

ЭВОЛЮЦИЯ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ СД № 135 В ИЮНЕ 1984 Г. И ЕЕ СВЯЗЬ С КРУПНОМАСШТАБНЫМИ МАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ НА СОЛНЦЕ.

А.В. Боровик¹, В.М. Григорьев¹, Н.Н. Каргаполова¹, В.Е. Меркуленко¹,
В.П. Нефедьев¹, В.Ф. Осак¹, В.И. Поляков¹, В.П. Селиванов¹, Г.Я.
Смольников¹, С.А. Язев¹, В.И. Булавина², А.В. Делоне², Е.М. Рощина²,
Г.В. Якунина², Л.Г. Карташова³, М.Б. Огирь³, Н.Н. Степанян³, В.А.
Иошпа⁴, Л.И. Старкова⁴, Е.Х. Куликова⁵, И.Э. Кожеватов⁵, М.М. Али-
бегов⁶, В.А. Буров⁶, С.П. Леоненко⁷, В.А. Попереченко⁷, Т.П. Бушу-
ева⁸, Г.П. Марченко⁸, В. Калман⁹, И. Саттаров¹⁰, Н.Б. Ограпишвили¹¹,
В.Г. Лозицкий¹², Э. Оруджев¹³.

¹СибИЗМИР АН СССР

²ГАИШ

³КраО АН СССР

⁴ИЗМИРАН

⁵НИРФИ

⁶ИПГ

⁷МЭИ

⁸АО ХГУ

⁹Гелиофизическая обсерватория, Дебрецен, ВНР

¹⁰Астрономический институт АН Уз ССР

¹¹Аб АО

¹²АО КГУ

¹³ШАО АН Ав ССР

АБСТРАКТ. В июне 1984 г. в рамках наблюдательной программы КАПГ "Крупномасштабные поля и рождение активных областей" получен обширный наблюдательный материал, касающийся развития активной области СД № 135 ($\varphi = -15^\circ$, $h = 315^\circ$, дата прохождения через центральный меридиан 23.8 июн. я).

Наблюдения разных типов, проведенные на 12 обсерваториях, позволили получить картину эволюции активной области и ее взаимодействия с окружающими крупномасштабными полями.

Активная область родилась вблизи устойчивой границы фонового поля, не менявшейся с предыдущего оборота. Рождение активной области не изменило эту границу. Она оставалась почти неизменной и в следующем обороте.

Выход нового магнитного потока существенно влиял лишь на тонкую структуру хромосферы и некоторые характеристики волокна, расположенного вдоль границы фонового поля.

Топология развития активной области в значительной степени определялась супергранулярной структурой места ее возникновения.

Рождение активной области произошло в течение 5 часов от момента появления AFS до появления первой поры.

Группа характеризовалась быстрым развитием хвостового пятна. Через 2 дня после возникновения активной области в ней наблюдался мощный выход нового магнитного потока, сопровождавшийся рядом событий во всей атмосфере Солнца (образованием новых пятен, вспышками, всплесками радиоизлучения).

Таким образом, изучение эволюций этой активной области продемонстрировало существенное влияние места возникновения на развитие активной области.

Влияние же активной области распространяется на обширный участок атмосферы Солнца, но является кратковременным. Оно не меняет основных характеристик крупномасштабных фоновых магнитных полей.

THE DEVELOPMENT OF THE ACTIVE REGION SD No.135 (JUNE 1984) AND ITS RELATION TO THE LARGE-SCALE MAGNETIC FIELDS ON THE SUN.

VÝVOJ AKTÍVNEJ OBLASTI SD Č. 135 (JÚN 1984) A JEJ VZŤAH K VEĽKOROZMERNÝM MAGNETICKÝM POLIAM NA SLNKU.

В июне 1984 г. в течение двух недель проводилась кооперативная наблюдательная программа в рамках ИАГП "Крупномасштабные поля и рождение активных областей". В наблюдениях участвовали 14 обсерваторий ВНР, ГДР, и СССР. Наиболее полный материал получен для активной области, возникшей на диске 21 июня ($\varphi = -15^\circ$, $h = 315^\circ$, Керингтоновский оборот № 1750, группа № 135 по "Солнечным данным" [1]), NOAA USAF № 4520, Mt.W.N 24094 по Solar Physical Data [2]

Участниками программы был подготовлен ряд статей, посвященных отдельным аспектам эволюции этой области. Некоторые работы уже опубликованы [3 - 10], остальные находятся в печати [11 - 15], или подготовлены к ней [16 - 19].

В настоящей работе сделана попытка обобщить все эти исследования, получить общую картину эволюции рассматриваемой активной области и ее связи с крупномасштабными полями.

1. ЭВОЛЮЦИЯ МЕСТА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ.

Исследуемая область возникла в зоне активной долготы, где в течение нескольких лет наблюдалась повышенная активность. В частности, на этой долготе (но в N - полусфере) возникла одна из мощнейших активных областей цикла в июне 1982 г.

Анализируя синоптические карты магнитных полей, публикуемые в [2], мы

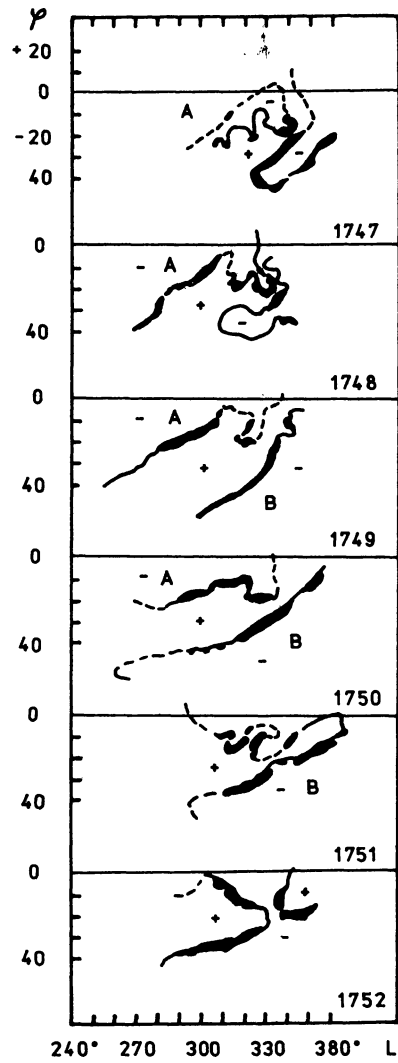


Рис. 1: H_{α} - карты магнитных полей из [2]. Темные сплошные линии (волокна) и пунктирные (каналы волокон) разделяют области (+) и (-) фоновых магнитных полей.

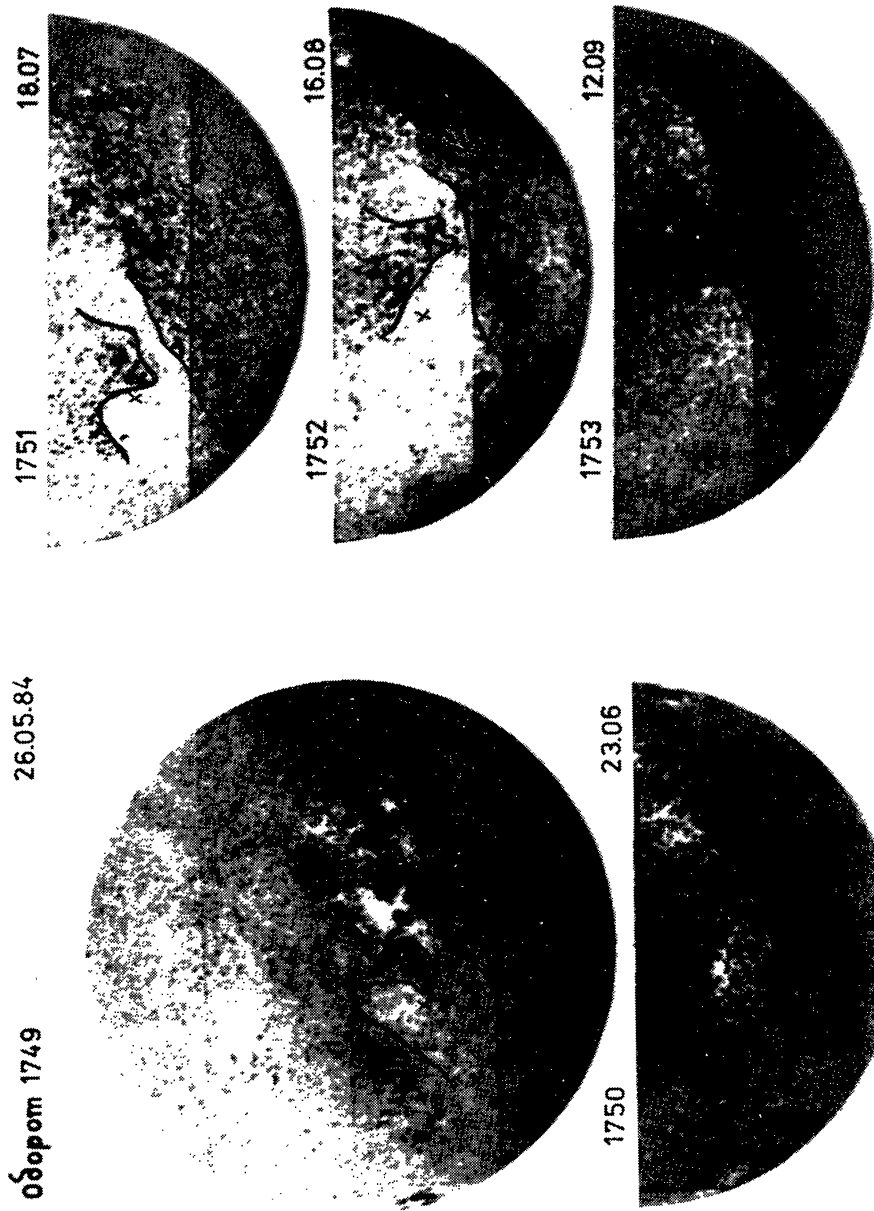


Рис. 2: Магнитограммы обсерватории Китт-Пик из [2] с нанесенными границами, разделяющими (+) - (светлые) и (-) - (темные) поля. Границы проведены по H_{α} - снимкам. Косми крестом отмечено место исследуемой области. Стрелкой указана исследуемая область в обороте 1750.

приходим к следующей картине развития крупномасштабных полей в области $\lambda = 270 - 360^\circ$ в южной полусфере.

За 12 оборотов до появления активной области на месте ее возникновения наблюдались только слабые, преимущественно отрицательные фоновые магнитные поля. Картина мало менялась с 1738 по 1742 оборот. В обороте 1743 на долготу $\lambda = 315^\circ$ смещается с востока граница, разделяющая (+) и (-) - поля. В следующем обороте поле обеих полярностей вблизи этой границы усиливается, возникает активная область. Затем, вплоть до оборота 1748 в зоне $\lambda = 310 - 360^\circ$ наблюдается повышенная активность, возникают группы пятен, появляются вспышки.

Структура крупномасштабных полей в этой части Солнца в течение трех последующих оборотов (1749 - 1751) сохраняла удивительную стабильность. На рис. 1 представлены синоптические карты участка Солнца (южная полусфера, $\lambda = 240 - 360^\circ$) в последовательных оборотах от 1747 до 1752. Место возникновения исследуемой активной области в обороте 1750 отмечено косым крестом. Как видим, волокно В почти без изменений просуществовало 3 оборота, а залив (-) - поля возле волокна А только в обороте 1752 соединился с (-) - полем к югу от волокна В. Характер изменения структуры фоновых полей хорошо виден и на рис. 2, где на магнитограммах обсерватории Китт-Пик [2] нанесены границы между (+) и (-) - полями, полученные по H_α - снимкам. Из рисунка 1 и 2 видно, что активная область возникла вблизи границы фоновых полей, но целиком в области (+) поля и никак не повлияла на расположение этой границы.

После оборота 1750 активность в этой части Солнца уменьшилась. В обороте 1751 здесь вновь образовалась группа пятен на той же долготе, но несколько севернее ($\varphi = -3^\circ$, $\lambda = 315^\circ$). Активность области оставалась низкой. В следующем 1752 обороте, пятен уже не было, существовали флюкул и волокна, которые распались до захода области за лимб.

2. РОЖДЕНИЕ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ.

Место возникновения активной области вышло на восточный лимб в обороте 1750 17.06.84.

