трех циклов по двум типам расчетов магнитного поля в короне показало близкие результаты. Это является аргументом в поддержку надежности сделанных нами выводов.

## Литература

- Ванг и Шили (Wang Y.-M. and Sheeley N.R.) // *Astrophys. J.* 1992. V. 392. P. 310.
- Макаров и Сивараман (Makarov V.I., Sivaraman K.R.) // *Solar Phys.* 1989. V. 119. P. 35.
- Руденко (Rudenko G.V.) // *Solar Phys.* 2001. V. 198. P. 5.
- Свалгаард и др. (Svalgaard L., Duvall T.L., Jr. Scherrer P.H.) // *Solar Phys.* 1978. V. 58. P. 225.
- Степанян Н.Н., Ахтемов З.С., Файнштейн В.Г., Руденко Г.В. // *Солнечно-земная физика 2012: Всероссийская ежегодная конф. по физике Солнца.* СПб. 2012. С. 116.
- Файнштейн В.Г., Степанян Н.Н., Ахтемов З.С. и др. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 2011. Т. 107. № 1. С. 74.
- Файнштейн В.Г., Манженко А.А. // *Солнечно-земная физика.* 2003. Вып. 4. С. 33.
- Хоексема и др. (Hoeksema J.T., Wilcox J.M., Scherrer P.H.) // *J. Geophys. R.* 1983. V. 88. 1983. P. 9910.