

УДК 523.9-327:519.246.8:517.443:519.688

Вращение солнечных структур в верхней хромосфере II. Изменение со временем широтного распределения вращения активных областей и корональных дыр

Н.Н. Степанян¹, О.А. Андреева¹, Я.И. Зелык²

¹ НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

² ИКИ НАНУ – НКАУ

Поступила в редакцию 2 марта 2006 г.

Аннотация. В работе исследовались изменения во времени широтного распределения вращения мощных активных областей и корональных дыр. В качестве наблюдательного материала были использованы синоптические карты, полученные из наблюдений в линии HeI λ 1083 нм в обсерватории Китт Пик за почти три солнечных цикла. В результате Фурье-анализа временных рядов, построенных из синоптических карт, получены следующие результаты.

Вращение активных областей существенно отличается от вращения корональных дыр по всем параметрам: набору наиболее значимых периодов вращения, их широтному распределению и изменению со временем.

Для вращения активных областей и корональных дыр характерно изменение вращения от цикла к циклу, северо-южная асимметрия, меняющаяся со временем. Спектры мощности для последовательных циклов солнечной активности существенно различаются как для эпох высокой активности, так и для минимумов.

Анализ суммарной мощности спектров внутри выделенных четырех интервалов периодов от 21 до 33 суток показал, что наибольшая суммарная мощность приходится на интервалы периодов 24–27 и 27–30 суток. Это справедливо как для активных областей, так и для корональных дыр. Соотношение между суммарными мощностями в названных выше интервалах периодов заметно меняется со временем.

Для времени резкого уменьшения суммарной эквивалентной ширины активных областей характерны долгоживущие или последовательно возникающие активные области, вращающиеся с периодами в диапазоне 24–30 суток. Это не только время спада 11-летних циклов, но и минимумы между повторными максимумами активности в течение одного цикла. Преобладание долгоживущих корональных дыр при уменьшении их суммарной эквивалентной ширины заметно для корональных дыр с периодами вращения в интервале 30–33 суток.

Все вышесказанное свидетельствует о том, что вращение солнечных образований определяется, в основном, подфотосферными источниками конкретных образований, а не вращением основных объемов солнечной плазмы, определяющих невозмущенное Солнце.

ROTATION OF SOLAR STRUCTURES IN THE UPPER CHROMOSPHERE. II. Temporal variation of latitudinal distribution of active regions and coronal holes rotation, *by N.N. Stepanian, O.A. Andryeyeva and Ja.I. Zelyuk* Temporal variations of latitudinal distribution of powerful active regions and coronal holes rotation were investigated in this paper. As observables, synoptic maps were used derived from observations in HeI λ 1083 nm line at Kitt Peak Observatory during nearly three solar cycles. As

a result of Fourier analysis of time series plotted from synoptic maps, the following results have been obtained. The rotation of active regions differs greatly from rotation of coronal holes in all parameters: the set of the most significant rotation periods, their latitudinal distribution and temporal variation. The rotation of active regions and coronal holes is characterized by rotation variation from cycle to cycle, north-south asymmetry changing in the course of time. Power spectra for consequent cycles of solar activity differ greatly both for epochs of high activity and for minima. The analysis of spectra total power inside four selected period intervals from 21 to 33 days has shown that the most total power was for period intervals 24–27 and 27–30 days. It concerns both active regions and coronal holes. The correlation between total powers in period intervals mentioned above varies noticeably with time. For the time of dramatic decrease of total equivalent width of active regions, long-living and consequently appearing active regions are typical which rotate within period of 24–30 days. It is not just time of 11-year cycles' declining but also minima between recurrent maxima of activity during one cycle. The predominance of long-living coronal holes with the total equivalent width decreasing is noticeable for coronal holes with rotation periods of 30–33 days. All the results mentioned above prove that the rotation of solar structures is determined generally by subphotospheric sources of certain structures, but not by the rotation of mean volumes of solar plasma of the quiet Sun.

Ключевые слова: Солнце, вращение

1 Введение

В первой части данной работы (Андреева и др., 2006) было рассмотрено вращение мощных активных областей, корональных дыр и средних флоккулов на разных широтах в среднем за три последних солнечных цикла. В качестве наблюдательного материала были использованы синоптические карты, полученные из наблюдений в линии HeI λ 1083 нм в обсерватории Китт Пик. Вторая часть работы посвящена исследованию изменения во времени широтного распределения вращения мощных активных областей (АО) и корональных дыр (КД). Был использован тот же наблюдательный материал, что и в первой части работы. Напомним, что наблюдения относятся к временному интервалу с начала 1977 г. до конца сентября 2003 г., что соответствует 357 Кэррингтоновским оборотам Солнца №№ 1650-2006. Подробное описание методики перехода от синоптических карт к временным рядам, содержащим значения эквивалентных ширин линии HeI λ 1083 нм дано в (Андреева и др., 2006). Программное обеспечение анализа этих временных рядов было несколько изменено. Эти изменения представлены в работе (Зельк и др., 2007).

2 Изменение спектров мощности с широтой и временем

По исходным синоптическим картам Солнца создавались временные ряды отдельно для интервалов эквивалентных ширин, характерных для АО и КД, для всех пятиградусных широтных зон в пределах $\pm 80^\circ$. Для всех этих рядов строились спектры мощности для годичных интервалов с последовательным сдвигом на полгода.

На рис. 1 дан пример спектров мощности, полученных для широты 20° из временного ряда АО для шести последовательных годичных интервалов, первый из которых начинается с 912-го дня, а последний – с 1825-го дня общего ряда. Как видно на этих спектрах, в одной широтной зоне находится несколько пиков мощности, т. е. периодов с большим значением мощности PSD. Значения этих периодов со временем постепенно меняются. Через 1-2 года у некоторых периодов мощность падает, другие остаются мощными длительное время, но точное значение периода постепенно меняется. В работе (Андреева и др., 2006) мы получили вывод о том, что в спектрах мощности, построенных по всему материалу за три солнечных цикла, в одной и той же широтной зоне бывает несколько мощных пиков. Тогда мы не могли сказать, существуют ли эти пики одновременно или

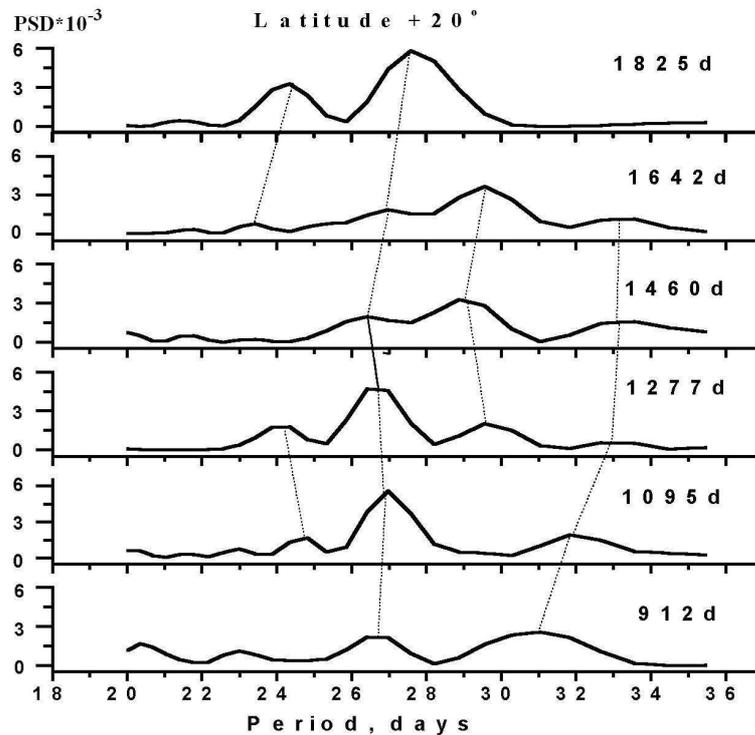


Рис. 1. Спектры мощности в условных единицах, полученные из временного ряда активных областей для широты $+20^\circ$, для шести последовательных интервалов в 365 суток, начинающихся с 912, 1095, ... 1825 суток от начала временного ряда. Близкие периоды в соседних временных интервалах соединены пунктирной линией

относятся к разным временным интервалам. Наличие одновременно нескольких периодов вращения солнечных образований было получено по другим данным в работах (Бадалян, 2007; Котов и др., 2001). Построив спектры мощности для годичных интервалов и всех широтных зон, мы можем уверенно сказать, что существуют оба вышеперечисленных варианта: в одно и то же время на одной широте наблюдается несколько мощных периодов вращения, и набор таких периодов меняется со временем.

Ввиду невозможности построить четырехмерные графики связи периодов, их мощности, гелиографической широты и времени, рассмотрим сначала связь первых трех названных параметров для нескольких интервалов времени.

3 Среднее вращение в отдельных максимумах и минимумах активности

Различие спектров мощности для АО и КД на разных широтах рассматривалось отдельно для эпох максимумов и минимумов солнечной активности. Из всего материала были выделены массивы, относящиеся к пяти временным интервалам, представленным в таблице 1.

Для каждого из пяти выделенных интервалов времени были построены спектры мощности для всех пятиградусных широтных интервалов в диапазоне $\pm 80^\circ$ отдельно для АО и КД.