В короне по наблюдениям радиоизлучения на волне 5.2 см (на телескопе ТНА-1500) до 20.06 на этом участке поверхности Солнца трудно было выделить какие-либо особенности. Повидимому это происходило из-за невозможности регистрации деталей размером менее 3' вблизи солнечного лимба. 20-21.06 рассматриваемая область характеризовалась яркостной температурой, превышающей фоновый уровень на $(5 - 6) \cdot 10^3 \text{K}$. Степень поляризации радиоизлучения несколько меньше 1%. Такие значения характеристик радиоизлучения соответствуют флюкулам, находящимся в униполярном магнитном поле (радиоизлучение R - поляризовано, что соответствует N - полю).

В оптическом диапазоне эта область уверенно наблюдалась с 19.06. В фотосфере здесь присутствовали слабые магнитные поля (+) полярности с вкраплениями (-) поля, а в хромосфере - старый слабый флюкул. Структура хромосферы была существенно возмущена. На рис. 3 приведен эскиз этой области в H_α по наблюдениям 20.06. На нем видно, что развитый поток фибрилл соединяет место будущей актив-

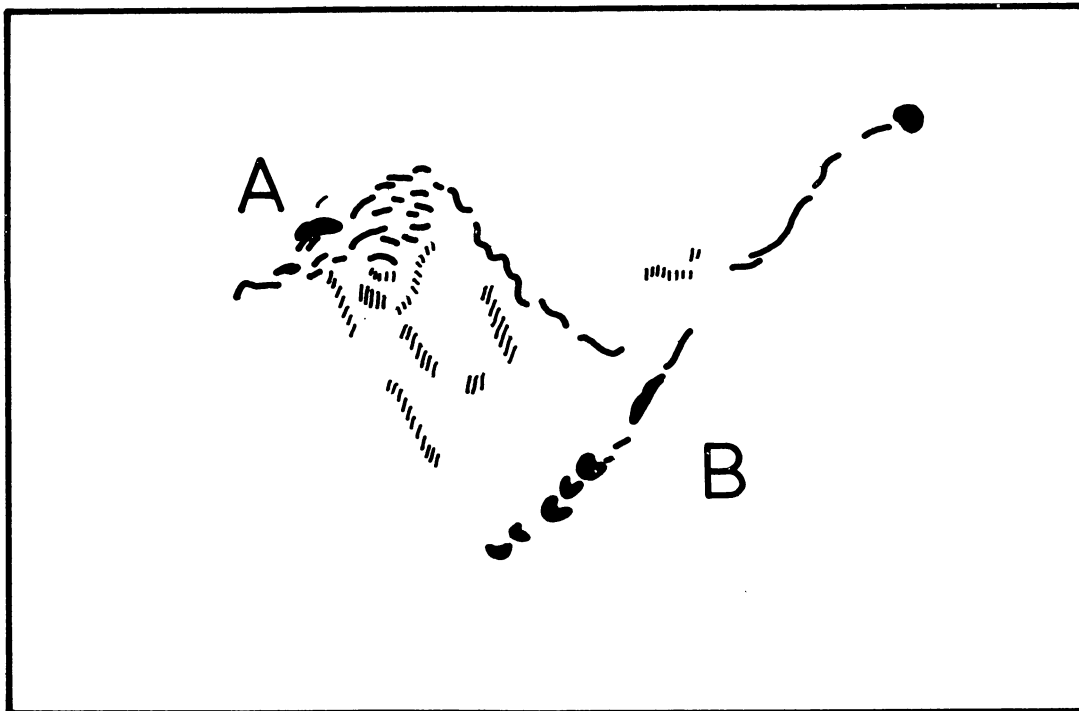


Рис. 3: Эскиз изображения в H_{α} места возникновения активной области 20.06.84

ной области со спокойным волокном А. Фибриллы тесно связаны с яркими узлами хромосферной сетки. Они либо оканчиваются на этих узлах, либо огибают их.

С 20.06 начинается регуляризации систем ярких узелков хромосферной сетки. Образуются яркие длинные цепочки, состоящие из слившихся узелков усиленной сетки. Цепочки соединяют волокна А и В (полосы вертикальной штриховки на рис. 3).

Некоторые проявления активности в H_{α} начинаются уже 19.06. В частности, с $10^{\text{h}}25^{\text{m}}$ до $11^{\text{h}}25^{\text{m}}$ наблюдалась активизация волокна. 20.06 в $3^{\text{h}}54^{\text{m}}$ отмечен яркий узел в центре будущей активной области. 21.06 в 2^{h} начинается перестройка хромосферной сетки. В $2^{\text{h}}01^{\text{m}}$ зарегистрирована субвспышка.

С $4^{\text{h}}10^{\text{m}}$ до $5^{\text{h}}00^{\text{m}}$ между волокнами А и В замечено поярчание до 2 - 3 % от невозмущенной хромосферы.

В $4^{\text{h}}12^{\text{m}}$ узелки хромосферной сетки образуют между волокнами А и В две яркие дуги. В центре одной из них появились две яркие точки, из которых выходили слабые арки ΔS . Эти яркие точки разделены каналом волокна, трассирующим линию раздела полярностей. К 6 часам одна из дуг разрешается, а другая удлиняется. В центре ее формируется маленький флюкул.

Примерно в то же время (между $5^{\text{h}}38^{\text{m}}$ и $7^{\text{h}}02^{\text{m}}$) появился флюкул в линии К Са II в виде поярчания одного из узлов старого флюкула.

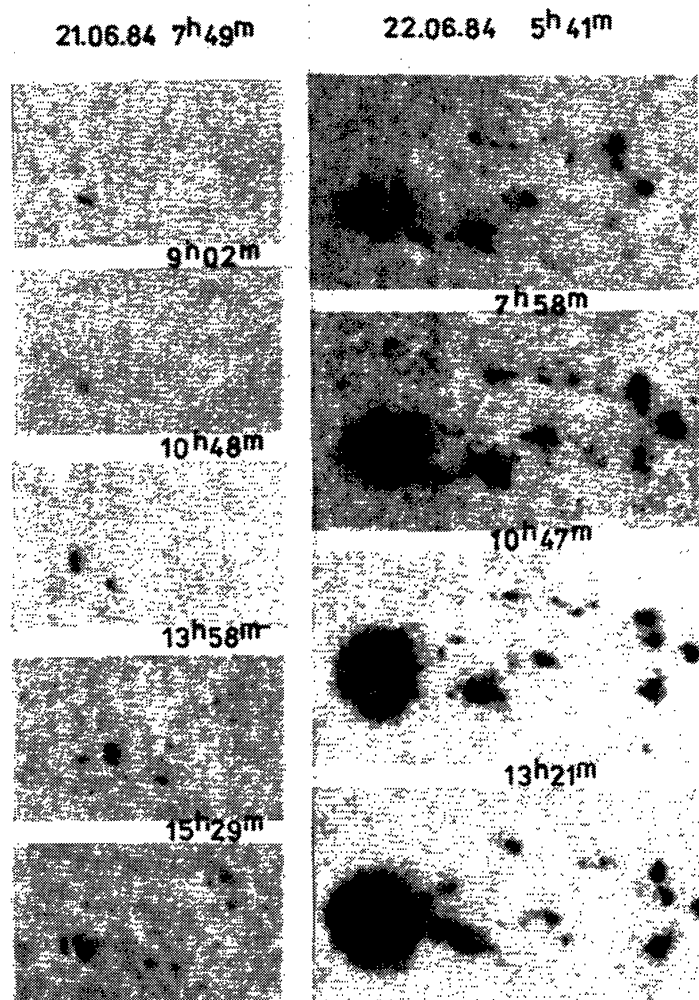


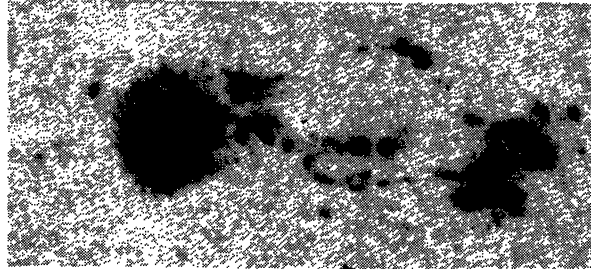
Рис. 4: Фотографии группы пятен в белом свете.

В 7^h появилась первая пара хвостовой полярности, а в 8^h50^m их было уже две.

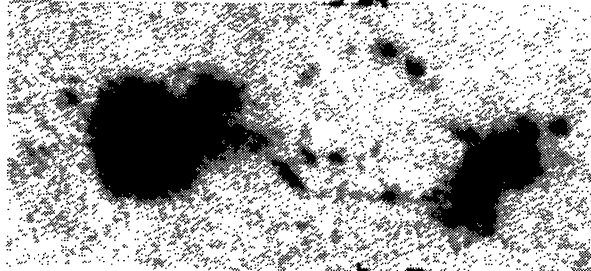
Таким образом, от начала перестройки хромосферной сетки до образования поры прошло 5 часов.

Структура магнитного поля активной области в 10^h55^m была уже сформирована. Наблюдались два основных холма магнитного поля, связанные с хвостовой (N) и будущей головной (S) частями группы. Между ними располагались еще два холма. Из них западный холм был N - полярности, а восточный S. Таким образом, с самого начала группа была мультиполярной.

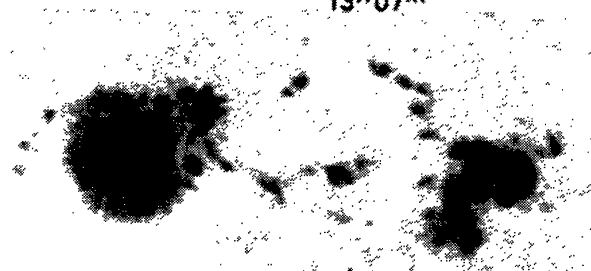
23.06.84 7h48m



9h57m



13h07m



15h19m

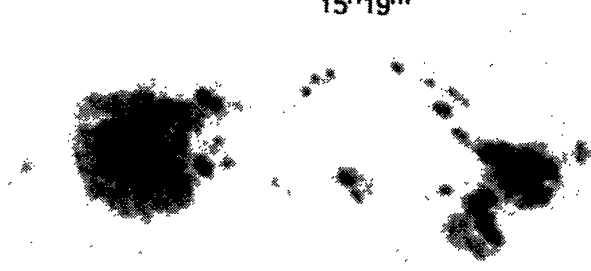


Рис. 4: Фотографии группы пятен в белом свете.

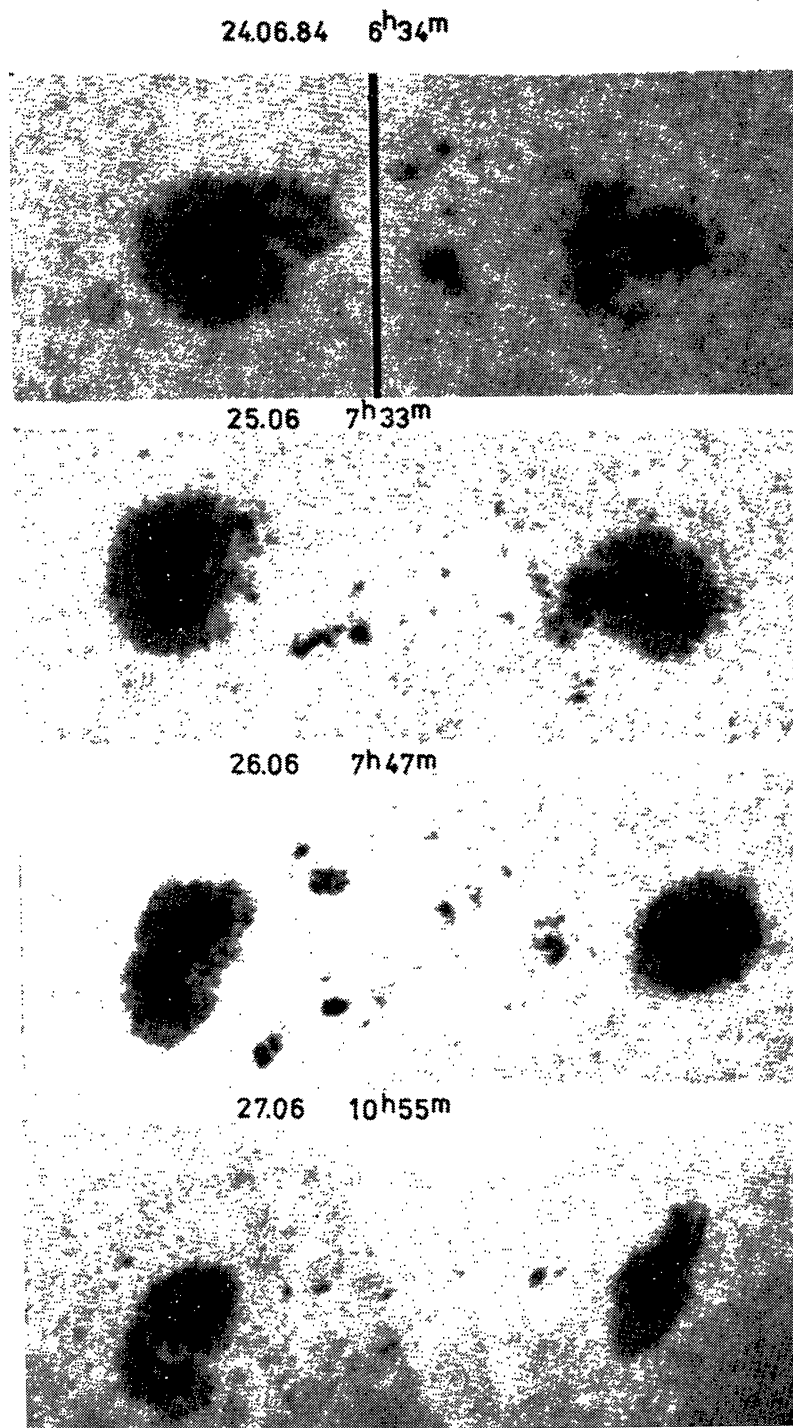


Рис. 4: Фотографии группы пятен в белом свете.

