



УДК 523.98

## Корональные дыры и комплексы активности на Солнце

С. А. Язев ([uustar@star.isu.ru](mailto:uustar@star.isu.ru))

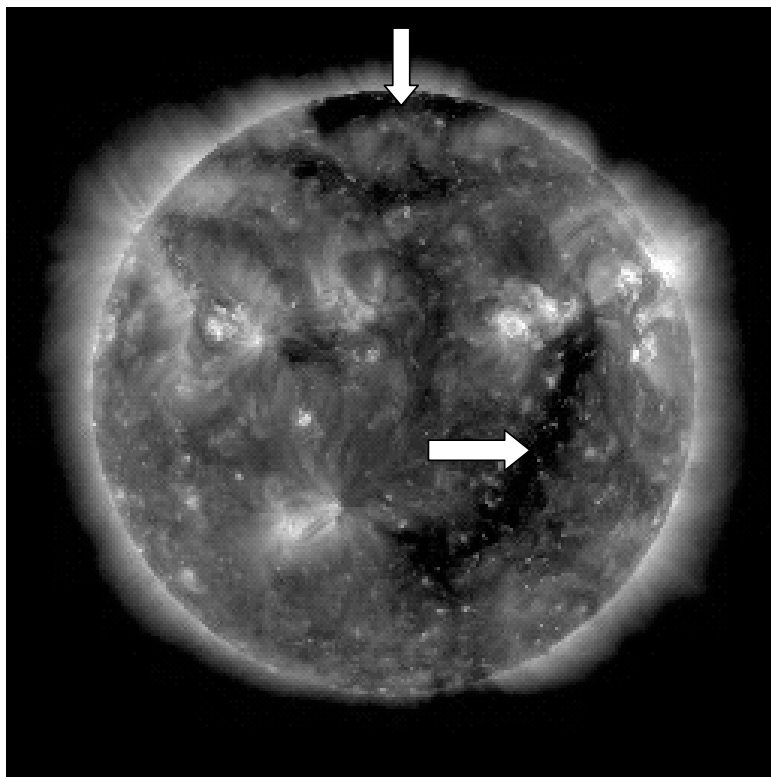
**Аннотация.** Работа посвящена анализу феноменологии и статистике двух типов солнечной активности – корональных дыр и комплексов активности. На примере анализа пространственно-временного распределения этих образований на солнечной поверхности в период фазы роста 22-го цикла солнечной активности показано, что указанные типы структур на Солнце связаны друг с другом генетически. Низкоширотные корональные дыры могут рассматриваться как результат эволюции магнитных полей комплексов активности. Сделан вывод, что комплексы активности на Солнце должны рассматриваться как основной тип структур, генерирующих геоэффективные возмущения, влияющие на земные оболочки, на всех стадиях своей эволюции.

**Ключевые слова:** солнечная активность, корональные дыры, комплексы активности, геоэффективные явления на Солнце.

### Введение

Проблема генезиса корональных дыр на Солнце (далее КД) стала актуальной практически со времени их открытия в начале 1970-х гг. в процессе первых регулярных внеатмосферных наблюдений Солнца в коротковолновом диапазоне электромагнитных волн. Общепринятой является схема, основные положения которой сводятся к следующему.

Большая часть КД возникает вблизи активных областей (АО) [18]. Биполярные магнитные области, эволюционируя путем объединения областей одноименной полярности, образуют крупномасштабные зоны одного знака магнитного поля (МП). По достижении такой зоной размера не менее 30 гелиографических градусов [24] в ее центральной части может сформироваться участок, который выглядит как область пониженной эмиссии в мягком рентгене и ультрафиолетовых линиях, и как область повышенной эмиссии в инфракрасном излучении – образуется КД (рис. 1). В большинстве случаев для КД характерна преимущественно открытая конфигурация МП [14]. Возможны варианты различных топологий КД на солнечном диске: например, когда униполярная область КД окружена со всех сторон полями противоположного знака, либо когда низкоширотная КД соединяется с полярной КД [30; 25; 10]. При этом выполняется (по крайней мере, на фазе спада активности, по данным 20-го цикла, [30; 25; 10]), правило магнитной полярности КД: дыры на низких широтах располагаются в магнитных ячейках того же знака поля, что и полярная область в этом же полушарии.



*Рис. 1.* Диск Солнца 4.09.2010. Вверху видна северная полярная корональная дыра, внизу справа – вытянутая изолированная корональная дыра (в виде темных областей, показаны стрелками). Изображение синтезировано из нескольких снимков в ультрафиолетовых линиях, космическая обсерватория SDO

Санчез-Ибарра и Барраза-Паредес [27] разделили все КД на два класса – экваториальные (ЭКД) и полярные (далее ПКД), в зависимости от наличия их топологической связи с полярными областями. Типичная ПКД выглядит, как «отросток» (выступ) постоянно существующей дыры в полярной области, протягивающийся в область низких широт. ЭКД, в свою очередь, наблюдаются на низких широтах в пределах «королевской зоны», где развиваются АО, и представляют собой изолированные острова, не связанные в полярными КД.

Термин «экваториальные» дыры представляется не очень удачным, поскольку в этот класс формально попадают и высокоширотные объекты удаленные от экватора, но не связанные с полярными дырами. С этой точки зрения более уместен термин «изолированные корональные дыры» (ИКД), который будет использоваться в дальнейшем. Инсли et al [28] указали, что эти два класса КД представляют собой две популяции, различающиеся характером вращения и характеристиками хода развития в течение цикла.