На рис. 2 представлено трехмерное изображение зависимости мощности колебаний (PSD) от широты и величины периода в спектре мощности для АО в максимуме 21-го цикла. На рис. 3 и рис. 4 спектры мощности представлены для всех пяти временных интервалов с помощью изолиний. На графиках рис. 3 для эпох максимумов активности изолинии проведены через 375 относительных

Таблица 1. Выделение интервалов максимальной и минимальной солнечной активности из исследуемого временного ряда

№	Интервал времени, годы (дни от начала массива данных)	Характеристика активности
1	1978.5-1981 (600-1700)	Максимум 21-го цикла
2	1984.5-1986.5 (2600-3800)	Минимум 21-го цикла
3	1988.5-1991.5 (4300-5400)	Максимум 22-го цикла
4	1994-1997 (6300-7500)	Минимум 22-го цикла
5	1998-2001 (8200-9300)	Максимум 23-го цикла

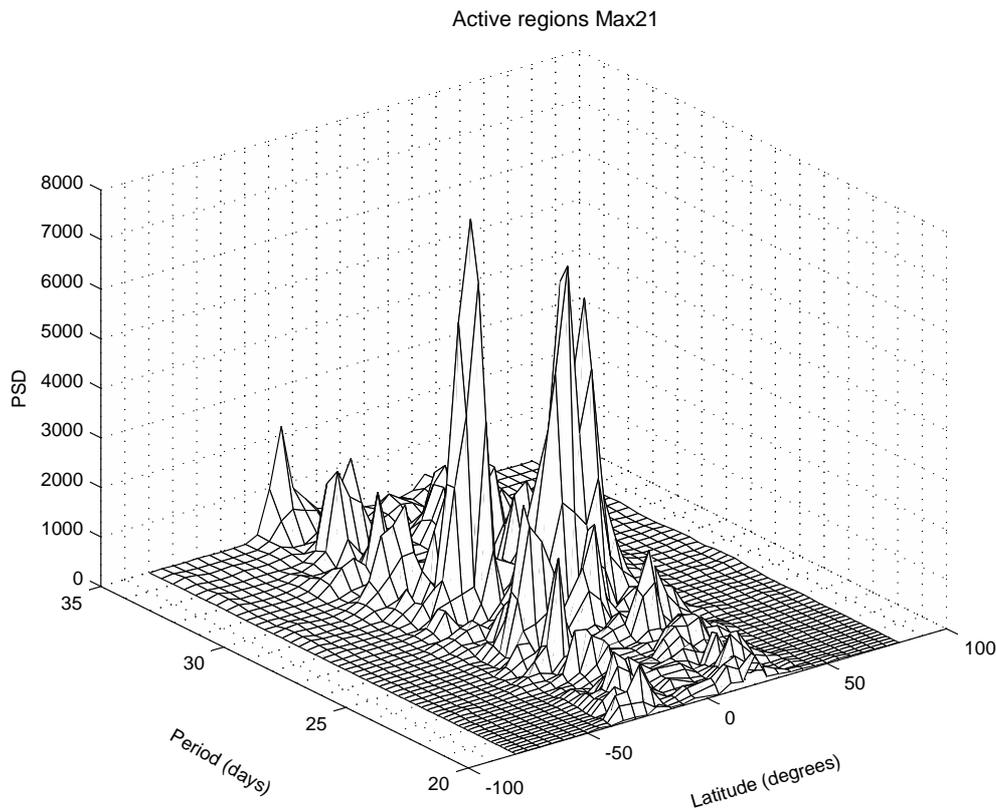


Рис. 2. Трехмерное изображение зависимости мощности колебаний от широты и величины периода в спектре мощности для АО в максимуме 21-го цикла

единиц PSD, а на рис. 4 для минимумов активности – через 37.5 тех же единиц. Аналогичные графики для КД представлены на рис. 5 и рис. 6. Интервал между изолиниями в этом случае 0.7 для рис. 5 и 0.5 для рис. 6.

Анализ полученных распределений для АО показал, что в максимумах и минимумах трех рассмотренных циклов вращение различается по интервалам встречающихся периодов вращения, значению периодов с максимальной мощностью в каждой полусфере и величине широтной зоны, в которой наблюдается вращение с наиболее мощным периодом. Эти характеристики приведены в таблице 2.

В таблице 3, аналогичной таблице 2, приведены данные о вращении корональных дыр.

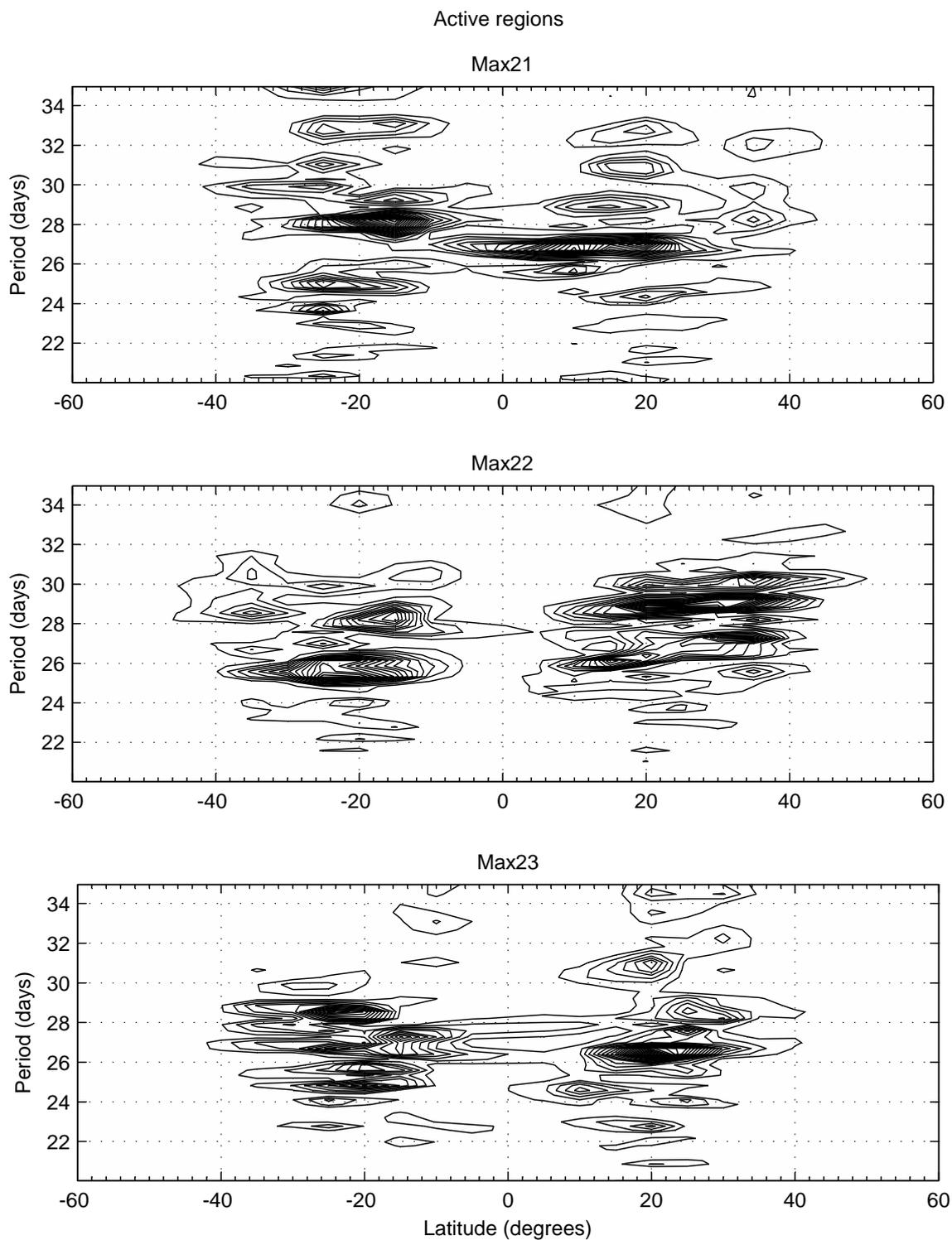


Рис. 3. Мощности колебаний в спектрах мощности для АО в зависимости от широты и величины периода. Для эпох максимумов активности изолинии проведены через 375 относительных единиц S