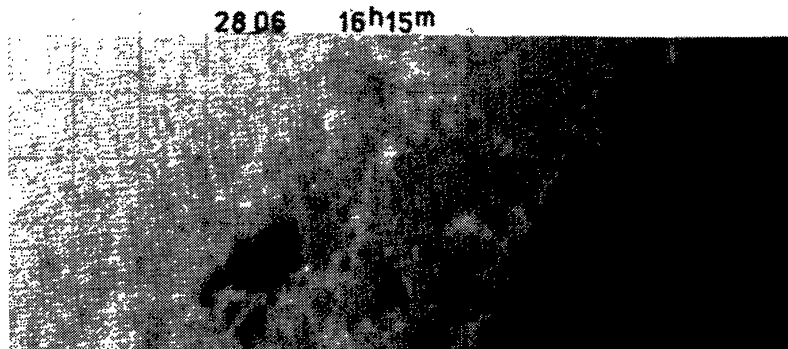


Рис. 4: Фотографии группы пятен в белом свете.

3. ИЗМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ С ЕЕ ЭВОЛЮЦИЕЙ.

Исследуемая активная область характеризовалась бурным развитием. Практически за 2 - 3 дня все основные ее характеристики достигли максимума.

3.1. Развитие группы пятен.

На Рис. 4 приведены фотографии группы в белом свете за все дни от момента ее возникновения до захода за лимб. Из рис. 4 видно, что хвостовое пятно развивалось быстрее, чем головное. Формирование хвостового пятна заканчивается 23.06. Головное пятно полностью сформировалось к 25.06.

В максимуме своего развития группа достигла класса ЕКО по классификации Мак-Интоша [2].

Изменение площади группы пятен представлено на рис. 5 вместе с другими характеристиками, о которых будет сказано ниже.

Характерной особенностью головного пятна является большая скорость миграции его в западном направлении. На рис. 6 показано положение головного и хвостового пятна с 22 по 27.06. За 5 дней хвостовое пятно сместилось к востоку на 1° , а головное - к западу на 5° . Изменение расстояния между пятнами показано на рис. 5. Там же дано число ядер в группе для каждого дня наблюдений.

3.2. Лучевые скорости в активной области.

С образованием активной области в ней наблюдалось движение вещества вниз.

На уровне фотосферы (по наблюдениям в линии $\text{FeI } \lambda 5576 \text{ \AA}$) в первые дни область опускающегося вещества совпадала с областью усиленного поля обеих полярностей, а затем (с 23.06) она захватывает и участки более слабых полей. 25.06 во вторую половину дня область опускания несколько уменьшилась за счет смещения восточной границы на запад (пунктирная линия на рис. 7).

Наложение карт лучевых скоростей на $\text{H}\alpha$ -фотографии показало, что граница зоны опускания всегда проходит по первому контуру хромосферных волоконцев, т.е. по волоконцам, примыкающим к центральному флоккулу. Для большинства участков эта граница перпендикулярна хромосферным волоконцам, за исключением зоны не-

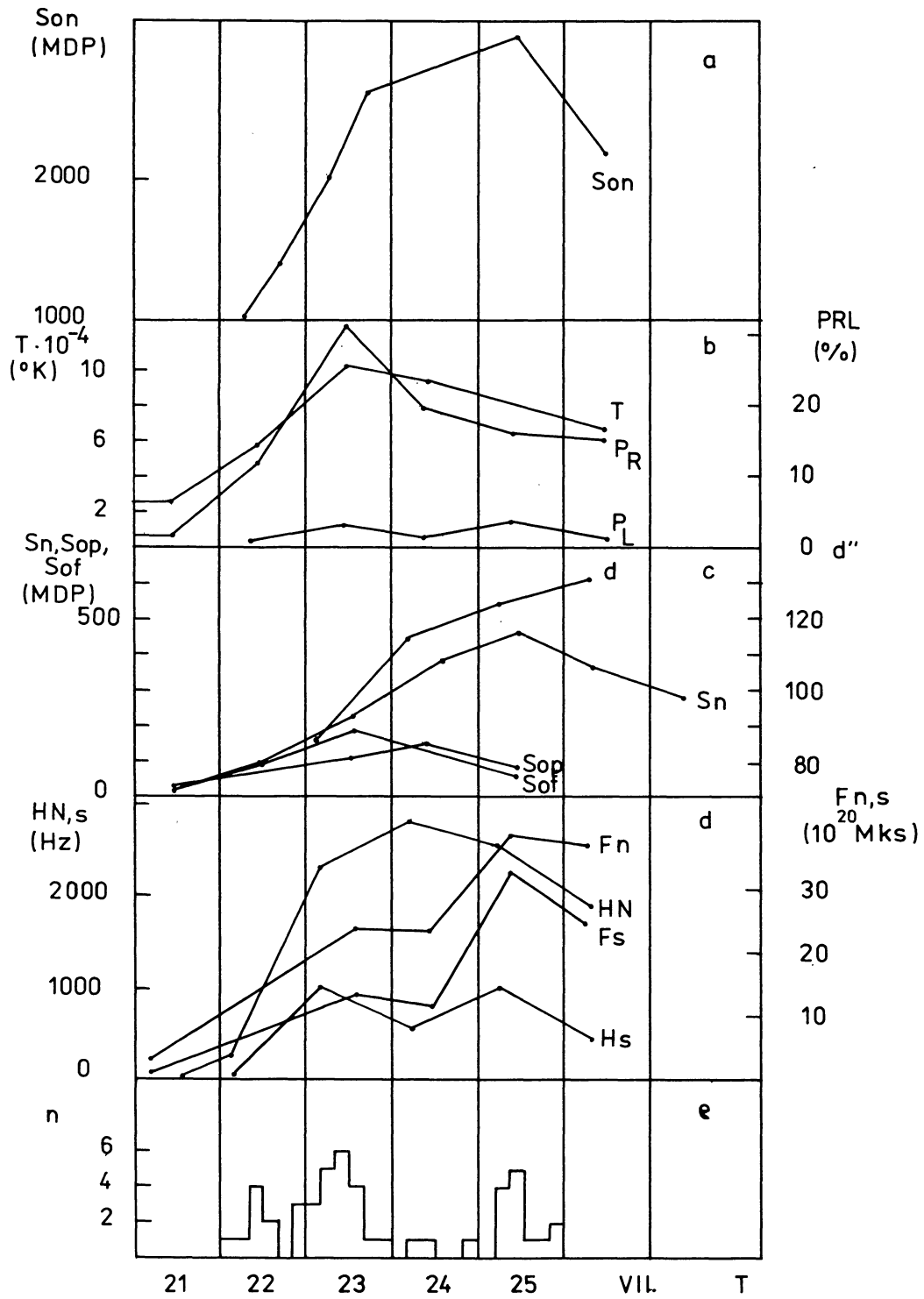


Рис. 5: Изменение характеристик активной области с ее развитием.

Рис. 5: а/ Изменение площади (S_{op}) зоны опускания, охватывающей всю активную область в мдп.

б/ Левая шкала - изменение максимальной яркостной температуры $T_{\text{я}}$ радиоизлучения на волне 5.2 см правая шкала - изменение степени поляризации право- и левополяризованного излучения (P_R и P_L)

в/ Левая шкала - Изменение площади пятен (S_p), площадей опускающихся потоков, связанных с головным пятном (S_{op}) и хвостовым пятном (S_{of}) правая шкала α - расстояние между головным и хвостовым пятнами в секундах дуги.

г/ Левая шкала - изменение максимальной напряженности пятен (+) полярности (H_N) и (-) полярности (H_S). Правая шкала - изменение интегрального магнитного потока активной области.

д/ Число вспышек в активной области.

устойчивости лучевых скоростей.

С развитием группы пятен на фоне области опускания появились более тонкоструктурные элементы подъема и опускания вещества. Так, 22.06 в области хвостового пятна временами наблюдались небольшие участки подъема. На следующий день 23.06 в области хвостового пятна наблюдалась уже постоянная зона подъема газа. В области головного пятна подъем также имел место, но с меньшими скоростями. К 25.06 устойчивые зоны подъема существовали как в головном, так и в хвостовом пятне. Появился нормальный эффект Эвершеда.

С развитием группы усложнялась и структура скоростей между основными пятнами. Появившиеся отдельные элементы с повышенными скоростями опускания и подъема в большинстве случаев совпадают с порами или холмами поля на магнитограммах.

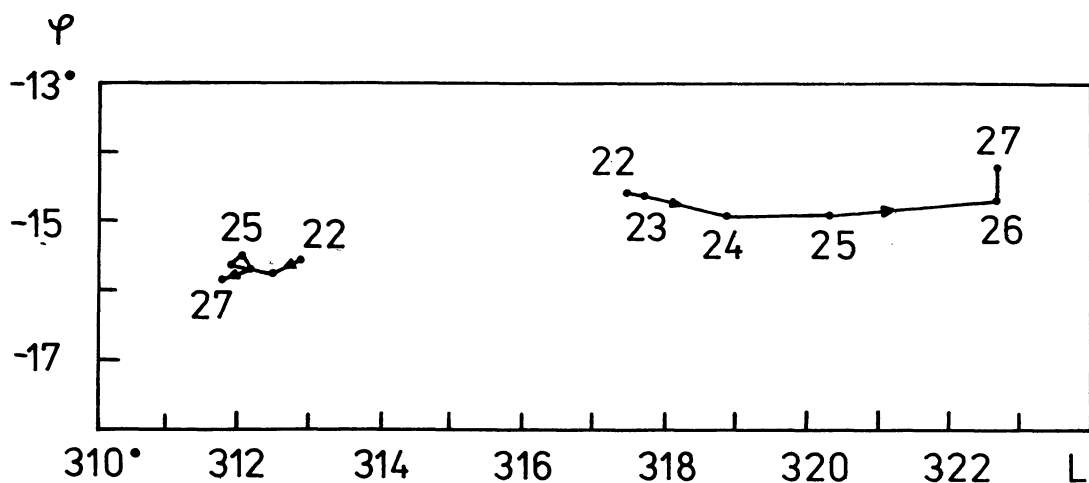
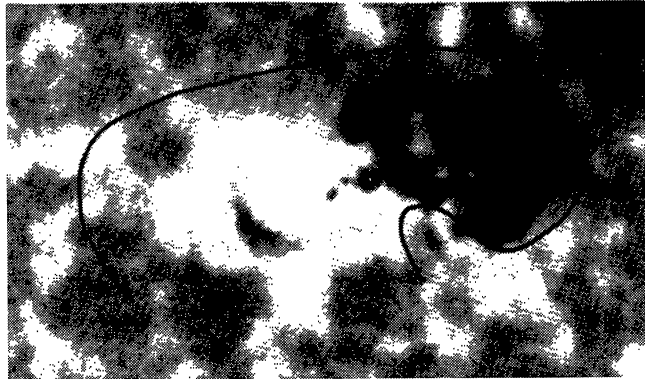


Рис. 6: Собственные движения головного и хвостового пятна.