Иванов и Ихсанов [9; 8] продемонстрировали, что внутри каждого из указанных классов можно выделить подклассы, отличающиеся характером развития и степенью дифференциальности вращения. Так, КД, относящиеся-

ся к одному из подклассов, вращаются с той же или меньшей дифференциальностью, что и солнечные пятна, существуют в основном на фазе роста цикла и связаны с низкоширотной активностью. КД второго подкласса вращаются почти твердотельно, появляются в основном на фазе спада цикла и связаны с высокоширотной активностью. Эти подклассы присутствуют в обеих популяциях – как ПКД, так и ИКД.

Каждая фаза цикла имеет свои особенности. Так, в начале цикла bipolarные области возникают на высоких широтах с обращенной по отношению к ситуации в предыдущем цикле полярностью. В этот период совпадают полярности у КД и головных частей активных областей (далее АО). Эти головные части, расширяясь со временем, на беспятенной фазе эволюции могут образовывать высокоширотные КД (ПКД), представляющие собой вытянутые к сторону низких широт выступы (отростки) полярных областей [10].

Вблизи максимума цикла наблюдается большое количество активных областей, в связи с чем формирование крупномасштабных долгоживущих униполярных областей, где могли бы развиваться КД, затруднено, особенно на низких широтах. Поэтому число последних невелико и они преимущественно короткоживущие (хотя имеются впечатляющие примеры существования крупных ИКД и ПКД на фазе максимума цикла) (рис. 2).

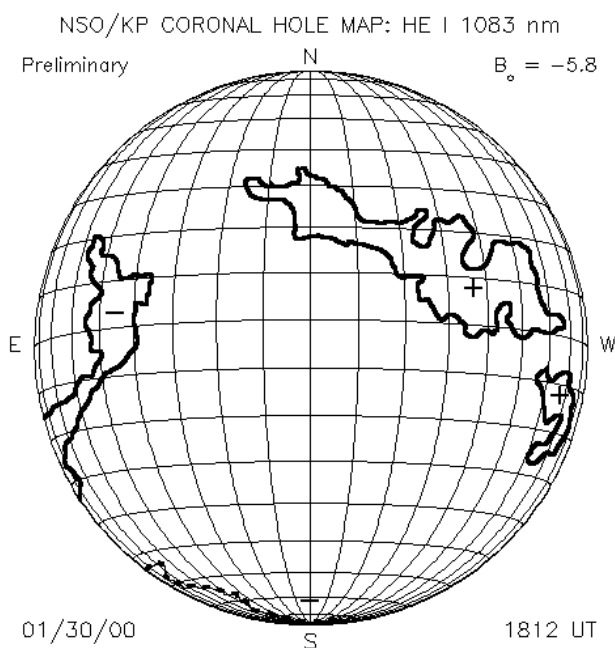


Рис. 2. Контуры ИКД на фазе максимума солнечного цикла. 30 января 2000 г., по изображениям в линии гелия 1083 нм. Обсерватория Китт-Пик

После переполюсовки выступы полярных дыр (в дальнейшем ПКД) соединяются с областями, возникающими в результате эволюции хвостовых частей АО, следуя правилу полярностей. На фазе спада цикла ситуация, по-видимому, благоприятна для образования больших изолированных экваториальных дыр, поскольку биполярные магнитные области на низких широтах из разных полушарий, сливаясь, могут образовывать крупномасштабные униполярные ячейки. Наконец, в минимуме цикла АО в заметном количестве отсутствуют, следовательно, нет основы для образования областей, способных со временем породить КД. В этот период магнитный поток на полюсах максимален, полярные области максимально развиты [10]. Общая площадь корональных дыр всех типов на фазе минимума оказывается максимальной [21].

Таким образом, гипотеза о генетической связи АО и КД выглядит логически непротиворечивой. Есть впечатляющие примеры прямых наблюдений, подтверждающих формирование корональных дыр на том же месте, где ранее наблюдались АО [23; 22]. Неоднократно отмечались случаи, когда активные процессы, происходящие в комплексах активности (далее КА) или прилегающих к КД активных областях (вспышки, всплытие нового магнитного потока) приводили к явным и существенным изменениям характеристик КД [12; 6; 11; 5]. Существуют и примеры формирования формирования АО непосредственно в пределах крупных КД [14].

В работе [2] рассмотрен вопрос о связи КД с одной из компонент пятенной активности – так называемыми площадками длительной активности (ПДА) [4; 1]. Напомним, что под ПДА подразумеваются участки солнечной поверхности размерами  $20 \times 20$  градусов, где на протяжении по крайней мере трех кэррингтоновых оборотов подряд наблюдаются пятна. Эти зоны, не меняющие за время своей жизни (в среднем 6 оборотов, [3]) положения в кэррингтоновой системе координат, отождествляются с ядрами КА [19; 20].

Исследование пространственно-временных закономерностей развития ПДА и КД на стадии спада 21-го цикла активности показало, что просматривается связь между этими типами образований [2]. Был сделан вывод, что эта связь носит характер генетической, и, по крайней мере, часть популяции КД можно рассматривать как фазу развития КА. В настоящей работе это исследование продолжено с использованием данных о восходящей фазе 22-го цикла.