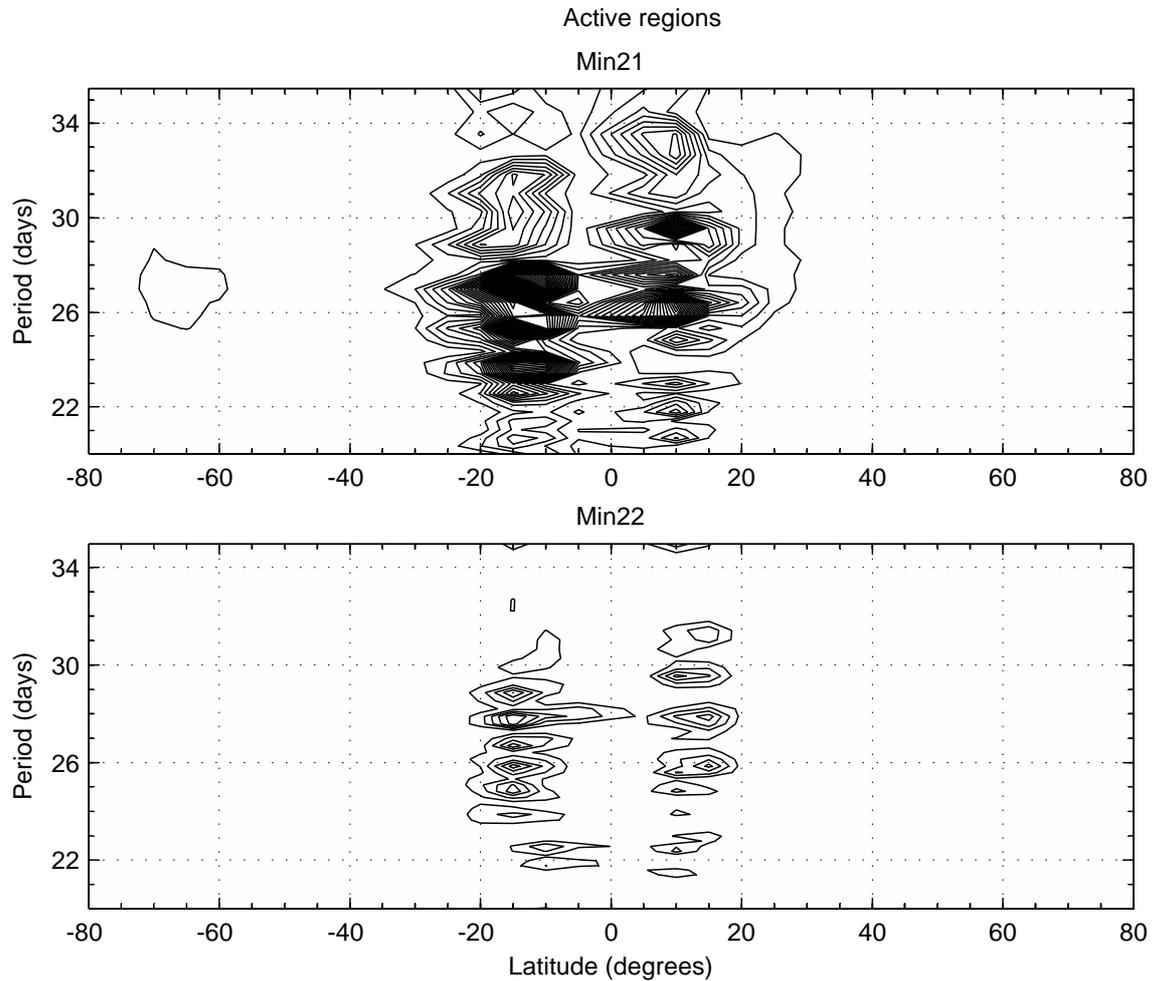


Рис. 4. Мощности колебаний в спектрах мощностей для АО в зависимости от широты и величины периода. Для эпох минимумов активности изолинии проведены через 37.5 относительных единиц S

Обширные области, в которых наблюдается вращение с наиболее мощным периодом (см. два последние столбца в табл. 2 и 3), нельзя считать зоной твердотельного вращения, так как на тех же широтах существуют и другие периоды, сравнимые с наиболее мощным периодом. Обращает на себя внимание малое количество корональных дыр в 22-м цикле. Первое, что бросается в глаза при рассмотрении таблиц 2 и 3 – это заметная северо-южная асимметрия вращения. Основные периоды вращения АО в S- и N-полусферах в максимумах отличаются на 1.2-3 суток. В минимумах различие периодов небольшое в 21-ом цикле (0.7 суток), и только в минимуме 22-го цикла периоды вращения равны. Разность скоростей вращения АО в двух полусферах меняет знак для каждого последующего максимума. Для КД картина иная. Начиная с максимума 21-го цикла и до минимума 22-го цикла, КД в N-полусфере вращались быстрее, чем в S-полусфере. После этого в N-полусфере КД стали вращаться медленнее, чем в S-полусфере. Обращает на себя внимание малое количество КД в 22-м цикле.

Северо-южная асимметрия наблюдается не только в значениях периодов вращения с наибольшей мощностью, но и в суммарной мощности вращения полусфер в интервале периодов 20-35 суток. На рис. 7 для АО и КД даны суммарные мощности спектров для двух полусфер в максимумах трех

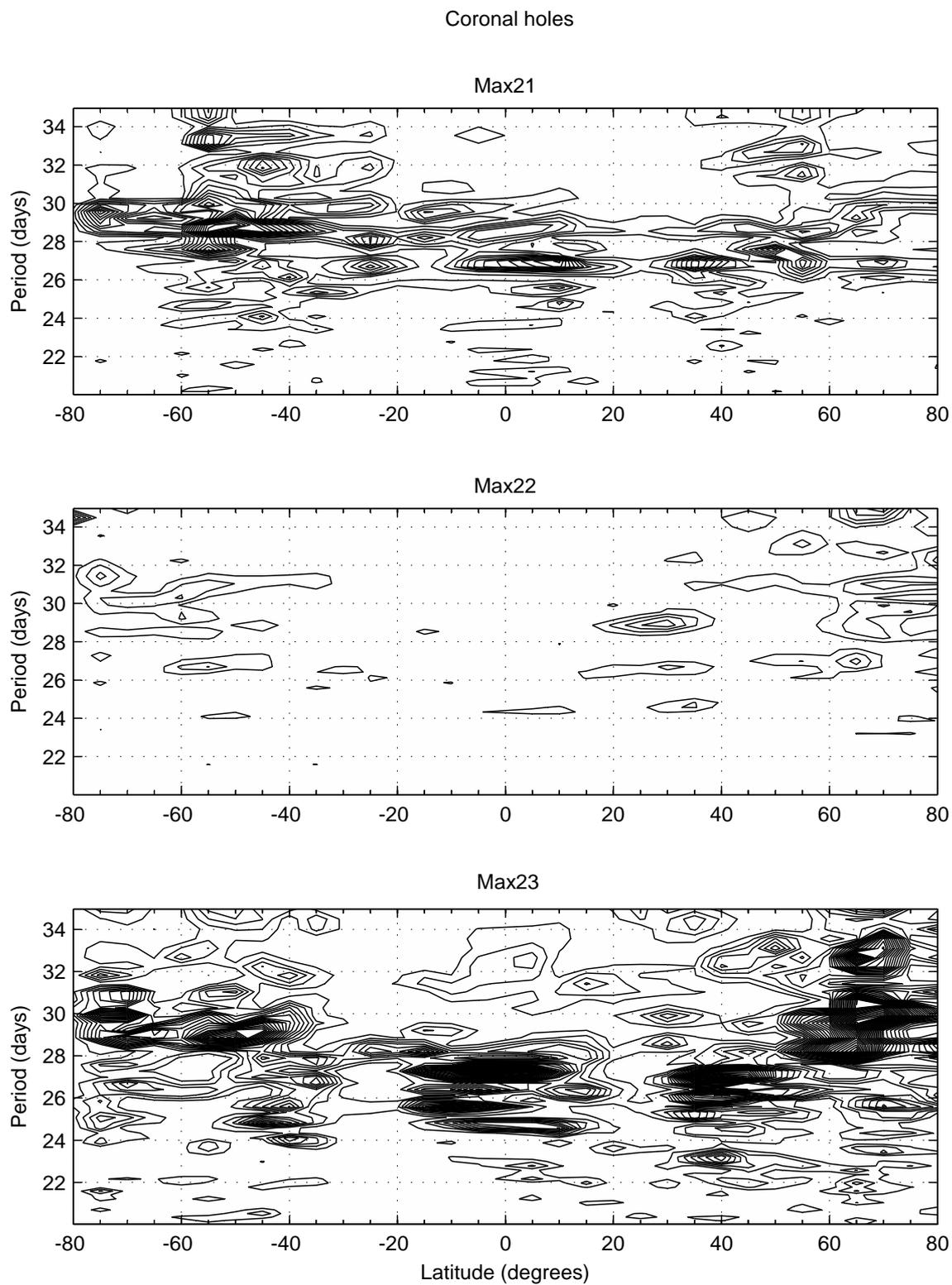


Рис. 5. Мощности колебаний в спектрах мощности для КД в зависимости от широты и величины периода. Для эпох максимумов активности изолинии проведены через 0.7 относительных единиц S