22.06.84



23.06.84



25.06.84

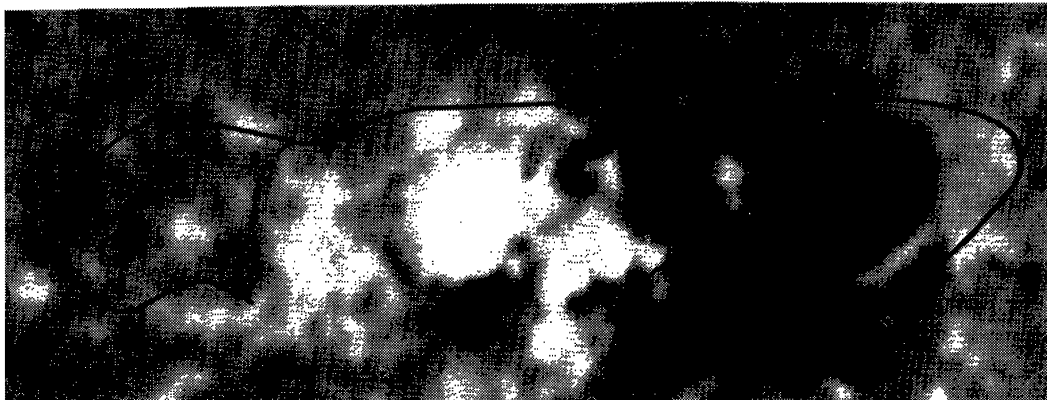


Рис. 7: Расположение границы зоны опускания на картах магнитных полей обсерватории Китт-Пик [2] .

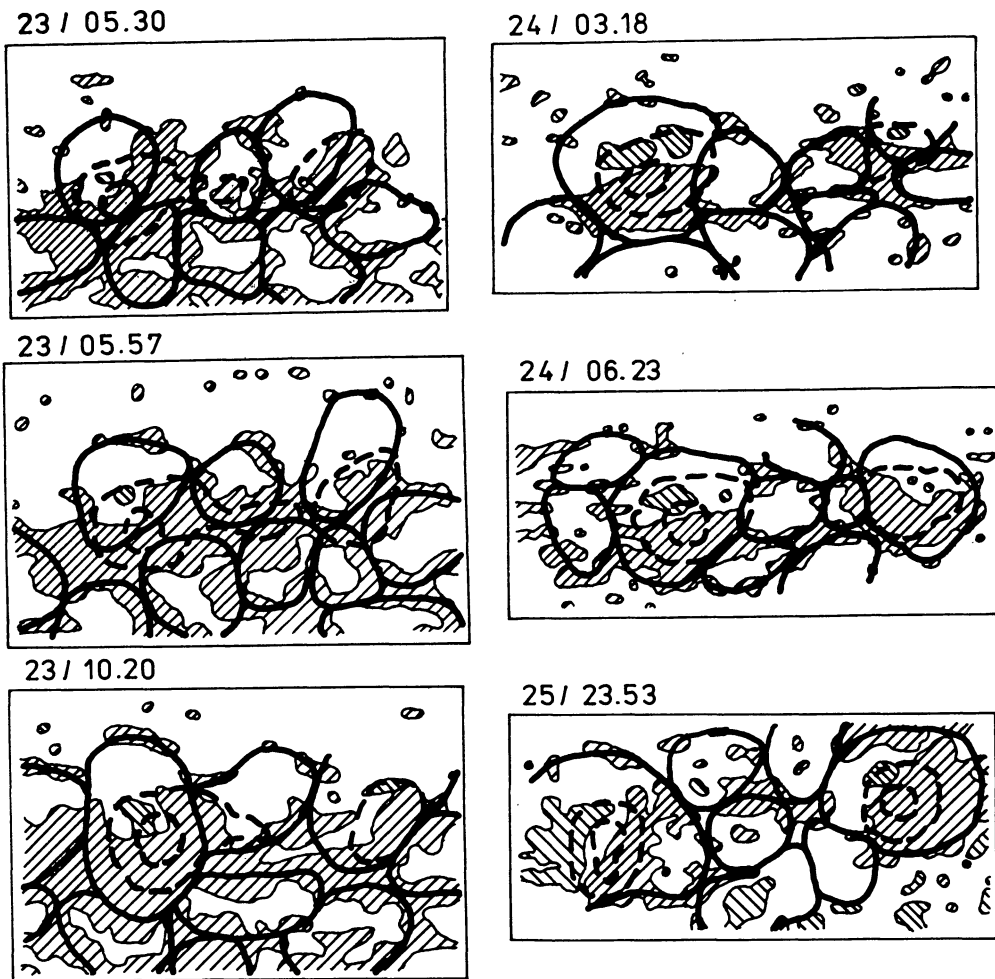


Рис. 8: Структура лучевых скоростей в активной области (объяснение в тексте)

По наблюдениям лучевых скоростей в линии FeI λ 5250.2 Å на доплерограммах отчетливо прослеживаются кольцеобразные структуры опускающегося потока. На рис. 8 приведены контуры областей потока, соответствующие скорости 0.3 км с^{-1} . Области внутри контуров со штриховкой под углом 45° соответствуют опусканию, а со штриховкой под углом 135° - подъему вещества. Толстыми штриховыми линиями проведены изофоты, соответствующие 0.5 и 0.9 от средней яркости окружающей фотосферы, что в первом приближении соответствует положению тени и полутени пятна. Толстыми сплошными линиями схематично показана структура ячеек опускающегося потока. Эти линии проведены по максимумам скорости опускания. Размер этих ячеек в среднем равен размеру ячейки супергрануляции. Сравнение доплерограмм с магнитограммами продольной компоненты магнитного поля, а также с маг-

ниотограммами обсерватории Китт-Пик, показывает хорошее совпадение сетки опускающегося потока с магнитной сеткой.

Анализ временных изменений в структуре ячеек опускания газа показал, что на ранней стадии появления пятна и усиления его магнитного потока пятно находится на границе соседних ячеек опускающегося вещества.

Картина лучевой скорости, характерная для эффекта Эвершеда, появляется через некоторое время после появления полутени. В это же время образуется кольцевая структура опускающегося потока вокруг пятна.

Наблюдения лучевых скоростей в нижней хромосфере по линии $\text{Ba II } \lambda 4554 \text{ \AA}$ проводились только с 24.06. Они показали, что и на этом уровне проявляется сетка поля скоростей, полностью совпадающая с фотосферной ячейистой структурой, но с меньшими величинами скорости движения. Кроме того, в полутенях пятен наблюдается тонкая структура скоростей. Размер деталей равен $\sim 4''$. Тонкоструктурные, резко очерченные элементы наблюдаются и на доплерограммах, полученных по наблюдениям в $\text{H}\alpha$.

3.3. Изменение магнитного поля активной области.

Как говорилось выше, к моменту возникновения пятен структура магнитного поля уже существовала. Холмы поля находились в тех местах, где потом возникли хвостовое и головное пятна. На рис. 5 представлено изменение интегрального магнитного потока F и максимальной напряженности N и S - поля. Наибольший рост F и N наблюдается 23.06. В этот день происходил мощный выход основного магнитного потока, сопровождавшийся целым рядом явлений. Об этом подробнее будет сказано ниже.

3.4. Вспышечная активность.

На рис. 5 представлено число вспышек за каждый день наблюдений. Как видим, группа становится вспышечноактивной с 22.06. Первый всплеск вспышечной активности достигает максимума в первой половине 23.06.

25.06 начинается новый, более слабый всплеск. Оба они приходятся на начало роста количества ядер (см. рис. 5). Максимум вспышечной активности опережает максимум количества ядер на сутки, а максимум площади - на двое суток.

22.06 вспышки наблюдаются к юго-западу от хвостового пятна, в области его формирующейся полутени. Отдельные яркие эмиссионные детали в этом месте поднимаются со скоростями $12-15 \text{ км с}^{-1}$.

О вспышечной активности 23.06 будет сказано ниже. В последующие дни вспышки были связаны с образованием пор вблизи лидера.

Одна из субвспышек, произошедших в группе СД № 135 была связана с внезапным ионосферным возмущением, сопровождавшимся поглощением в полярной шапке.

Геомагнитная активность в этот промежуток времени была не очень высока. Буря с внезапным началом зарегистрирована 23.06 в 20.56. Индекс $\sum K_p$ 24.06 имел максимальное значение 24, что соответствует скорости солнечного ветра $\approx 533 \text{ км с}^{-1}$. Маловероятно, чтобы эти возмущения были вызваны процессами, происходящими в рассматриваемой области, т.к. задержка менее, чем одни сутки после прохождения группы через центральный меридиан недостаточна для объяснения наблюдаемых геофизических явлений.