### **Использованные данные и методика**

На синоптические карты солнечной поверхности были нанесены ПДА и контуры КД (последние взяты в [29] в период с 1778 по 1824 кэррингтонов оборот. Использовались следующие критерии, выполнение которых позволяло предположить наличие физической связи ПДА и КД:

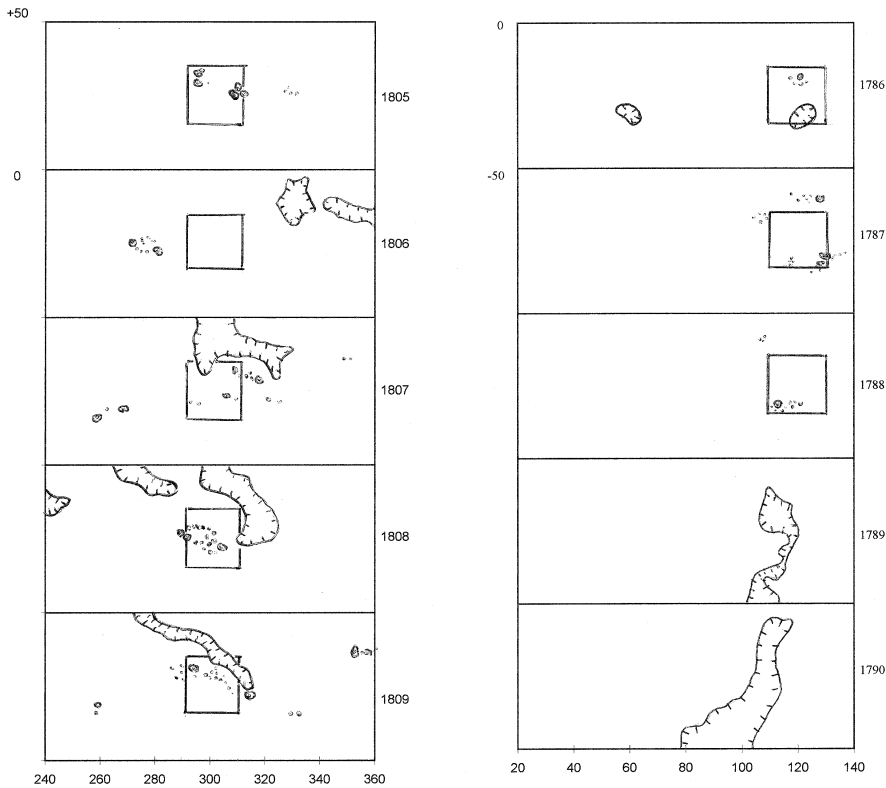
- близость взаимного расположения ПДА и КД;
- наличие характерных особенностей конфигурации КД, в том числе

а) эффект «притяжения» [2] (длинные выступы ПКД протягиваются от полярных дыр «целенаправленно» в сторону ПДА, рис. 3, а);

б) эффект «заливов» [2] (участок КД полукольцом охватывает область ПДА, рис. 3, а).

в) эффект «замещения» [23] (КД образуется точно на месте распавшейся ПДА, рис. 3, б).

г) специфический характер перемещения КД в кэррингтоновой системе координат от оборота к обороту (рис. 4).