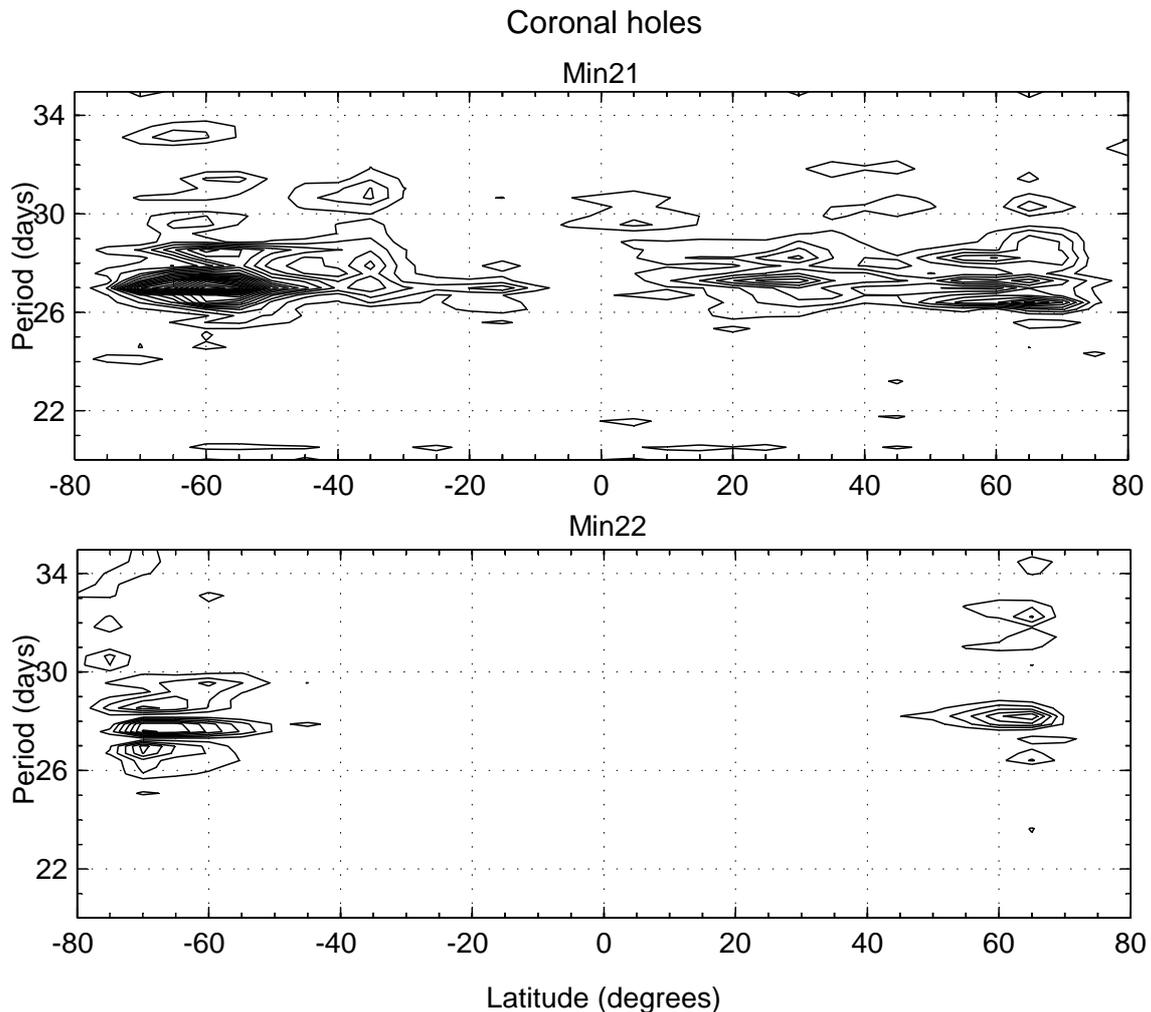


Рис. 6. Мощности колебаний в спектрах мощности для КД в зависимости от широты и величины периода. Для эпох минимумов активности изолинии проведены через 0.5 относительных единиц

циклов для всех пятиградусных широтных интервалов. Суммирование проводилось по полному интервалу периодов 20-35 суток.

Для АО характер широтного распределения суммарной мощности вращения в S-полусфере близок, за исключением заметно меньшей высоты максимума для 23 цикла. В N-полусфере распределение рассматриваемой величины существенно меняется от цикла к циклу.

4 Связь вращения с уровнем солнечной активности

Для временных рядов длиной в три солнечных цикла для АО и КД нами получена высокая корреляция широтных распределений суммарной эквивалентной величины и суммарной мощности спектров мощности в интервале периодов 20-35 суток. Для АО коэффициент корреляции $R=0.99$, а для КД $R=0.86$. Это означает, что практически вся мощность спектров, соответствующих АО и КД, сосредоточена в ограниченном диапазоне периодов 20-35 суток. Но, рассматривая изменение со временем связи суммарных эквивалентных ширин и спектров мощности, мы видим, что картина

Таблица 2. Характеристики вращения мощных активных областей в эпохи максимумов и минимумов солнечной активности

Временной интервал	Интервалы периодов с PSD >750 для максимумов и PSD >75 для минимумов, сутки		Период с максимальным значением PSD, сутки		Широтная зона вращения с периодом с максимальным значением PSD, градусы	
	S-полусфера	N-полусфера	S-полусфера	N-полусфера	S-полусфера	N-полусфера
Максимум 21-го цикла	20 – 35	24 –33	28.2	27	-30 – 0	-10 – 35
Максимум 22-го цикла	22 – 34	24 – 30	26	29	-40 – -5	10 – 45
Максимум 23-го цикла	22 – 30	21 – 34	28.5	26.8	-40 – -15	10 – 35
Минимум 21-го цикла	22 – 34	22 – 34	27.3	26.5	-35 – 0	0 – 35
Минимум 22-го цикла	22 – 29	22 – 32	28	28	-20 – 5	10 – 20

Таблица 3. Характеристики вращения корональных дыр в эпохи максимумов и минимумов солнечной активности

Временной интервал	Интервалы периодов с PSD >0.7 для максимумов и PSD >0.5 для минимумов, сутки		Период с максимальным значением PSD, сутки		Широтная зона вращения с периодом с максимальным значением PSD, градусы	
	S-полусфера	N-полусфера	S-полусфера	N-полусфера	S-полусфера	N-полусфера
Максимум 21-го цикла	24 – 35	22 –35	28.5	27	-80 – 0	-10 – 80
Максимум 22-го цикла	29 – 32	24 – 35	31	29	-75 – -30	20 – 40
Максимум 23-го цикла	20 – 35	22 – 35	27	30	-20 – +15	50 – 80
Минимум 21-го цикла	25 – 34	26 – 30	27	26.3	-75 – -10	35 – 75
Минимум 22-го цикла	26 – 31	26 – 32	27.8	28.1	-75 – -35	50 – 70

более сложная. Анализируя спектры мощности, построенные по годичным временным рядам для отдельных пятиградусных широтных зон, мы пришли к выводу, что в них можно выделить 4 последовательных интервала периодов длиной трое суток, в которые попадает большинство максимумов, превышающих уровень 3σ . Список этих интервалов приведен в таблице 4.

Для каждого исходного спектра мощности (для всех широт, годичных интервалов, для АО и КД) были найдены суммарные мощности $S_1(t, \varphi)$ в интервалах периодов, данных в таблице 4. На панелях рисунков 8-9 приведены изменения с широтой и временем суммарных мощностей спектров для АО в заданных интервалах периодов. Они показаны белыми изолиниями. Серый фон и черные изолинии, одинаковые для всех панелей (а,с) рисунков 8-9, представляют аналогичное распределение суммарной за год эквивалентной ширины линии HeI 1083 нм в АО (SumW). Последнее распределение аналогично бабочкам Маундера, которые строятся обычно по числам Вольфа. Просмотр этих графиков показывает, что распределение SumW в каждом цикле солнечной

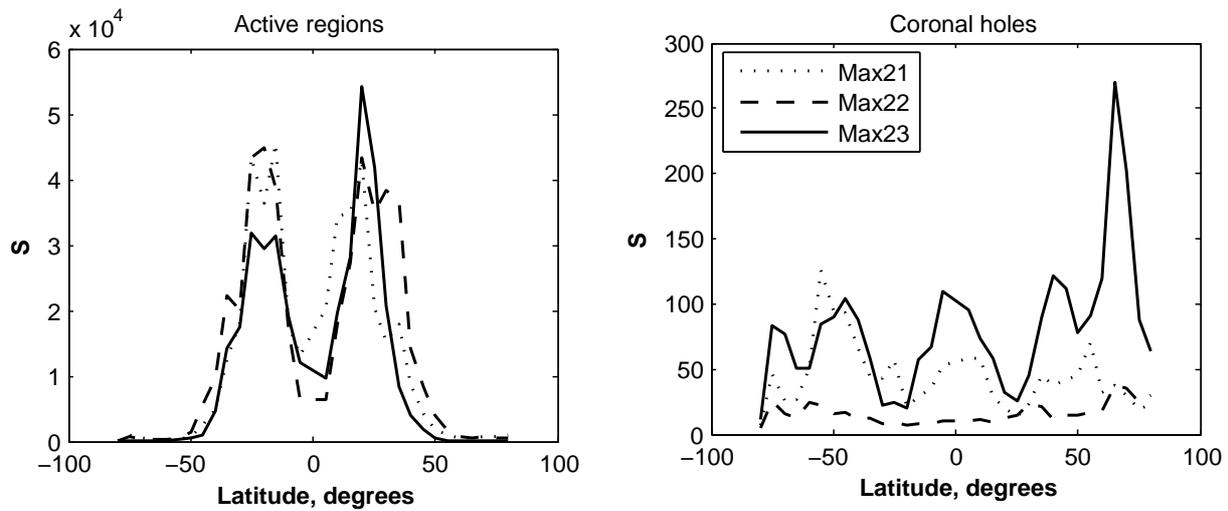


Рис. 7. Изменение с широтой суммарной мощности $S(\varphi)$ в интервале периодов ΔP 20-35 суток для эпох максимумов трех циклов в спектрах для АО и КД

Таблица 4. Выделенные интервалы периодов для определения суммарной мощности спектров.

№	Интервал периодов	Обозначение
1	$21 \leq P < 24$	21-24
2	$24 \leq P < 27$	24-27
3	$27 \leq P < 30$	27-30
4	$30 \leq P < 33$	30-33

активности имеет два или три максимума. Максимумы распределений $S_1(t, \varphi)$ для всех четырех интервалов периодов не совпадают с максимумами SumW . Особенно четко различие положений максимумов двух видов данных видно для областей периодов 24-27 и 27-30. Для выяснения вопроса, чем отличаются широтные зоны на Солнце с максимальными мощностями спектров и в какие моменты достигаются максимальные мощности, $S_1(t, \varphi)$ были нанесены на графики разности суммарных эквивалентных ширин $\text{DifW} = \text{SumW}(t_{k+1}, \varphi) - \text{SumW}(t_k, \varphi)$, где k – номера элементов временных рядов SumW в каждом широтном интервале. Результат такого наложения для АО показан на панелях (b,d) рисунков 8-9.

Для КД результаты аналогичной обработки представлены на рисунках 10-11.