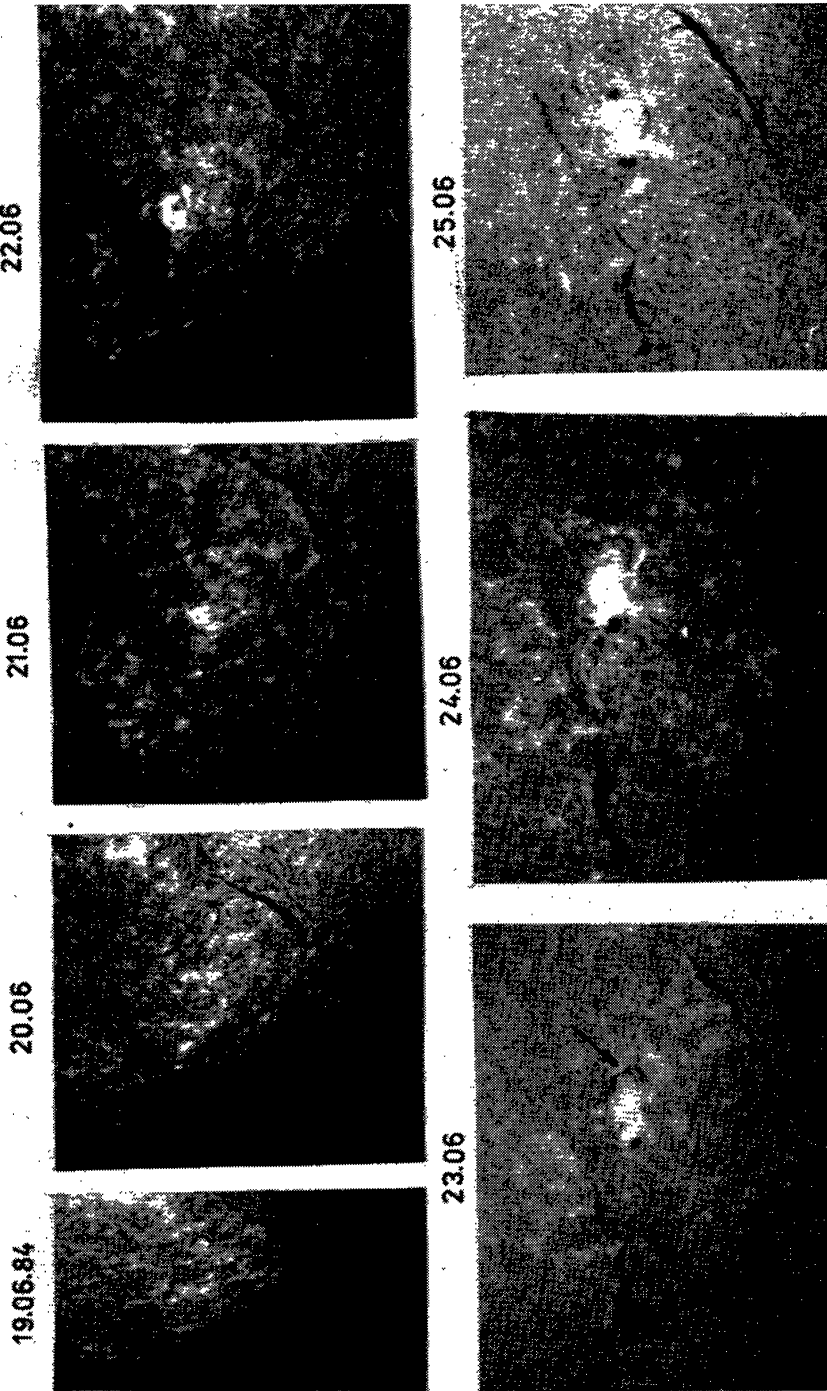


Рис. 9: фотографии исследуемого участка Солнца, полученные с ИФЭ Н-альфа

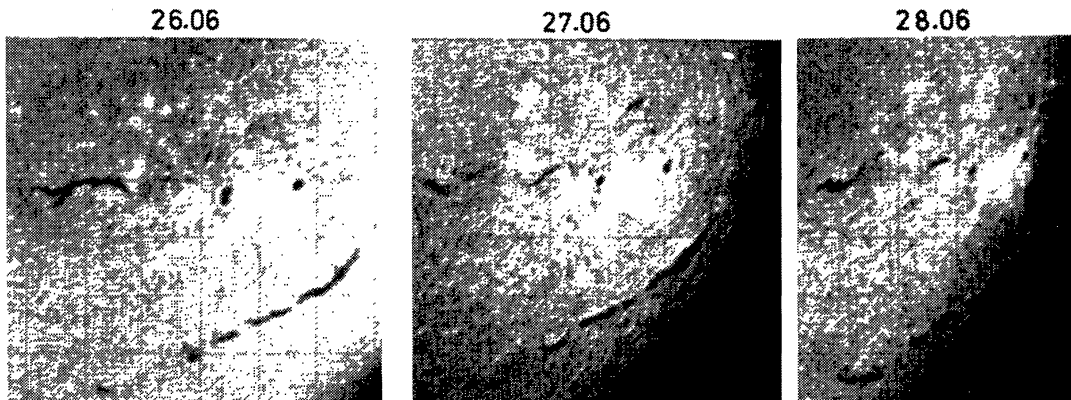


Рис. 9: Фотографии исследуемого участка Солнца, полученные с ИФФ Н-альфа

3.5. Тонкая структура хромосферы.

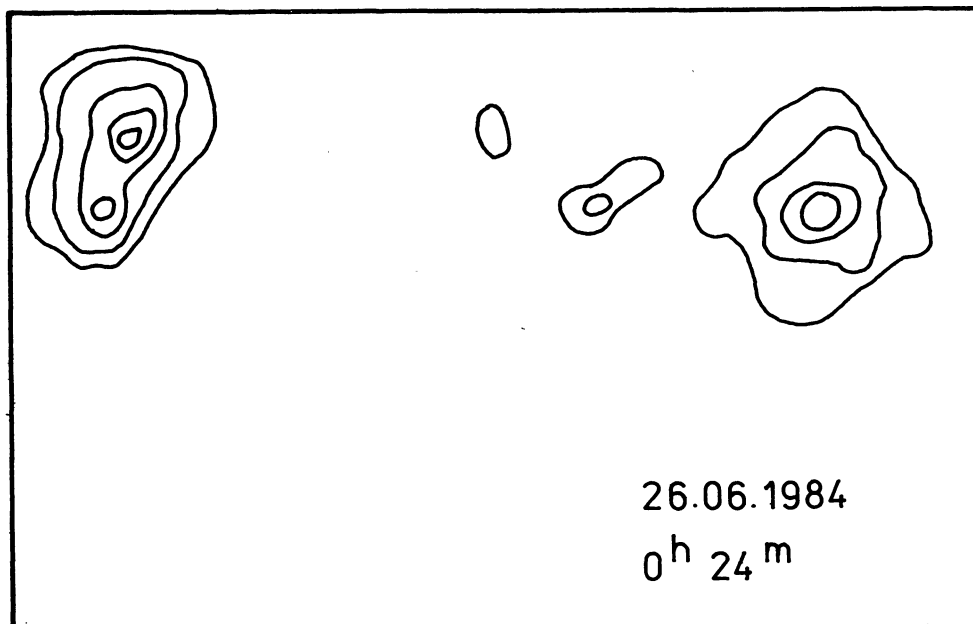
На рис. 9 приведены фотографии активной области в свете линии H_{α} .

Как мы говорили выше, для тонкой структуры хромосферы в момент образования активной области было характерно наличие потока фибрилл, соединяющего северный конец волокна А с местом образования активной области. С возникновением активной области 22.06 хромосферный поток фибрилл частично замыкается на хвостовую часть активной области, частично - на узлы усиленной хромосферной сетки. 23.06 этот поток фибрилл перестраивается. Система фибрилл, ранее соединявшая область волокна А и узлы усиленной сетки, теперь замыкается на область вблизи хвостового пятна. В то же время сформировалась система фибрилл, соединяющая хвостовое пятно с центральной частью активной области и головным пятном.

Для всех последующих дней характерной была непрерывная высокая активность волокна А. Оно меняло свой вид, в нем возникали изменения оптической плотности, разрывы, менялась его конфигурация, длина. В то же время ряд других волокон, наблюдавшихся одновременно на диске, отличался отсутствием явных проявлений активности. По-видимому, высокую активность волокна А можно связать с влиянием активной области.

За время развития активной области в ней возникло несколько волокон с более или менее продолжительным временем жизни. Остановимся подробнее на одном из них.

22.06 в западной части группы стало формироваться волокно (см. рис. 8, волокно указано стрелкой на фотографии 23.06). Оно возникло на месте существовавшей ранее цепочки волокон. В течение всего периода наблюдений центральная часть волокна располагалась над устойчивой областью подъема фотосферного вещества (по наблюдениям в линии $FeI \lambda 5576 \text{ \AA}$). В южном его конце наблюдалась зона опускания материи, а в области северного конца знак скорости менялся.



A



B

Рис. 10: Карты а/ поля яркости активной области, изофоты проведены через $0.1 J/J_{\phi}$ фона, б/ поля скорости, толстые линии - AFS, тонкие сплошные - изолинии положительной скорости, пунктирные - изолинии отрицательной скорости, штрихпунктирные линии - волокна, пунктирные линии - ячейки фотосферного поля скоростей.

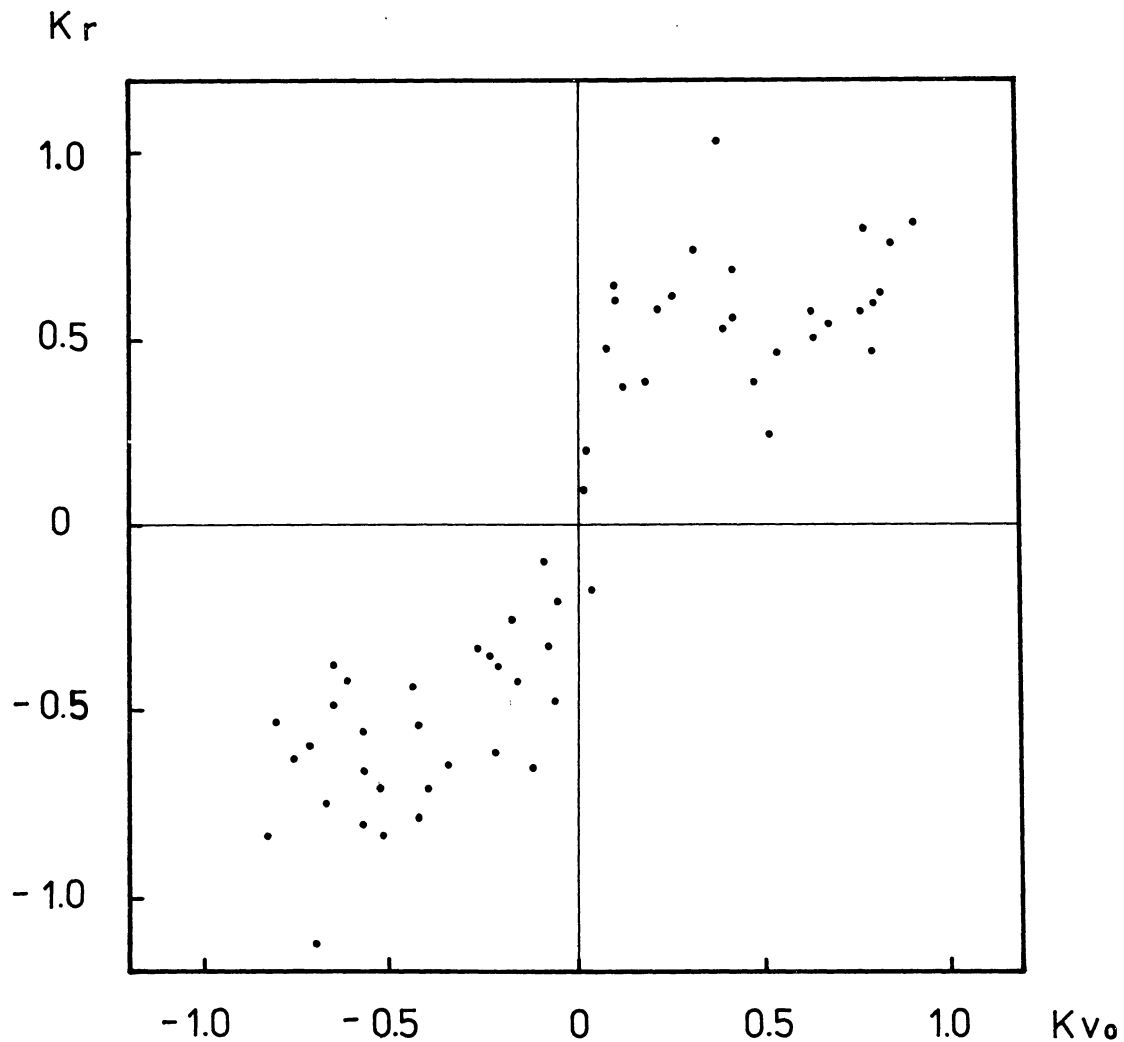


Рис. 11: Связь скорости опускающегося вещества со средним поперечным размером волоконца в системах

$$K_r = \frac{r_2 - r_1}{(r_2 + r_1)/2}, \quad K_{v_0} = \frac{v_2 - v_1}{(v_2 + v_1)/2}$$

где r_2 и r_1 - значения среднего поперечного размера волоконца в системах в моменты последовательных экстремумов этой величины.

v_2 и v_1 - значения скоростей опускания в те же моменты времени.

В период с 24.06 по 28.06 волокно в южной части активной области наблюдалось в крыльях линии BaII ($\lambda 4554 \pm 0,05 \text{ \AA}$), что позволило исследовать распределение скоростей в его области. Оказалось, что 25-27.6 на уровне образования

крыльев линии В_a вблизи восточного конца волокна, по разные стороны от его оси наблюдались участки с противоположными по знаку скоростями ($V \approx 0,2 \text{ км с}^{-1}$). (рис. 10). Это явление можно интерпретировать как проявление вращения волокон, или как наличие направленных движений в петлях, пересекающих волокон под углом 90° .

Было исследовано также поведение ярких и темных волокон тонкой структуры хромосферы в окрестности активной области для 22, 23 и 25 июня (рассмотрено 14, 19 и 13 систем волокон соответственно). Согласно 20, волокна тонкой структуры хромосферы имеют тенденцию объединяться в системы, расположенные перпендикулярно силовым линиям. Системы состоят обычно из нескольких чередующихся между собой светлых и темных параллельных волокон приблизительно одинаковых размеров. Каждая отдельная система фактически совпадает по положению с одной ячейкой хромосферной сетки.

Детальное сравнение средних поперечных размеров волокон в каждом из рассмотренных систем с лучевыми скоростями в фотосфере под этими системами привело к обнаружению следующей закономерности. Росту поперечных размеров (r) волокон в системе соответствует увеличение потока (F) и скорости (V) опускающегося вещества под этой системой, а уменьшению r соответствует уменьшение этих величин. (Тис. 11). Причем изменение величины r в среднем близко к 2, что может свидетельствовать о раздвоении и слиянии волокон.

Этот результат можно объяснить тем, что при усилении опускания вещества ослабляется горячий компонент систем волокон и на той же площади мы видим меньшее число волокон, а следовательно их размер растет.

Другая возможность объяснения - усиление опускания вещества сопровождается ростом магнитного поля, который приводит к слиянию мелких магнитных трубок.

3.6. События в короне

Наблюдения радиоизлучения на ТНА-1500 на волне 5.2 см позволяет проследить выход магнитного поля активной области в корону.