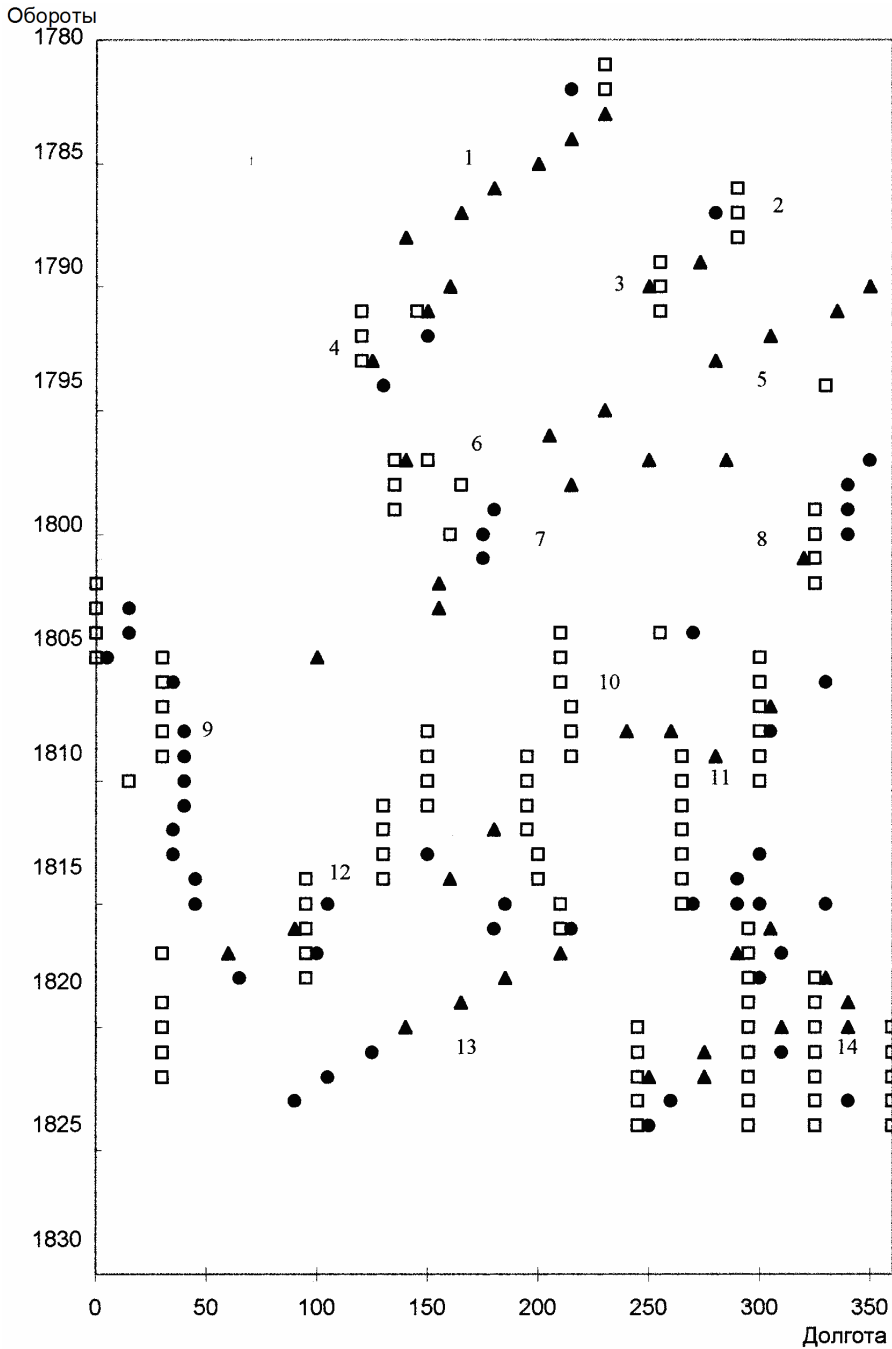


а

б

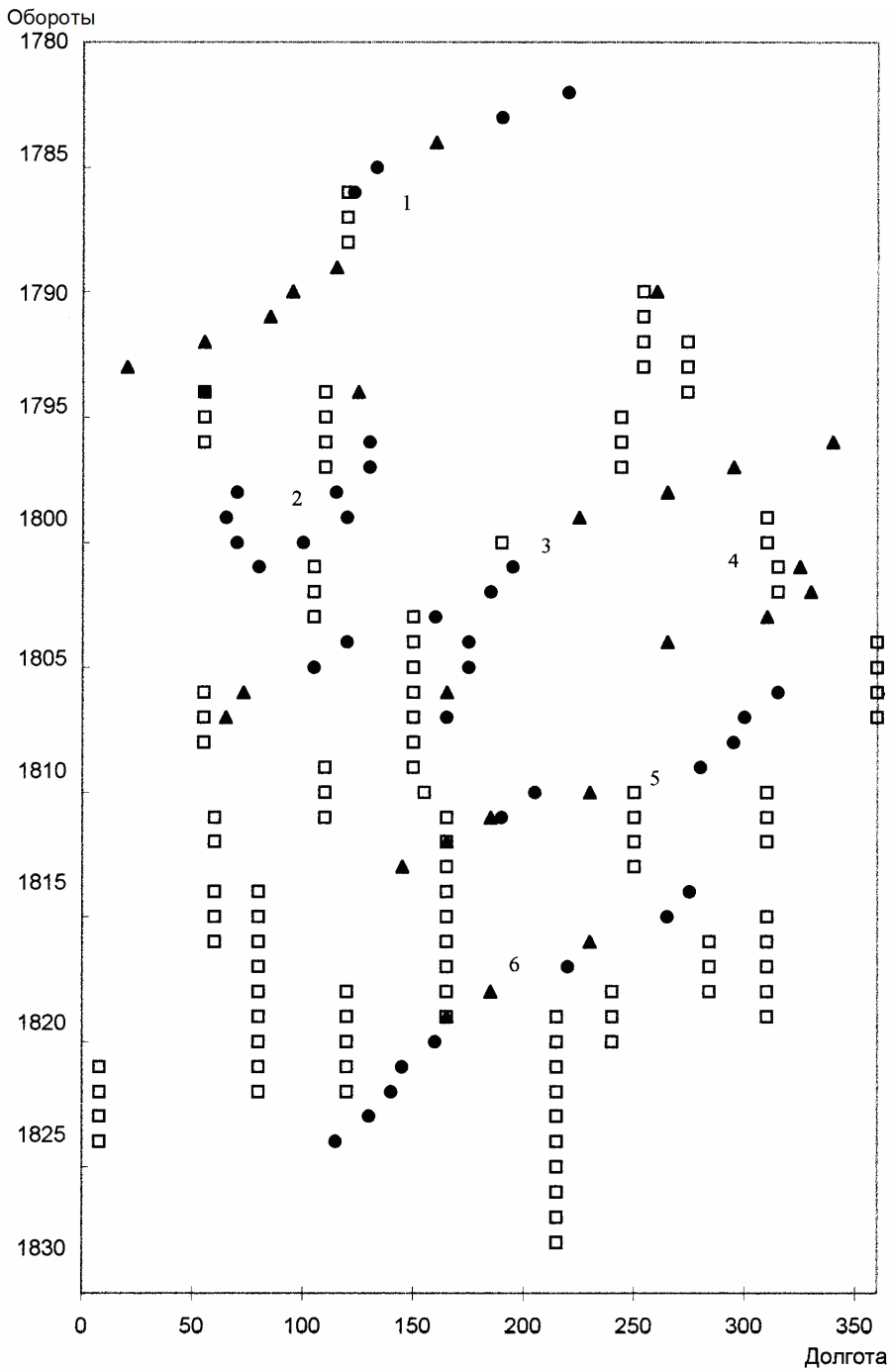
Рис. 3. Развитие пятен и КД: а – в северном полушарии на 1805–1809 оборотах (эффект «заливов» и эффект «притяжения»); б – в южном полушарии на 1786–1790 оборотах (эффект «замещения»). Квадратами показаны ПДА, контурами со штрихами – КД, точками и контурами – группы пятен

Ситуация в целом показана на рис. 4. Здесь на диаграмме долгота ( $L$ ) – номер солнечного оборота ( $t$ ) цепочками квадратиков обозначены ПДА и в отдельных случаях нереккурентные АО, треугольниками и кружками – соответственно, рекуррентные ПКД и ИКД.