Как видно на рисунках 8-9 (особенно на рис. 9), для АО максимумы $S_1(t, \varphi)$ близки по положению к минимальным значениям DifW , что соответствует моментам максимального уменьшения SumW на данной широте в течение года.

Для оценки количественных различий были измерены расстояния от максимумов $S_1(t, \varphi)$ до ближайших максимумов SumW и экстремумов DifW . Рассматривались значения максимумов $S_1(t, \varphi)$, превышающие 3000. Результат этих измерений представлен в таблице 5 для АО и в таблице 6 для КД. В скобках в столбцах 2-4 даны отношения соответствующих расстояний к расстоянию от максимума $S_1(t, \varphi)$ до минимума DifW .

Как видно из таблицы 5, для АО во всех случаях расстояние от максимума $S_1(t, \varphi)$ до минимума DifW наименьшее. Для периодов 21-24 и 30-33, в среднем, расстояния от максимума $S_1(t, \varphi)$ до минимума DifW и до максимума SumW почти равны. Но расстояние от максимума $S_1(t, \varphi)$ до

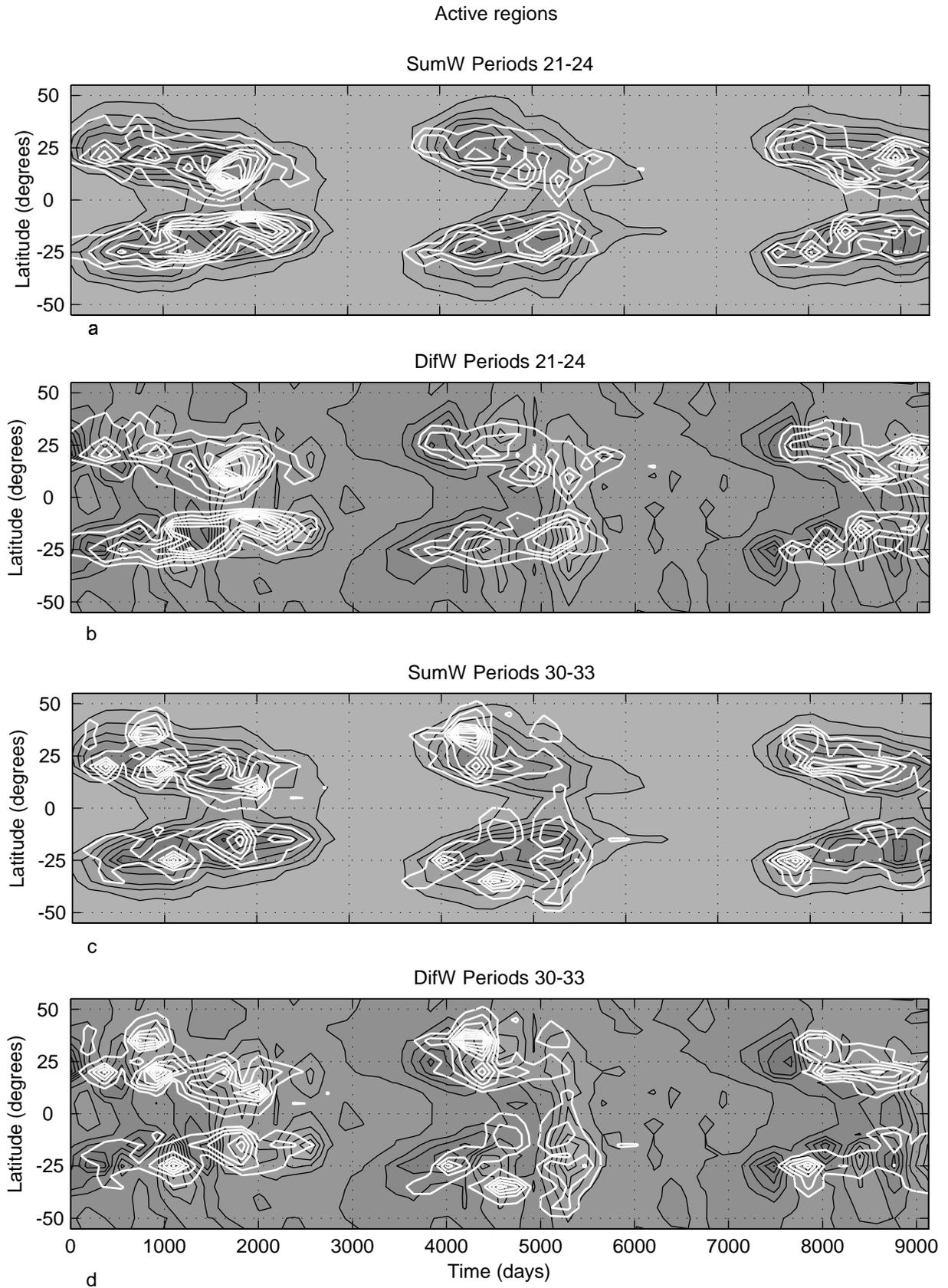


Рис. 8. Связь вращения с уровнем солнечной активности для АО в интервалах периодов 21-24 и 30-33 суток