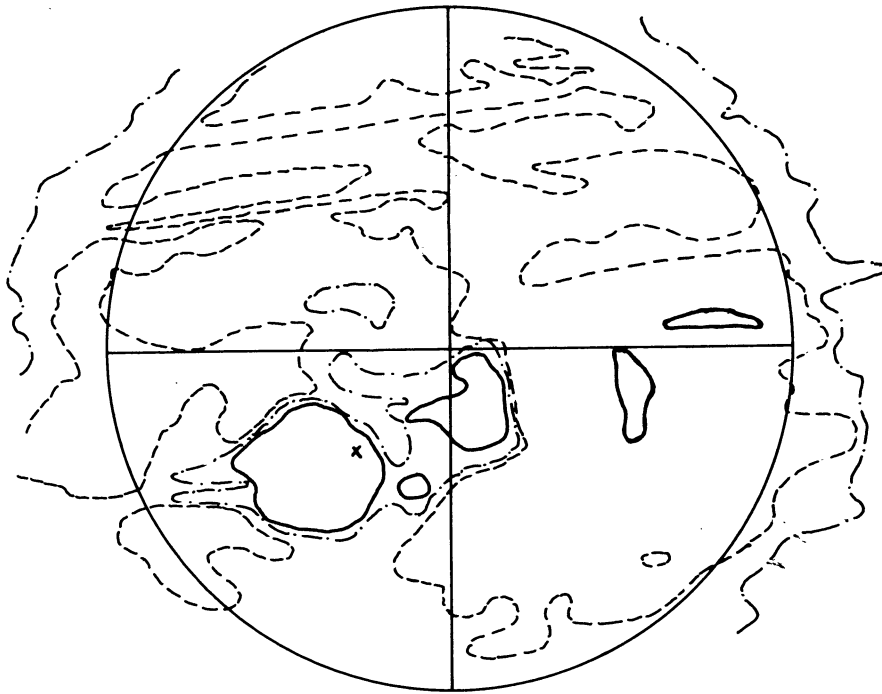
20-21.06. рассматриваемая область характеризуется яркостной температурой, превышающей фоновый уровень на $(5-6) \cdot 10^3 \text{ К}$. Степень поляризации радиоизлучения несколько меньше 1%. (См. рис. 5). Такие значения характеристик радиоизлучения соответствуют флоккулам, находящимся в униполярном магнитном поле (радиоизлучение R - поляризовано, что соответствует полю N - полярности).

22.06. крупномасштабная ячейка, видимая в поляризованном излучении, стремится принять гантелевидную форму, как бы делясь на две. (Рис. 12). В восточном уширении "гантели", где находится хвостовая часть группы № 135 яркостная температура возрастает почти в 2.5 раза (с $2.4 \times 10^4 \text{ К}$ до $5.4 \times 10^4 \text{ К}$). Степень поляризации увеличивается более, чем на порядок (до 11%).

23.06 в поляризованном радиоизлучении образовалась четко выраженная биполярная структура области, в которой R - поляризация преобладает в хвостовой части группы, где быстро выросла напряженность магнитного поля в фотосфере. В соответствии с этим возросла и степень поляризации, а также яркостная температура.

В последующие дни яркостная температура и поляризация постепенно убывают. Отметим, что представленные оценки значений T_B , P_R , P_L являются, по-види-

22.06.84



21.06.84

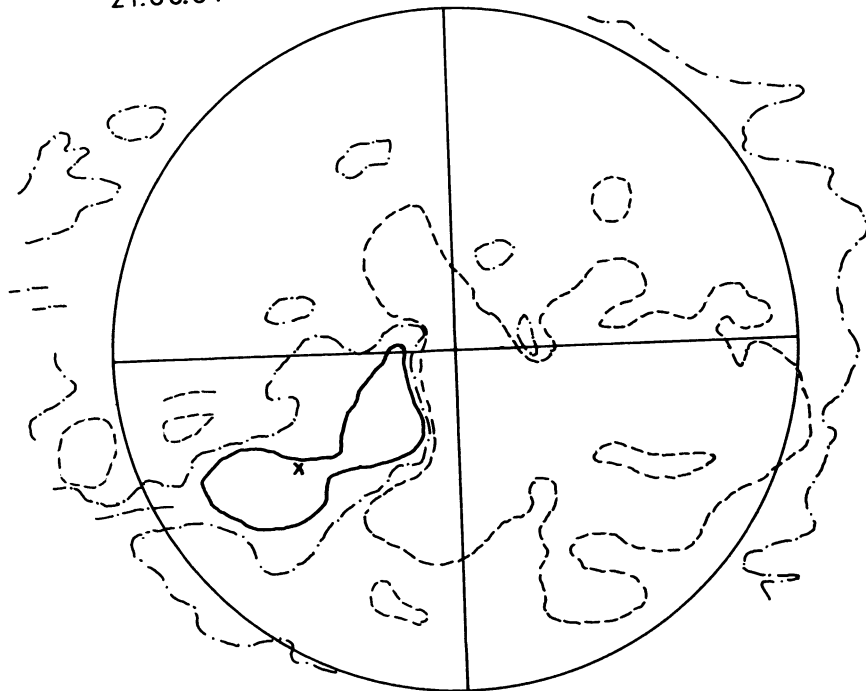


Рис. 12: Карты радиоизлучения Солнца на волне 5.2 см, полученные на ТНА-1500.
(параметр Стокса $V = T_R - T_L$).

Рис. 12: Сплошные линии - изотермы левополяризованного излучения ($V < 0$), пунктир - правополяризованного излучения, ($V > 0$), штрихпунктир - нулевая линия. Положение исследуемой области отмечено косым крестом.

тому, оценками снизу этих параметров, ввиду конечных размеров диаграммы антенны ($0\ 1/2$ Змин. дуги), и взаимовлияния излучения различной полярности, что приводит к искажению измеряемого параметра V , особенно при различных размерах источников. Если определить размеры источника из оптических данных, то $T_{я} \sim 10^6$ К (т.е. на порядок больше).

Полученный ход наблюдательных данных можно интерпретировать следующим образом:

Возрастание яркостной температуры связано с усилением фотосферных магнитных полей хвостовой (N) полярности. Это следует из 1) расположения точки максимума яркостной температуры в хвостовой области группы, 2) преобладания R-поляризованного радиоизлучения в группе ($P_R \gg P_L$). Ход яркостной температуры на фазе спада определяется, в основном, напряженностью магнитного поля N-полярности и, возможно, увеличением расстояния между головным и хромосферным пятнами группы: при неизменной величине магнитного поля петля как бы вытягивается, гирорезонансные уровни несколько опускаются вниз в более холодные области переходного слоя, уменьшая при этом яркостную температуру.

По наблюдениям радиоизлучения на волне 5.2 см с 64-антенным интерферометром (полуширина ножевой диаграммы $35''$) уверенно регистрируется локальный источник (ЛИ) над исследуемой активной областью. На рис. 13 приведены сканы распределения радиояркости ЛИ за 22-25.06.

22.06 над хвостовым пятном имеется область повышенного радиоизлучения.

С 22 на 23.06 в ЛИ произошли существенные изменения. Значительно возросла амплитуда компонента, связанного с хвостовым пятном и стал четко виден межпятенный компонент.

24 и 25.06 существенно выросло радиоизлучение и над головным пятном.

На Рис. 14 показано изменение амплитуды радиоизлучения источника 22.06, связанного с хвостовым пятном. Видно, что с 3^h до 6^h амплитуда не меняется, затем за 1.5 часа она возросла в 2 раза. Это соответствует существенному росту площади хвостового пятна, который можно видеть на рис. 4 в моменты $5^h\ 41^m$ и $7^h\ 58^m$.

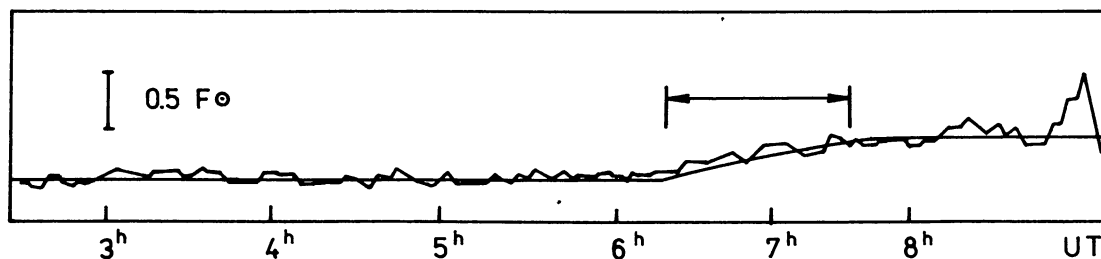


Рис. 14: Радиоизлучение источника, связанного с хвостовым пятном, 22.06.

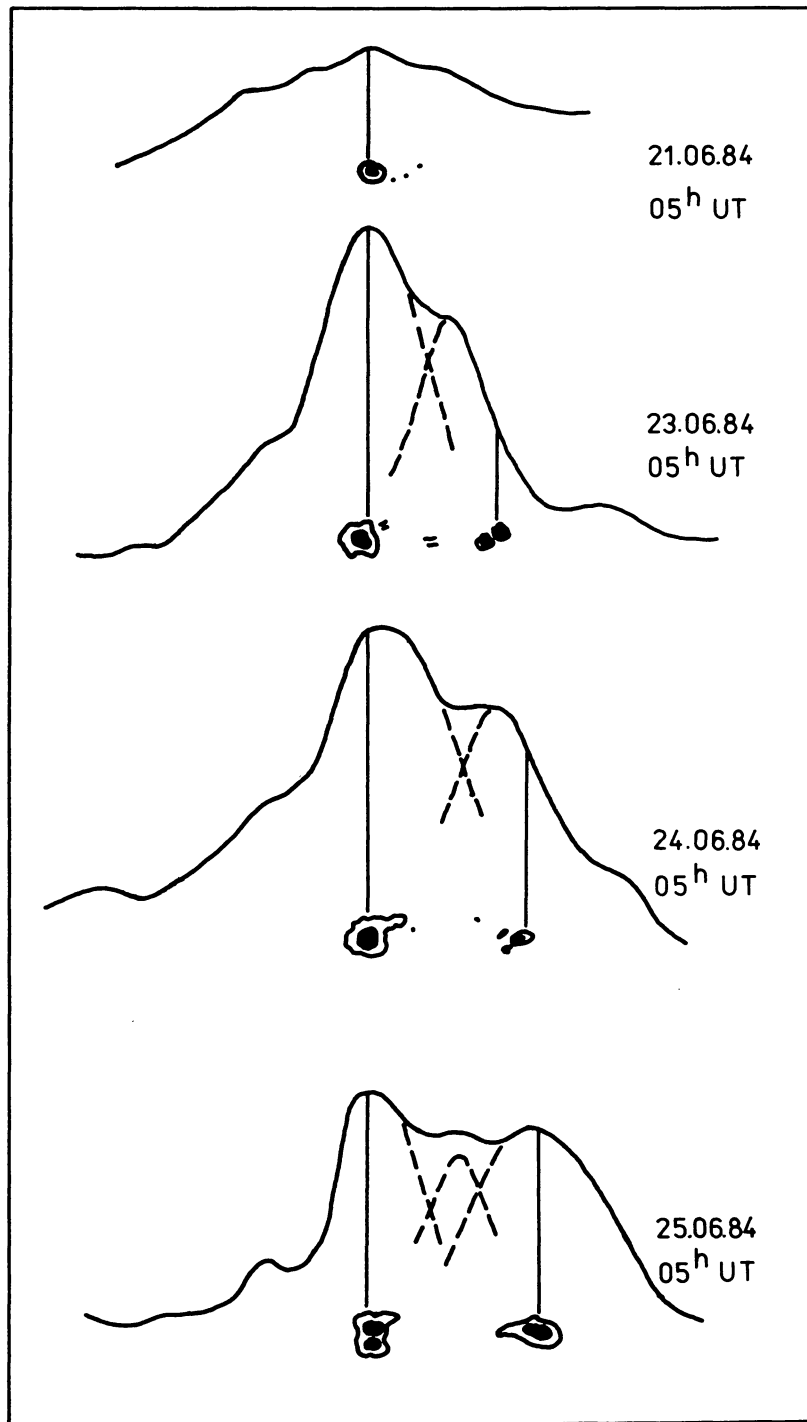


Рис. 13: Сканы распределения радиояркости в локальном источнике над активной областью.