а – Северное полушарие

Рис. 4. Развитие ПДА и КД в 22-м цикле солнечной активности (пояснения в тексте)



б – Южное полушарие

Рис. 4. Развитие ПДА и КД в 22-м цикле солнечной активности  
(пояснения в тексте)

На диаграммы не наносились ПДА, которые образовались позже, чем на 1821 солнечном обороте. Протяженность по долготе для изучаемых структур на рис. 4 не отражена. Долгота КД на каждом обороте определялась следующим образом. Для выступа КД, протягивающегося от полярной области к низким широтам (ПКД), определялась долгота середины выступа на гелиографической широте 50 градусов. Вблизи этой широты проходила граница полярных КД, и определяемая долгота соответствовала середине «основания» выступа, протягивавшегося к низким широтам. На этой широте влияние низкоширотных структур на конфигурацию ПКД, по-видимому, проявляется слабо, и общая направленность выступа ПКД здесь, как правило, меридиональная. Это обстоятельство позволяет без затруднений определять долготу середины ПКД. На этой долготы на рис. 4 наносился соответствующий треугольник. Типичная ситуация отклонения ПКД от меридионального направления к западу отмечается уже на более низких широтах. За долготу ИКД, по определению не связанной с полярной областью, принималась долгота геометрического центра тяжести ИКД (обозначение на рис. 4 – кружок).

На рис. 4 показаны только рекуррентные КД, о которых с достаточной степенью уверенности можно утверждать, что они существовали более одного оборота. В некоторых случаях показаны и короткоживущие КД, располагавшиеся рядом с ПДА, когда можно было предположить физическую связь этих образований.

Рекуррентные структуры, для которых можно было предположить наличие связей между ПДА и КД в соответствии с приведенными выше критериями, выглядят на рис. 4 как эволюционные цепочки, для удобства пронумерованные. В нижней части диаграммы, где структур оказывается достаточно много, по-видимому, отдельные цепочки также взаимодействуют между собой.

## Результаты

Совместный анализ исходных синоптических карт и рис.4 приводит к следующим выводам.

На картах явственно виден сильный восточный дрейф большинства ПКД, обусловленный, видимо, дифференциальным вращением. Эффект проявляется в систематическом смещении оснований выступов (ПКД) к востоку со скоростью от 20 до 60 градусов за оборот. При этом низкоширотные части этих ПКД могут вести себя иначе, отклоняясь к западу и вытягиваясь в направлении низких широт. Эффект восточного дрейфа полярных оснований ПКД на широте 50 градусов, в частности, хорошо виден в начале цикла, когда пятна практически отсутствовали. Для изолированных низкоширотных ИКД также характерен восточный дрейф (видимо, влияние дифференциального вращения), однако он всегда меньше, чем для выступов ПКД; есть случаи отсутствия дрейфа на протяжении нескольких оборотов.



Неоднократно наблюдались случаи, когда одна и та же рекуррентная КД на разных оборотах оказывалась то соединенной с полярной областью (относилось к популяции ПКД), то выглядела, как изолированное образование (ИКД, рис. 4). Другими словами, деление всей совокупности КД на две указанные популяции носит в определенном смысле условный характер и характеризует конкретное состояние одного и того же объекта на разных стадиях эволюции. В то же время различия в свойствах ПКД и ИКД указывают на то, что связь с полярной областью (или ее отсутствие) влияет на свойства корональной дыры.

Можно отметить, что с развитием цикла, по мере появления первых ПДА, характер вращения КД меняется. Есть несколько примеров, когда КД, в результате восточного дрейфа оказывались рядом с ПДА (к западу от них), после чего прекращали дрейфовать к востоку в кэррингтоновой системе координат. Это изменение в характере движения можно интерпретировать как образование единой физической системы КД и ПДА, начинавшей вращаться с общей (кэррингтоновой) скоростью. Практически во всех подобных случаях наблюдался либо эффект «притяжения», либо эффект «залива» (примеры на рис. 3), что свидетельствует о реальности взаимодействия. Дифференциальность вращения КД при этом заметно уменьшалась либо не наблюдалась совсем. После распада ПДА (исчезновения пятен в этой области) снова наблюдался восточный дрейф КД (примеры эволюционных цепочек 4, 7, 13 – в северном полушарии, 2, 3 – в южном полушарии, рис. 4) При этом восстанавливалась дифференциальность вращения КД.

Указанный эффект в большей степени характерен для низкоширотных ИКД по сравнению с выступами ПКД. ИКД, оказавшись рядом с ПДА, начинали вращаться практически твердоотносно, не смещаясь в кэррингтоновой системе координат на протяжении нескольких оборотов (цепочка 9 в северном полушарии, рис. 4, *a*). Для полярных образований это характерно в меньшей степени.

Как уже отмечалось, совместное рассмотрение ПДА и КД (рис.4 позволяет выделить эволюционные цепочки, образованные этими структурами), – когда ПДА возникала на месте КД (эффект «замещения»), или вблизи КД. Наблюдались и обратные ситуации – КД возникала вблизи ПДА. В начале цикла выделение таких цепочек не составляло труда: (цепочки, отмеченные номерами 1, 4, 5, 7, 8 – в северном полушарии, 1, 2, 3, 4 – в южном, рис. 4. В период нарастания активности и вблизи максимума цикла солнечной активности ситуация усложняется: имело место образование мощных многоядерных (объединяющих в себе несколько ПДА) КА (цепочки 11, 12, 14 – в северном полушарии).

Кроме того, отмечались случаи многократного «замещения» по схеме ПДА-КД- ПДА-КД, когда на месте КД, связанной с исчезнувшей ПДА, появлялась новая ПДА, и т. д. Усложнение ситуации по мере приближения максимума цикла заставила прекратить анализ ситуации на дальнейших

оборотах, поскольку КА и их ядра (ПДА) наблюдались практически на всех долготах, и выделение индивидуальных цепочек стало невозможным.

Описанные свойства совместного развития КД и ПДА, с точки зрения автора, указывают на физическое взаимодействие этих типов структур. Об этом, помимо того, может свидетельствовать следующая статистика, относящаяся к рассматриваемому периоду (см. рис. 4).