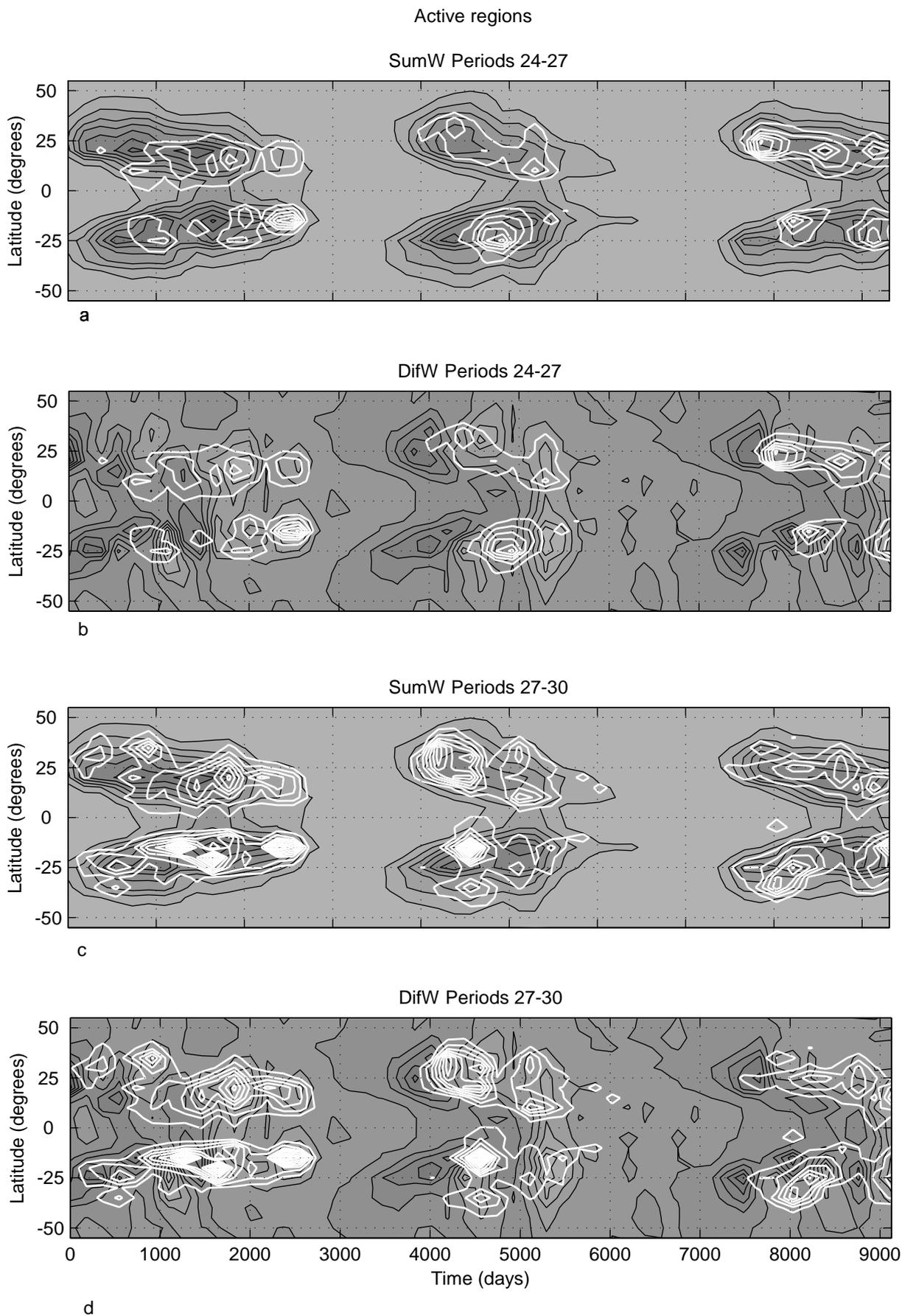


Рис. 9. То же, что и на рис. 8 для интервалов периодов 24-27 и 27-30 суток

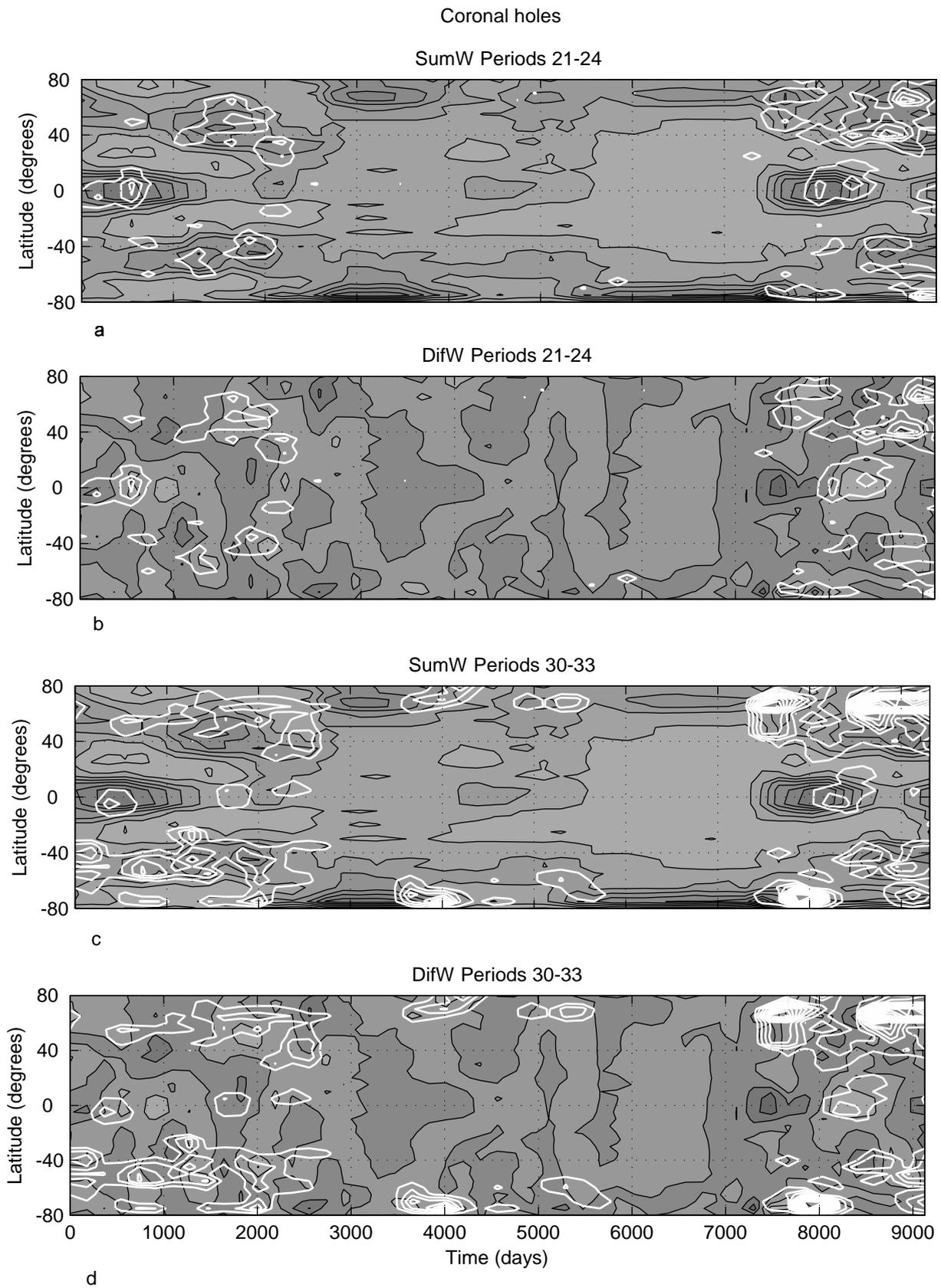


Рис. 10. То же, что и на рис. 8 для КД и для интервалов периодов 21-24 и 30-33 суток

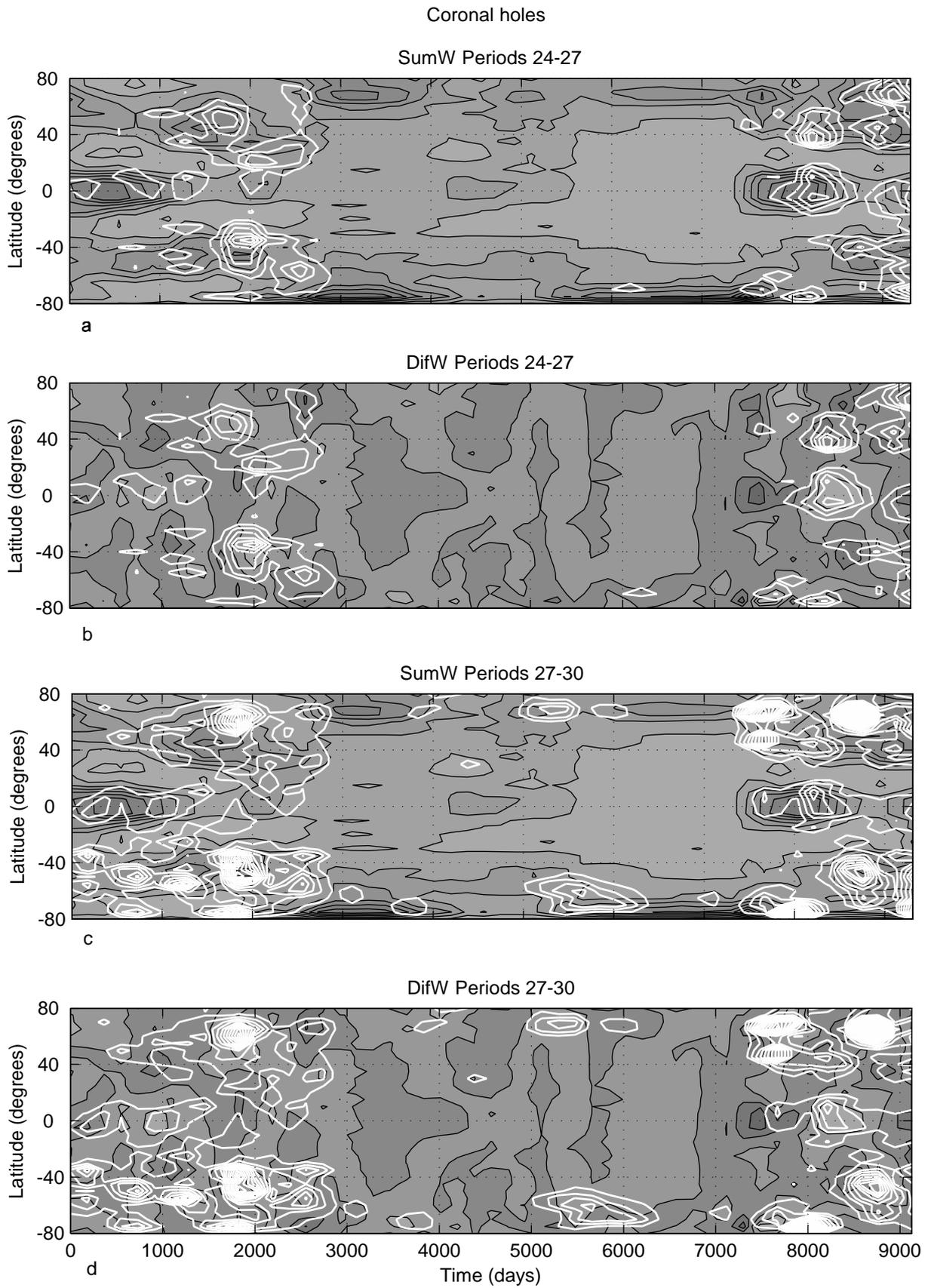


Рис. 11. То же, что и на рис. 10 для интервалов периодов 24-27 и 27-30 суток

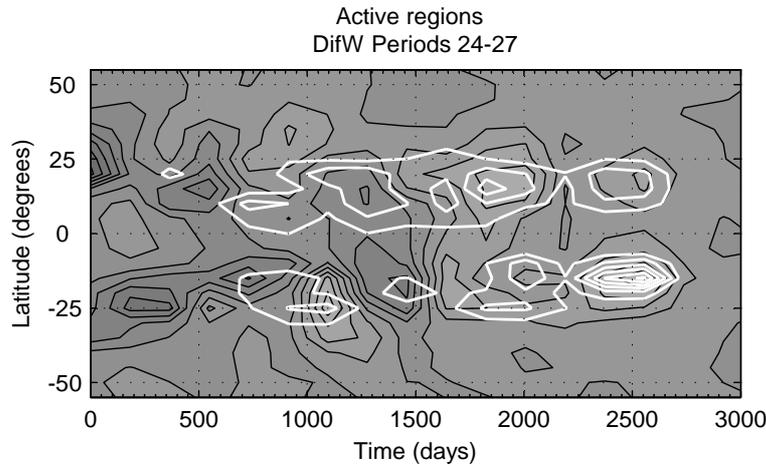


Рис. 12. Фрагмент рис.9(b) для максимума 21-го цикла солнечной активности

максимума DifW в 2 раза больше. Средние значения расстояний для периодов 24-30 существенно различаются для всех трех случаев. Отметим, что максимальные значения $S_1(t, \varphi)$ соответствуют наиболее стабильному вращению с периодом в интервале ΔP . Тогда результат, представленный в таблице 5, можно интерпретировать так: долгоживущие АО, или последовательно возникающие АО, вращающиеся с периодами в диапазоне 24-30 суток, характерны для времени резкого уменьшения активности. Это не только время спада 11-летних циклов. Как уже было сказано выше, каждый из трех рассматриваемых циклов имеет, как минимум, два максимума SumW. Между такими максимумами SumW в большинстве случаев наблюдаются минимумы DifW для АО. Долгоживущие АО, вращающиеся с периодами в диапазонах периодов 21-24 и 30-33, характерны для времени максимума и уменьшения активности. Мощности в этих диапазонах периодов значительно меньше, чем в диапазоне 24-30 суток для всех рассмотренных спектров. Преобладание долгоживущих КД при уменьшении их суммарной эквивалентной ширины заметно для КД с периодами вращения в интервале 30-33 суток и несколько меньше в интервале 21-24 суток.