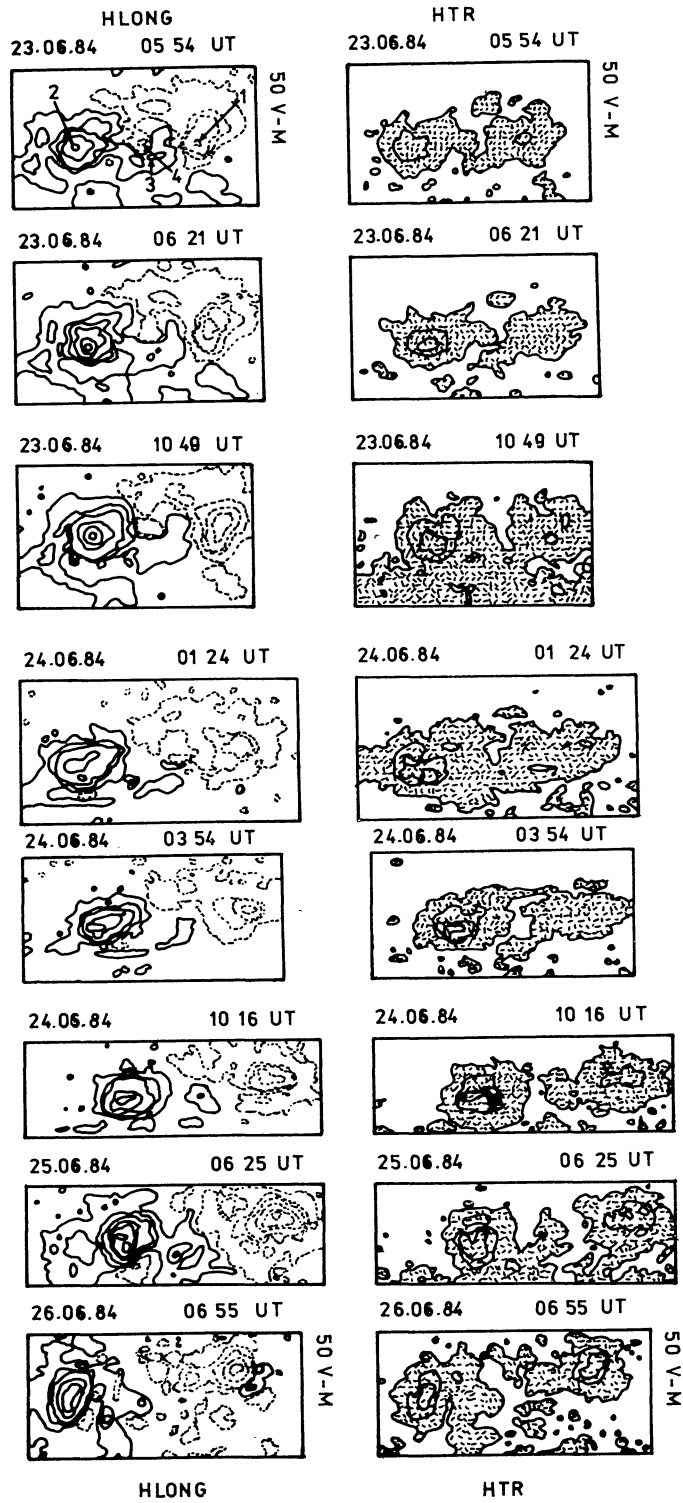


Рис. 15: Карты продольного (а) и поперечного (б) полей активной области 23.06 и 24.06

4. СОБЫТИЯ В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ, НАБЛЮДАВШИЕСЯ 23.06.

23.06 происходил основной выход магнитного потока группы пятен. Он был связан с началом формирования головного пятна группы, которое закончилось 24.06.

На рис. 15 приведены карты распределения продольного поля (а) и поперечного поля (б) за 23.06 и 24.06.

На первой карте продольного поля хорошо видны холмы, соответствующие головному (1) и хвостовому (2) пятнам, а также биполярная структура (3, 4) в центральной части группы. Распределение полей в ней противоположно основному полю группы.

23.06 наблюдалась непрерывная область поперечного поля, охватывающая почти всю группу. К моменту завершения формирования основных пятен группы область поперечного поля разрывается в середине группы, в районе нулевой линии продольного поля. На карте H_{\perp} за 24.06 мы видим, что поперечное поле уже окружает лишь основные пятна группы. Такая эволюция отражает выход основной трубки магнитного потока в фотосферу из конвективной зоны.

23.06 наряду с выходом основного магнитного потока наблюдался также и процесс исчезновения магнитного поля в центральной части группы. На картах рис. 15 видно, что холмы 3 и 4 внутри группы уменьшаются по напряженности от $5^{\text{h}}30^{\text{m}}$ до $10^{\text{h}}20^{\text{m}}$ 23.06 и исчезают в ночь на 24.06.

Измерения интегрального потока и средней напряженности магнитного поля группы показали, что 23.06 интегральный магнитный поток менялся со скоростью 6×10^{20} Мкс/час, а интегральная напряженность поля - со скоростью 7 Гс/час. 24.06 скорости изменения этих величин были меньшими - 1.6×10^{20} Мкс/час и 3 Гс/час соответственно. Время наибольшего роста интегрального потока - от $4^{\text{h}}00^{\text{m}}$ до $7^{\text{h}}00^{\text{m}}$ 23.04. Этот рост связан как с формированием головного пятна, как и с ростом хвостового.

Чтобы проследить изменения во времени направленных вниз потоков вещества обратимся опять к рис. 5. Кривые S_{op} и S_{og} показывают изменение площади опускающегося потока на уровне фотосферы с 21 по 25.06 для головного и хвостового пятен соответственно. Видно, что к 23.06, когда окончательно сформировалась полутень хвостового пятна и появился эффект Эвершеда, площадь опускающегося потока увеличилась в 20 раз по сравнению с 21.06. Затем она начала уменьшаться. Аналогичный характер изменения опускающегося потока вещества наблюдался и у головного пятна. Площадь опускающегося потока в нем увеличилась в 7 раз с 21 по 24.06 и после формирования полутени стала уменьшаться.

23.06.1984 активная область достигает наибольшей яркости в свете K_{232} - линии Ca II. На рис. 16 представлены 3 эквиденситограммы в этой линии для 22, 23 и 24.06.

23.06 изменениям магнитного поля области сопутствовало изменение структуры большого волокна, расположенного на NE от изучаемой группы (Волокна А на рис. 3). Оно удлинялось по направлению к группе в период с $1^{\text{h}}09^{\text{m}}$ до $7^{\text{h}}53^{\text{m}}$ (рис. 17), т.е. практически в то же время, когда происходил наибольший рост интегрального магнитного потока.

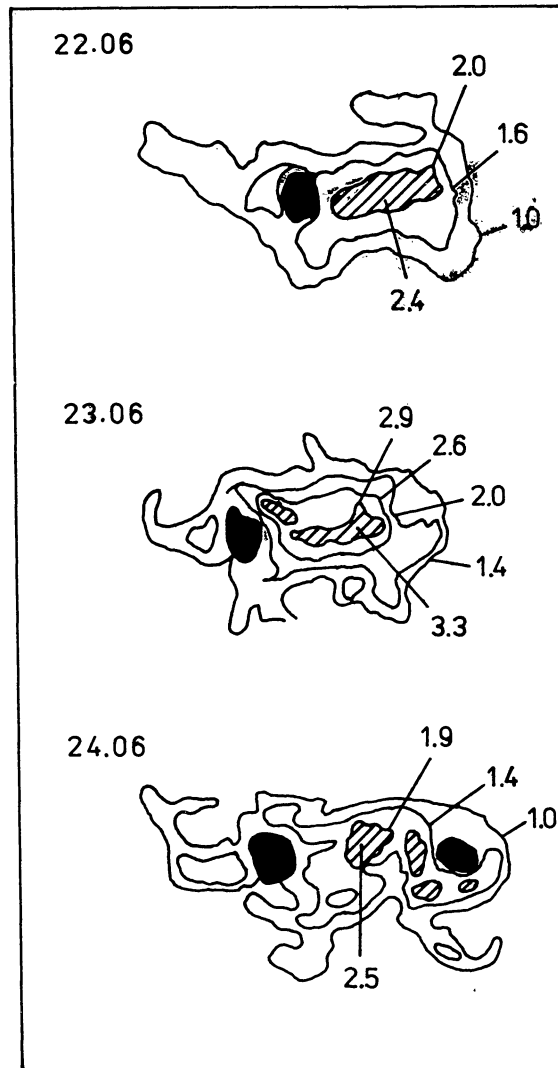


Рис. 16: Эквиденситограммы изображений активной области в свете линии K_{232} $CaII$. Цифрами указаны значения

В это же время в группе наблюдалась наибольшая вспышечная активность. (Моменты вспышек и их продолжительность обозначены черточками под осью абсцисс на рис. 17).

На рис. 18 показано пространственное положение вспышек 23 июня 1984 в активной области. При сравнениями с картами магнитных полей (рис. 15) видно, что вспышки располагаются в местах существенных изменений магнитного поля около хвостового и головного пятен, а также в центральной части группы. Если нанести на один рисунок все узлы вспышек, наблюдавшихся 23.06 до 11^h, то можно



Рис. 17: Изменение длины волокна А для 23.06.1984.

увидеть, что они располагаются на границе некоторой ячейки (рис. 18 ж). Размер ее составляет примерно 26000 км, т.е. порядка размера супергранулы.

22 и 23.06.1984 в районе хвостового пятна по наблюдениям в H_{α} отмечались аркие эмиссионные детали подникающегося вещества со скоростями 15 - 20 км с⁻¹. Если 22.06 эта область всплывания находилась к юго-западу от хвостового пятна, то 23.06 она уже располагалась к северо-западу от него. На рис. 19 эти области отмечены знаками "-". Все наблюдавшиеся в эти дни вспышки имели отрицательную асимметрию линии H_{α} , за исключением одного узла вспышки балла IN 23.06, расположенного в западной части группы. Эта область имела положительную асимметрию, на рис. 19 она отмечена знаком "+".

Радионаблюдения локального источника, связанного с исследуемой активной областью, выполненные на волне 5.2 см, показали, что с 22 на 23.06.1984 в ЛИ также произошли существенные изменения (см. рис. 13).

День 23.06.1984 отличался от всех дней исследуемого периода еще и тем, что в течение всего интервала регистрации радиоизлучения (0^h00^m до 10^h) наблюдались небольшие всплески, интенсивность которых составляла примерно 1 % от потока спокойного Солнца. Ход изменения потока радиоизлучения 23.06 (за вычетом среднего уровня излучения локального источника) приведен на рис. 20. Виден общий подъем потока радиоизлучения примерно до 7^h, т.е. в то же время, когда в группе наблюдались наибольший рост интегрального магнитного потока, рост большого волокна и наибольшая всплывочная активность. Анализ сканов распределения радиояркости ЛИ во время всплесков показал, что до 5^h область генерации всплесков была локализована в непосредственной близости от хвостового

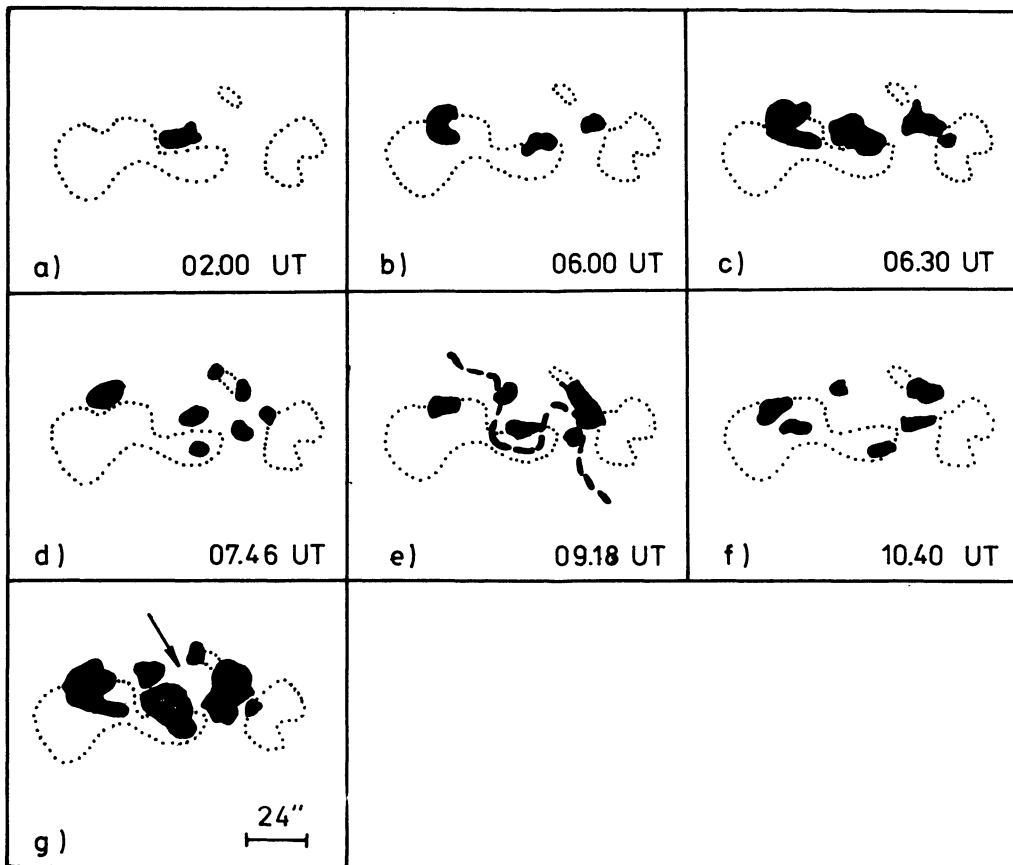


Рис. 18: Пространственное расположение вспышек в активной области (темные места). Точками показаны участки, занятые пятнами.