1. Отмечено всего три случая развития ПДА без сопутствующих КД (южное полушарие, обороты 1809–1822, интервал долгот 50–100 градусов). Эти случаи относятся к фазе роста и максимума цикла. Тем не менее, просматривается связь с КД соседних ПДА, входящих в один и тот же КА. Таким образом, все КА были связаны с какими-то КД через одно из ядер, входящих в их структуру.

2. Отмечено всего два случая развития КД без ПДА (цепочки 1, 6 – в северном полушарии, рис. 4, [18]) – обе в начале цикла, когда развитие активности еще не вышло на «штатный режим».

3. Число случаев, демонстрирующих связь ПДА и КД (совместное, либо последовательное развитие на близких координатах) заметно превышает число случаев без признаков этой связи. Так, выделено четырнадцать случаев, когда возникновение КД предшествует близкому появлению ПДА. Здесь также учтены примеры повторного появления ПДА вблизи КД, которые в свою очередь развивались на месте ранее существовавших ПДА.

4. В одиннадцати случаях возникновение ПДА предшествовало появлению КД. Здесь также учтены случаи повторного появления КД вблизи ПДА, которые в свою очередь развивались на месте ранее существовавших КД.

5. В четырех случаях имело место одновременное появление ПДА и связанной с ней КД. Здесь надо учитывать, что одновременность рассматривается с точностью до продолжительности одного солнечного оборота. При более детальном рассмотрении, очевидно, этот раздел пополнил бы своими данными два предыдущих раздела.

Следует обратить внимание на факты, когда ПКД дрейфует через долготы, занимаемые ПДА. При рассмотрении ситуации по синоптическим картам было установлено, что выступы ПКД в данном случае дрейфуют вдоль КА, «обметая» его полярную широтную границу. При этом ПДА в составе КА, по-видимому, не влияют заметным образом на характеристики вращения ПКД, которая «не дотягивается» до низких широт, где располагались ПДА. Связи ПДА и ПКД здесь определяются только в соответствии с первыми двумя критериями, указанными выше – выступы ПКД протягиваются к пятнам ПДА, в то время как сама конфигурация ПКД меняется под действием дифференциального вращения. Можно предположить, что взаимодействие в данном случае менее сильное, чем рассмотренное выше, ПДА образуют с КД лишь временные связи, разрушаемые сдвиговыми движениями.

## Обсуждение

Результаты, изложенные в настоящей работе, противоречат тезису о всеобщем твердотельном характере вращения КД, сформулированному на ранних этапах изучения феномена КД [16]. Обридко и Шельтинг [13] отмечали, что этот тезис базировался на наблюдениях, выполненных только на фазе спада активности. Исследование же дополнительных данных привело к выводу о заметной дифференциальности вращения КД на других фазах цикла.

Анализ данных, рассмотренных в настоящей работе, указывает на, несомненно, дифференциальный характер вращения по крайней мере части популяции корональных дыр, что вполне согласуется с данными [10]. Особенно ярко этот эффект проявлялся в динамике ПКД, когда полярные основания длинных заливов систематически «отставали» от быстро вращающихся низкоширотных участков.

Заметим, что отчасти феномен мог быть обусловлен влиянием методики: для определения положения ПКД бралась середина выступа КД на широте 50 градусов. При изменении угла наклона оси залива по отношению к меридиану, или же изменении конфигурации границ ПКД в принципе может быть получен эффект кажущегося восточного дрейфа. Однако рассмотрение синоптических карт показало, что восточный дрейф заливов полярных КД реален и не может быть объяснен только методическими погрешностями.

Привлекает к себе внимание следующее обстоятельство. Низкоширотные ИКД вращаются с большей скоростью по сравнению с ПКД, и есть несколько примеров длительного, практически жесткого вращения КД с кэррингтоновой скоростью, без заметных деформаций формы, порождаемых дифференциальным вращением. Во всех таких случаях ускорение вращения КД (как экваториальных, так, впрочем, и полярных) сопровождалось присутствием поблизости ПДА. Этот факт, по-видимому, следует рассматривать как доказательство связи ПДА и КД, которые образуют целостные структуры во время их совместного существования. При этом КД может подвергаться дифференциальному вращению до тех пор, пока поблизости не образуется (или же КД не приблизится к) ПДА. На стадии совместного сосуществования параметры вращения ПДА-КД оказываются близкими к твердотельным. Если ПДА исчезает, вращение оставшейся КД снова становится дифференциальным.

Таким образом, можно предложить попытку объяснить наличие двух подклассов в популяции КД, на которые указывают Инсли [26], а также Иванов и Исханов [9; 8]. Различие между подклассами, видимо, зависит от того, связана или не связана та или иная КД с близко расположенной устойчивой, твердотельно вращающейся пятенной компонентой комплекса активности (ПДА). Существенным является то, что на разных стадиях развития одна и та же долгоживущая КД может оказаться и твердотельно, и дифференциально вращающейся, а также и связанной, и не связанной с полярными областями.

Таким образом, при изучении характера вращения КД, по-видимому, следует одновременно рассматривать развитие пятенной активности в близкорасположенных долгоживущих структурах типа КА. Кроме того, при статистических исследованиях свойств корональных дыр необходимо учитывать эволюционные изменения в рекуррентных структурах, а не рассматривать КД на каждом обороте как отдельные независимые образования.

В нарушение правила полярностей [2] отмечено несколько случаев, когда изолированная КД имела знак, противоположный знаку полярной области в той же полусфере. Таким образом, указанное правило оказывается не абсолютным. На подобные случаи указано и в [17].

Что касается полярностей КД и связанных с ними ПДА, то выступы КД протягивались к ПДА в полном соответствии с полярностями: к головной либо хвостовой части ПДА, – таким образом, чтобы знак магнитного поля в КД и в ближайшей к ней части ПДА совпадали. Последний факт можно трактовать как дополнительный довод в пользу следующей схемы.