5 Изменение со временем соотношения между выделенными периодами вращения

Рассмотрим подробнее изменение вращения АО и КД со временем и широтой. Обратимся для этого к рисункам 13 и 14, на которых разными линиями для четырех интервалов периодов нанесены изолинии, соответствующие значениям суммарной мощности $S_1(t, \varphi)$ 2000 и 7000 для АО (рис.13) и 10 и 15 для КД (рис.14).

Для АО изолиния $S_1=2000$ рис. 13 охватывает почти все встречающиеся значения суммарной мощности $S_1(t, \varphi)$ и грубо повторяет сдвиг по широте и времени, характерный для суммарной эквивалентной ширины SumW для АО. В каждом солнечном цикле длительное время (в фазах роста, максимума и начала спада активности) вращение в первых трех интервалах периодов (от 21 до 30 суток) существует одновременно во всей королевской зоне. Области наиболее медленного вращения с периодами 30-33 суток существуют в отдельные отрезки времени и в изолированных широтных зонах. Для них характерно одновременное присутствие на широтах, отстоящих друг от друга на 20 и более градусов. Перед минимумом активности наблюдается вращение АО только в интервале периодов 24-30 суток. Изолиния $S_1=7000$, характеризующая наиболее мощные пики мощности в спектрах мощности, относится, практически, только к двум интервалам периодов: 24-27 и 27-30 суток. На рис. 13 для этих периодов видно почти полное отсутствие сдвига по широте

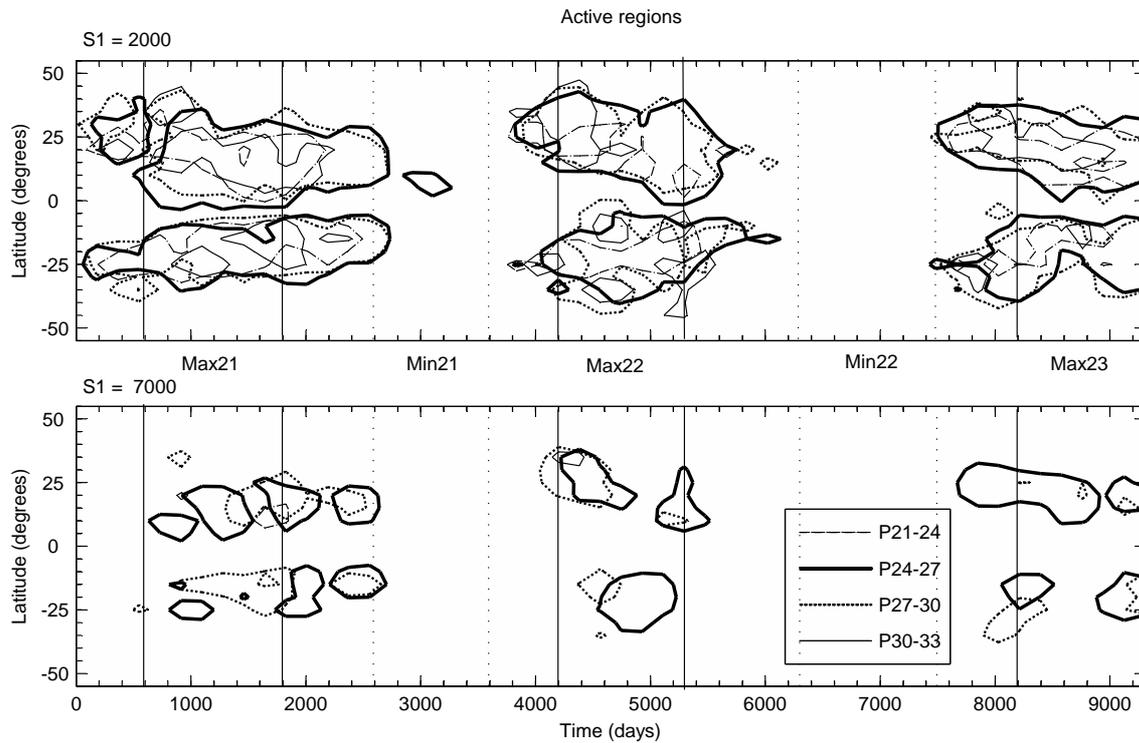


Рис. 13. Изменение вращения АО для четырех интервалов периодов со временем и широтой

с ходом цикла. Зоны вращения АО с рассматриваемыми периодами то последовательно сменяют друг друга, то накладываются одна на другую.

Для КД рассмотрим изменение вращения со временем по изолиниям $S1(t, \varphi) = 10$ и 15 (см. рис. 14). Изолиния $S1=10$ только в самых общих чертах охватывает изменение эквивалентной ширины $SumW$ для КД в 21-м и 23-м циклах. В 22-м цикле вращение КД можно проследить на подъеме и спаде цикла только на высоких широтах. Причем максимумы $S1$ далеко отстоят от максимумов W .

На рис. 14 (изолиния $S1=10$) видно, что циклы 21 и 23 показывают близкую картину изменения вращения КД со временем. Разница, в основном, в знаке северо-южной асимметрии. В 21-м цикле на высоких широтах суммарные мощности во всех интервалах периодов больше в S-полусфере, в 23-м цикле – в N-полусфере. В 21-м и 23-м циклах наблюдаются по три области с заметным вращением: экваториальные зоны, существующие от начала цикла до конца максимума, и протяженные по широте зоны, наблюдаемые от начала цикла до его минимума.

Быстрое вращение с периодами 21-24 суток, даже на уровне мощности 10, очень редко наблюдается: на экваторе перед максимумами 21-го и 23-го циклов и на высоких широтах в максимумах этих циклов.

Вращение с периодами 30-33 суток встречается гораздо чаще, особенно на средних и высоких широтах. Но и в экваториальной зоне оно наблюдается перед максимумами циклов 21 и 23.

На рис. 14 (изолиния $S1=15$) присутствует вращение в трех интервалах периодов от 24 до 33 суток. Причем интервал 30-33 в экваториальной зоне отсутствует. Области периодов 24-27 и 27-30 в большинстве случаев перекрывают друг друга.

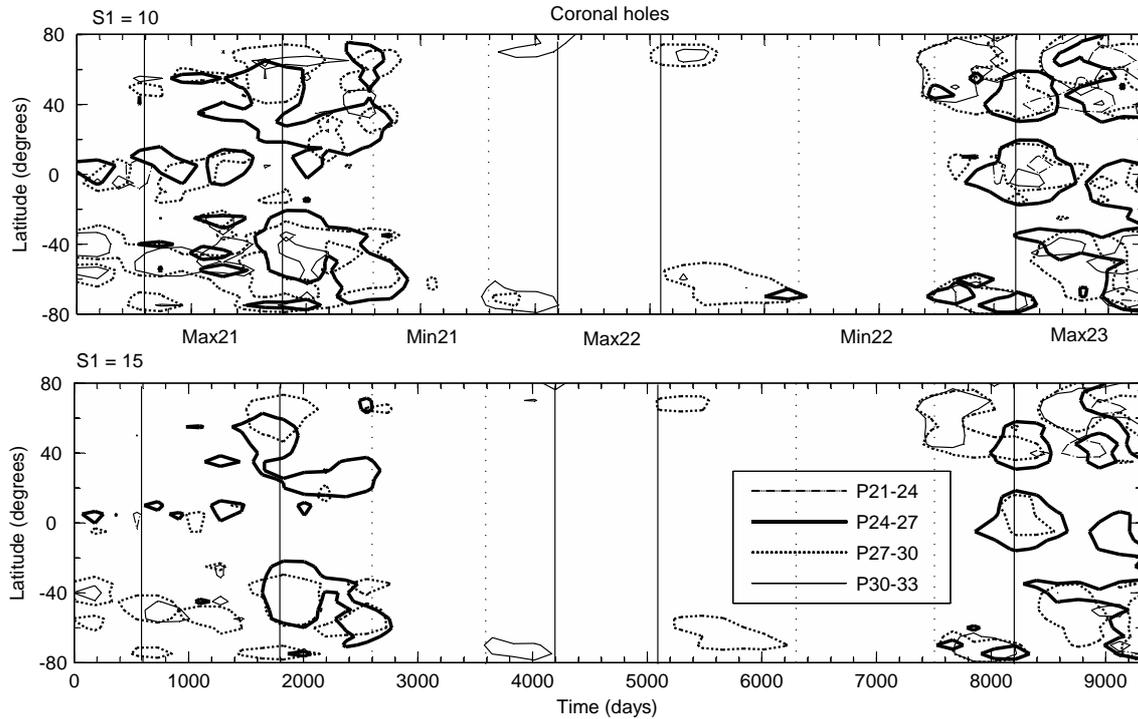


Рис. 14. Изменение вращения КД для четырех интервалов периодов со временем и широтой

6 Изменение со временем вращения всего Солнца

Перейдем теперь к суммированию по широтам суммарных мощностей в вышеперечисленных четырех интервалах периодов. $S_2(t)$ представлены на рис. 15 для АО и КД.

Суммарная мощность $S_3(t)$ по интервалу периодов 21-33 суток и всем широтам для АО и КД представлена на рис. 16.

7 Заключение

В результате исследования вращения АО и КД на разных широтах в течение трех солнечных циклов мы можем выделить следующие особенности наблюдаемых процессов.