пятна, а после 5^h она переместилась в среднюю часть группы (рис. 21 а, б). Эта картина неплохо соответствует расположению вспышечных очагов в активной области (см. рис. 17).

Таким образом, анализ всего полученного наблюдательного материала показал что 23.06.1984 в исследуемой активной области происходили наиболее энергичные процессы в фотосфере, хромосфере и короне. Все они были связаны с выходом основного магнитного потока. Наряду с этим 23.06 наблюдается и исчезновение двух магнитных холмов, приведшие к упрощению магнитной конфигурации группы.

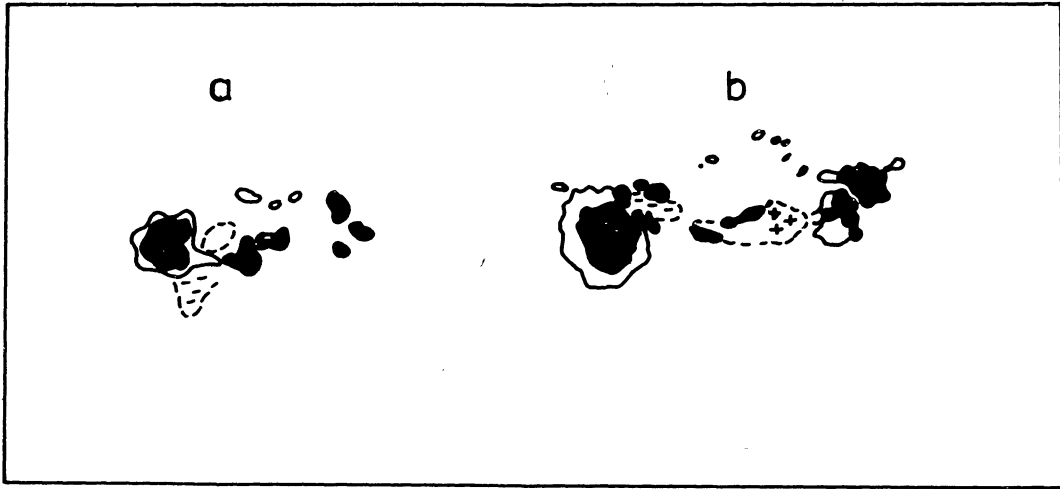


Рис. 19: Положение участков с яркими деталями поднимающегося вещества в линии H_{α} (-) и опускающегося вещества (+) для 22.06 (а) и 23.06-1984 (б)

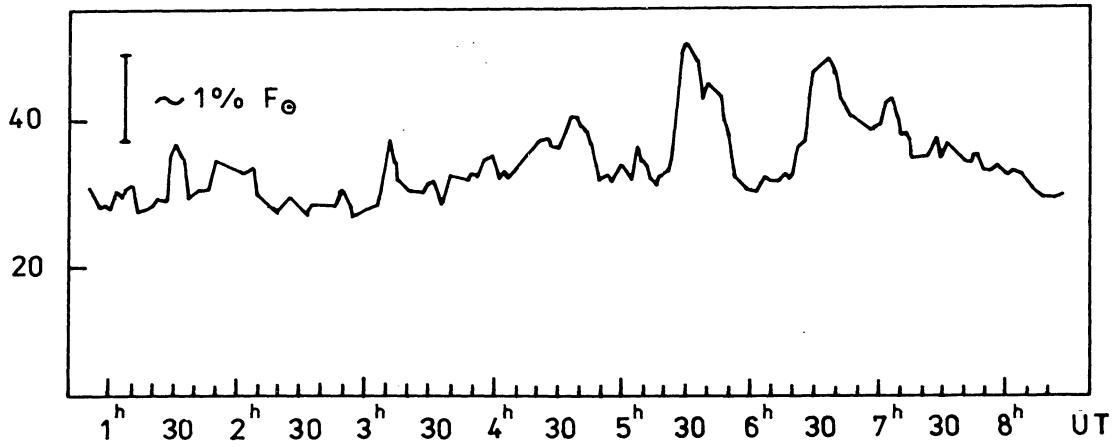


Рис. 20: Изменение потока радиоизлучения локального источника 23.06 на волне 5.2 см.

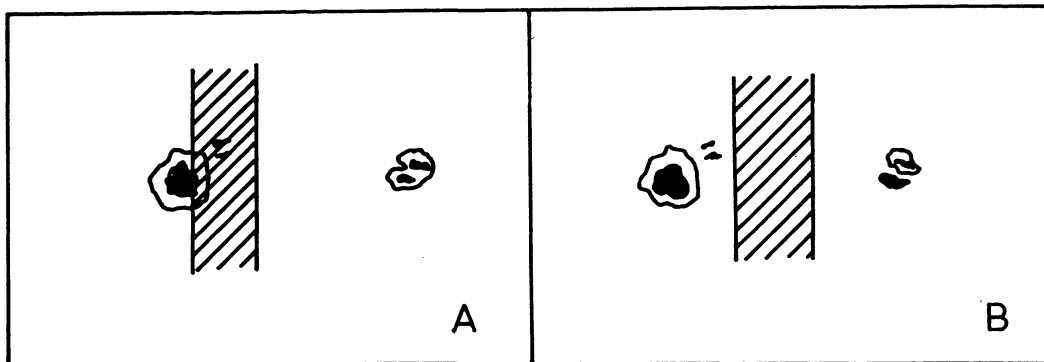


Рис. 21: Положение области генерации (заштрихованные участки) для радиовсплесков, происшедших а/ до 5 и б/ после 5:00 UT, 23.06.1984

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, мы рассмотрели рождение и развитие одной активной области в июне 1984 г.

Подчеркнем, что характерно для этого процесса.

1. Структура крупномасштабных полей в этой части Солнца была очень устойчивой. Две границы, выделяющие зоны (+) поля, существовали практически неизменными как в предыдущем и последующем оборотах, так и в рассматриваемом нами обороте № 1750. Менялась вид волокон, расположенных по этим границам, но положение их не менялось.

2. Выход нового магнитного потока, приведший к образованию активной области, еще до ее возникновения вызвал ряд изменений в атмосфере Солнца. Особенно хорошо они видны в хромосфере. Регуляризация хромосферных структур и связь волокна с местом будущего образования группы потоком фибрилл показывает, что влияние магнитного поля распространилось на обширную область еще до возникновения активной области.

3. Топология развивающейся активной области была тесно связана со структурой фоновых полей в месте ее образования. Все поры и пятна возникали на границах и стыках супергранулярных ячеек. Области усиленного поля и больших скоростей опускались в фотосфере и нижней хромосфере также расположены на границах этих ячеек. Даже вспышки располагались по контуру ячейки.

Кольцевая зона опускающегося вещества вокруг основных пятен группы возникла только тогда, когда у них сформировалась развитая полутьна.

4. Само образование активной области произошло очень быстро. Всего 5 часов прошло с появления первых AFS в хромосфере до появления пор.

5. При развитии активной области различные ее характеристики достигали

максимальных значений в разное время. На рис. 5 видно, что некоторые из них максимальны 23.06, другие 24, а площадь группы пятен 25.06.1984.

Из этого рисунка видно, что максимальная вспышечная активность совпадает с максимальным ростом поля, что предшествует максимуму числа ядер и площади группы.

6. Детальное исследование событий 23.06.1984 подтверждает этот вывод, указывая на связь нового выходящего магнитного потока со вспышками и всплесками радиоизлучения.

Таким образом, изучение эволюции этой активной области продемонстрировало существенное влияние места возникновения на развитие активной области.

Влияние же активной области распространяется на обширный участок атмосферы Солнца, но является кратковременным. Оно не меняет основных характеристик крупномасштабных фоновых магнитных полей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бюллетень "Солнечные данные" № 6, 1984, Наука
2. Solar-Geophysical Data. Department of Commerce (Boulder, Colorado, USA, 80303).
3. В.М. Григорьев, В.П. Селиванов: Структура и динамика конвективных движений в активной области во время ее возникновения и развития. - АЦ № 1415, с. 1-3, январь 1986.
4. А.Б. Делоне, В.И. Булавина: Развитие АО 135 СД по Н-фильтрограммам. - Там же с. 4-5.
5. С.А. Язев: О тонкой структуре АО 135/84 СД.- Там же, с. 5-7.
6. Г.М. Рощина, Г.В. Якунина: Дальнейшее развитие АО 135 в оборотах 1751 - 1752. - Там же, с. 7-8.
7. И.С. Саттаров, М.Б. Огирь, А.Б. Делоне, А.В. Боровик: О развитии и вспышечной активности групп солнечных пятен СД № 135 (1984), - АЦ № 1416, с. 1-2, январь 1986.
8. А.В. Боровик: Малые солнечные вспышки в активной области № 135 СД 23 июня 1984 г. - там же с. 2-4.
9. Н.Н. Каргаполова, В.П. Нефедьев, Г.Я. Смольков: Эволюция локального источника радиоизлучения 22-25 июня 1984 года, связанного с группой пятен № 135. - Там же с. 4-5.
10. Н.Н. Каргаполова, В.П. Нефедьев, Г.Я. Смольков: Всплесковая активность в группе пятен № 135 23 июня 1984 г. - Там же, с. 6-7.
11. В.И. Поляков, В.Е. Меркуленко: Поля скоростей в активной области СД 135/84. - Кинематика и физика небесных тел, 1986 (в печати).
12. Н.В. Огранишвили: Рождение АО СД 135 в линии Н на диске Солнца. - АЦ, 1986 (в печати).
13. Н.В. Огранишвили: Рождение и развитие АО СД 135. - Солнечные данные (в печати).
14. П.Р. Романчук, В.Г. Ловицкий, Ю.А. Чеснок, В.П. Бабий: Крупномасштабные

- магнитные структуры и вспышечная активность Солнца в июне-июле 1984 г.
Вестник Киевского ун-та. Астрономия в печати.
15. Л.Г. Карташова, И.Е. Кожеватов, Е.Х. Куликова, М.В. Огирь, Н.Н. Степанян: Фотосферные лучевые скорости и тонкая структура H - хромосферы в развивающейся активной области СД № 135. Изв. КраО, т. 76 в печати.
- Готовятся к печати.
18. Т.П. Бушуева, Г.П. Марченко: Особенности развития группы пятен и активности области № 135 в линии H .
19. Т.П. Бушуева, Г.П. Марченко: Эволюция активной области в хромосфере в линии K₂₃₂ Ca .
16. В.М. Григорьев, В.Ф. Осак, В.Л. Селиванов: Динамика магнитного поля в активной области № 24094.
17. В.М. Григорьев, В.С. Пещеров: Заметка о развитии фонового магнитного поля в процессе появления новой активной области.
20. Л.Г. Карташова: Изв. Крым. астрофиз. obs. 1985, т. 71, с. 68-75.