В ходе эволюции ПДА области ведущей и ведомой полярностей постепенно расширяются. При этом в пределах ядра комплекса активности могут продолжать возникать и развиваться новые пятна. Образуются крупномасштабные магнитные ячейки, в пределах одной из которых после разрушения пятен со временем возникает КД. Если речь идет о головной ячейке (ведущая полярность), то возможно объединение КД с полярной областью, имеющей в рассматриваемый период тот же знак. Такие ситуации наблюдались наиболее часто на фазе роста цикла. По-видимому, таким образом можно объяснить эффект «замещения» ПДА на КД.

Отмечены два случая, когда дыры образовывались на базе хвостовой ячейки, формируя изолированную ИКД. Знак МП в ИКД при этом будет противоположен знаку ближайшей полярной области. Параметры вращения в этом случае ближе к кэррингтоновым, чем в первом. Возможно соединение дыры с противоположной полярной областью «своего» знака через экватор, подобные примеры отмечены на стадии максимума-спада 21-го цикла активности [8]. Однако в целом это нетипичная ситуация.

Данная схема не требует (во всяком случае, в явном виде) слияния магнитных ячеек одного знака от нескольких соседних АО. Тот факт, что практически все рекуррентные КД за рассматриваемый период времени оказались связаны с ПДА, заставляет предположить, что, по-видимому, отнюдь не всякие АО могут, эволюционируя, порождать КД, но только развивающиеся в ПДА (ядрах КА). Н. Н. Степанян [21] указывает, что скорость вращения КД отличается от скорости вращения фоновых МП. На основании этого факта сделано предположение, что МП корональных дыр укоренены глубже, чем фоновые поля. Поскольку аналогичная гипотеза выдвинута и для ядер КА (ПДА), [24], такая версия с учетом связи ПДА и КД выглядит вполне логичной. В то же время остается вопросом проблема механизма совместного существования КД и ПДА.

Привлекает внимание и следующий аспект проблемы. В соответствии с излагаемой схемой, КД развивается на базе диффундирующего поля од-

ной из полярностей ПДА. С другой стороны, мы сталкиваемся с ситуацией, когда ПДА возникает на месте КД, или вблизи КД, и такие появления производят впечатление неслучайных (цепочка 8 в северном полушарии, цепочка 1 в южном полушарии, см. рис. 4). Можно ли считать, что не только ПДА порождают КД, но и наоборот (обратное «замещение»? Вероятно, возможна ситуация, когда наблюдается появление новой ветви старого КА, старая ветвь которого уже прошла стадию пятнообразования и эволюционирует как КД. Тогда появление новой ПДА по соседству с такой КД будет выглядеть вполне естественным как проявление сосуществования двух «разновозрастных» ветвей одного КА.

Еще одна версия, впрочем, не противоречащая предыдущей, сводится к тому, что область КД по каким-то причинам действительно может оказаться предпочтительной для выхода магнитного потока новой ПДА. Не исключено, что мы имеем дело с некими «особыми» точками на поверхности Солнца, где, как правило, и образуются рассматриваемые структуры. Последние соображения являются чисто умозрительными и нуждаются в проверке на данных наблюдений.

## Выводы

Могут быть сделаны следующие выводы:

1. В период одновременного существования связанных ПДА и КД характер вращения, как правило, меняется, скорость вращения становится, как и у ПДА, кэррингтоновой либо близкой к кэррингтоновой. После распада ПДА вращение КД снова замедляется (хотя имеется случай, когда скорость вращения ИКД осталась кэррингтоновой и после распада связанной с ней ПДА).

2. Подавляющая масса рекуррентных КД очевидно связана с ПДА (ядрами КА). Эта связь проявляется в локализации их возникновения, выполнении правила полярностей (примыкания выступов КД к ПДА с восточной или западной стороны в зависимости от собственного знака), эффекте «притяжения», изменении характера вращения во время совместного сосуществования, эффекте «замещения», когда КД возникает на месте распавшейся ПДА и наоборот. Таким образом, предварительные соображения о «генетической связи» ПДА и КД, высказанные в [2] можно считать подтвержденными. Таким образом, КД могут рассматриваться как форма существования комплексов активности (или, точнее, ядер комплексов активности) на поздней, беспятенной стадии их развития.

3. Комплексы активности на Солнце должны рассматриваться как основной тип структур, отвечающих за генерацию геоэффективных возмущений на Солнце. На фазе активного развития в основных активных областях, входящих в состав КА, происходят наиболее мощные вспышки, нетипичные для индивидуальных короткоживущих АО [20]. По-видимому, КА являются теми областями на Солнце, где сложная топология магнитного поля наиболее эффективно позволяет формироваться выбросам коронального вещества массы [15; 28], также относящимся к наи-

более геоэффективным проявлениям солнечной активности. На фазе распада пятен на месте эволюционирующих магнитных полей КА может сформироваться изолированная корональная дыра либо «залив» полярной корональной дыры. Область КД является долгоживущим источником высокоскоростного геоэффективного солнечного ветра, оказывающего воздействие на магнитосферу Земли. В результате оказывается, что комплексы активности способны оказывать воздействие на земные оболочки на протяжении всего времени своего существования – от зарождения первых АО в ядре КА вплоть до распада магнитных полей КА на поздней беспятенной стадии эволюции. Поэтому исследование феномена КА является важной и актуальной задачей, имеющей как фундаментальную, так и прикладную компоненты [7].