- Вращение АО существенно отличается от вращения КД по всем параметрам: набору наиболее значимых периодов вращения, их широтному распределению и изменению со временем.
- Для вращения АО и КД характерно изменение вращения от цикла к циклу по интервалам встречающихся периодов вращения, значению периодов с максимальной мощностью в каждой полусфере и величине широтной зоны, в которой наблюдается вращение с наиболее мощным периодом.
- Наличие в одной широтной зоне одновременно нескольких структур с разной скоростью вращения характерно как для АО, так и для КД.
- Для АО и КД характерна северо-южная асимметрия вращения. Начиная с максимума 21-го цикла и до минимума 22-го цикла, КД в N-полусфере вращались быстрее, чем в S-полусфере. После этого соотношение скоростей стало обратным.

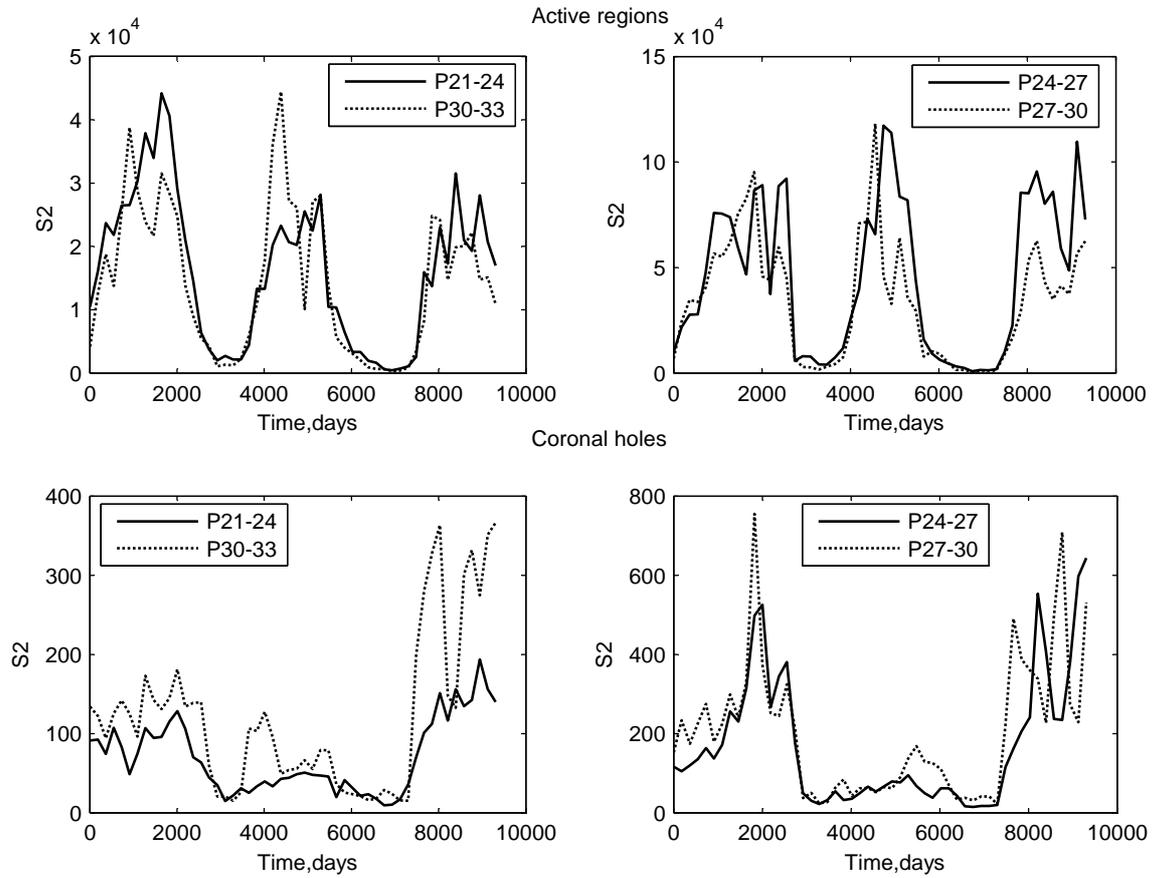


Рис. 15. Изменение со временем суммарной мощности $S_2(t)$ в четырех интервалах периодов спектров мощности для АО и КД

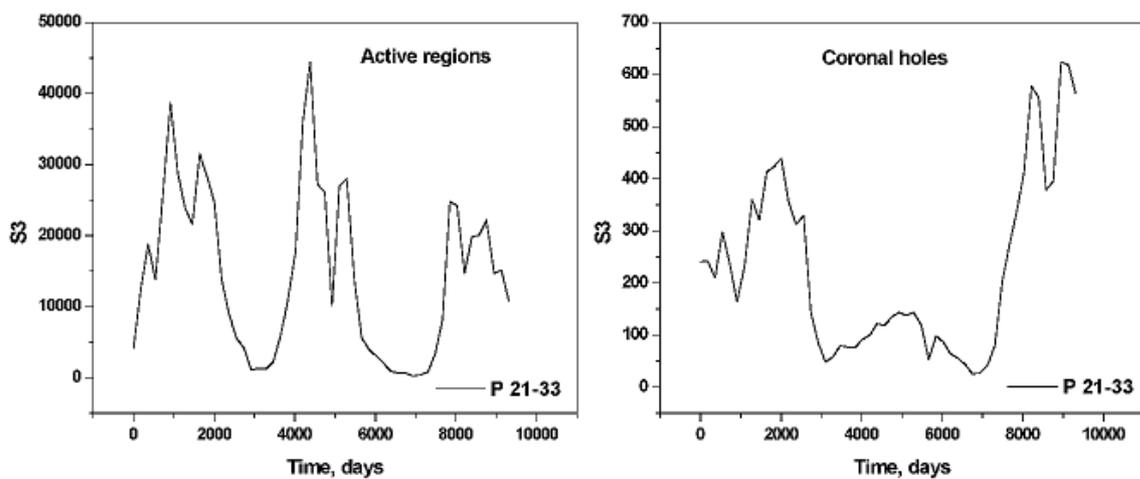


Рис. 16. Изменение со временем суммарной мощности $S_3(t)$ в интервале периодов 21-33 суток спектров мощности для АО и КД

Таблица 5. Средние расстояния между максимумами $S1(t, \varphi)$ максимумами SumW и экстремумами DifW для активных областей

Интервал периодов, сутки	Расстояние от максимума $S1(t, \varphi)$, относительные единицы		
	до максимума SumW	до максимума DifW	до минимума DifW
21 - 24	5.3 (1.1)	8.9(1.8)	4.9(1)
24 - 27	7.1 (1.4)	12.1(2.95)	5.1(1)
27 - 30	8.6 (2.45)	16.5(4.7)	3.5(1)
30 - 33	5.8 (1.23)	10.3 (2.2)	4.7(1)
Среднее для периодов 24-30	7.85 (1.8)	14.3(4.2)	4.3(1)
Среднее для периодов 21-24 и 30-33	5.55 (1.2)	9.6 (2.1)	4.55(1)

Таблица 6. Средние расстояния между максимумами $S1(t, \varphi)$ максимумами SumW и экстремумами DifW для корональных дыр

Интервал периодов, сутки	Расстояние от максимума $S1(t, \varphi)$, относительные единицы		
	до максимума SumW	до максимума DifW	до минимума DifW
21 - 24	6.9 (1.23)	8.9 (1.59)	5.6 (1)
24 - 27	10.61 (1.28)	8.32 (1.003)	8.29 (1)
27 - 30	14.7 (1.77)	10.2 (1.23)	8.28 (1)
30 - 33	11.5 (2.02)	10.75 (1.88)	5.69 (1)
Среднее для периодов 24-30	12.655 (1.53)	9.17 (1.11)	8.285 (1)
Среднее для периодов 21-24 и 30-33	9.2 (1.51)	9.82 (1.62)	6.07 (1)

- АО в 21-м цикле в N-полусфере вращались быстрее, чем в S-полусфере. Затем соотношение скоростей вращения в обеих полусферах меняется на обратное для каждого последующего максимума. Северо-южная асимметрия наблюдается не только в значениях периодов вращения с наибольшей мощностью, но и в суммарной мощности вращения полусфер в четырех интервалах периодов от 20 до 35 суток.
- Долгоживущие или последовательно возникающие АО, вращающиеся с периодами в диапазоне 24-30 суток, характерны для времени резкого уменьшения суммарной эквивалентной ширины АО. Это не только время спада 11-летних циклов, но и минимумы между повторными максимумами активности в течение одного цикла. Долгоживущие АО, вращающиеся с периодами в диапазонах периодов 21-24 и 30-33 суток, характерны для времени максимума и уменьшения активности. Преобладание долгоживущих КД при уменьшении их суммарной эквивалентной ширины заметно для КД с периодами вращения в интервале 30-33 суток и несколько меньше в интервале 21-24 суток.

Все это свидетельствует о том, что вращение солнечных образований определяется, в основном, подфотосферными источниками конкретных образований, а не вращением основных объемов солнечной плазмы, определяющих невозмущенное Солнце.

Использованные в настоящей работе данные NSO/Kitt Peak получены при кооперации NSF/NOAO, NASA/GSFC и NOAA/SEL.

Литература

- Андреева О.А., Зельк Я.И., Степанян Н.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2006. Т. 102. С. 84.
- Бадалян О.Г. // Юбилейная конференция КрАО. “Физика небесных тел”. 2005. Научный. Крым. Украина. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. (в печати).
- Зельк Я.И., Степанян Н.Н., Андреева О.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. (в печати).
- Котов В.А., Ханейчук В.И., Цап Т.Т. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2001. Т. 97. С. 60.