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки в рамках проекта РНП.2.2.3.1/198, гранта РФФИ 09-02-90204 Монг\_а, Программы Президиума РАН № 4 и Госконтракта 02.740.11.0576.*

*Автор благодарен В. Г. Файнштейну за обсуждение рукописи и полезные замечания.*

#### Список литературы

1. Банин В. Г. Каталог площадок длительной активности в 1980–1989 годах / В. Г. Банин, С. А. Язев // Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. – М. : Наука, 1991. – Вып. 95. – С. 141–148.
2. Банин В. Г. Комплексы активности и корональные дыры / В. Г. Банин, С. А. Язев // Солнечные данные. – 1991. – № 1. – С. 78–83.
3. Банин В. Г. Новые индексы солнечной активности и их использование в гелиогеофизическом прогнозировании // Геомагнетизм и аэронаука. – 1997. – Т. 37, № 1. – С. 32–38.
4. Банин В. Г. Площадки длительной активности на нисходящей ветви солнечного цикла № 21 / В. Г. Банин, С. А. Язев // Кинематика и физика небесных тел. – 1989. – Т. 5, № 4. – С. 62–68.
5. Биленко И. А. Закономерности структурной организации различных проявлений солнечной активности // Труды Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга. – М., 2004. – Т. 75. – С. 73.
6. Вальчук Т. Е. Реккурентная экваториальная корональная дыра в фазе максимума 23 цикла – анализ зарождения и развития / Т. Е. Вальчук, Э. И. Могилевский, В. И. Одинцов // Активные процессы на Солнце и звездах : тр. науч. конф. стран СНГ и Прибалтики (Санкт-Петербург, 1–6 июля 2002 г.) – СПб. : НИИРФ СПбГУ, 2002. – С. 16–19.
7. Жеребцов Г. А. Международный гелиофизический год / Г. А. Жеребцов, С. А. Язев // Вестн. РАН. – 2008. – Т. 78, № 3. – С. 202–215.
8. Иванов В. Г. О дифференциальном вращении корональных дыр / В. Г. Иванов, Р. Н. Ихсанов. // Современные проблемы солнечной цикличности : тр. конф., посвящ. памяти М. В. Гневышева и А. И. Оля. – СПб. : ГАО РАН, 1997. – С. 81–85.
9. Иванов В. Г. Особенности пространственно-временного распределения корональных дыр / В. Г. Иванов, Р. Н. Ихсанов // Современные проблемы солнеч-

ной цикличности : тр. конф., посвящ. памяти М. В. Гневышева и А. И. Оля. – СПб. : ГАО РАН, 1997. – С. 76–80.

10. *Коваленко В. А.* Солнечный ветер / В. А. Коваленко. – М. : Наука, 1983. – 272 с.

11. *Козлова Л. М.* О взаимодействии корональных дыр с активными областями на Солнце по наблюдениям в линиях He I 10830 Å и H $\alpha$  / Л. М. Козлова, Б. В. Сомов // Труды Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга. – М., 2004. – Т. 75. – С. 53.

12. *Маланушенко Е. В.* Наблюдения Солнца в линии HeI 1083 нм в КраО в 1999–2000 годах. Солнечная вспышка 6 июня 2000 и разрушение корональной дыры в ноябре 1999 года / Е. В. Маланушенко, Н. Н. Степанян // Изв. КраО. – 2001. – Т. 97. – С. 69–75.

13. *Обридко В. Н.* О дифференциальном вращении корональных дыр / В. Н. Обридко, Б. Д. Шельтинг // Солнечные данные. – 1988. – № 1. – С. 89–93.

14. Свойства магнитных полей корональных дыр на Солнце с магнитными областями / В. Г. Файнштейн, Н. Н. Степанян, Г. В. Руденко, В. М. Малащук, Л. К. Кашапова // Изв. КраО. – 2010. – Т. 106 (1). – С. 7–16.

15. *Сидоров В. И.* Топологическая модель солнечного события, включавшего вспышку и корональный выброс массы 19 октября 2001 года / В. И. Сидоров, С. А. Язев // Космические исследования. – 2008. – Т. 46, № 4. – С. 1–7.

16. Солнечная и солнечно-земная физика. Иллюстрированный словарь терминов / под ред. А. Бруцека и Ш. Дюрана. – М. : Мир, 1980. – С. 57.

17. *Степанян Н. Н.* Корональные дыры и фоновые магнитные поля // Солнечный цикл. – СПб. : ФТИ, 1993. – С. 36.

18. *Файнштейн В. Г.* Рождение корональных дыр: особенности проявления в различных спектральных линиях и связь с динамикой магнитного поля / В. Г. Файнштейн, Г. В. Руденко, Л. К. Кашапова // Солнечно-земная физика / Изд. СО РАН. – 2005. – Вып. 8 (121). – С. 67–70.

19. *Язев С. А.* О структуре и эволюции комплекса активности на Солнце // Кинематика и физика небесных тел. – 1990. – Т. 6, № 5. – С. 58–66.

20. *Язев С. А.* Феномен комплексов активности на Солнце / С. А. Язев, В. И. Сидоров // Современные проблемы в астрофизике и физике космической плазмы тр. X конф. мол. уч. – Иркутск : ИО ИСЗФ СО РАН, 2007. – С. 65–71.

21. *Bravo D.* The correlation between sunspot and coronal hole cycles and a forecast of the maximum of sunspot cycle 23 / D. Bravo, G. A. Stewart // Solar Physics. – 1997. – Vol. 173, N 1. – P. 193–198.

22. *Bumba V.* Interpreting the growth and destruction of a large long-duration active-region complex / V. Bumba, A. Garcia, S. Jordan // Astron Astrophys. – 1997. – Vol. 329, N 3. – P. 1138–1144.

23. *Bumba V.* Some peculiarities of magnetic field Development in a Complex active region with large flares of May 13–14 and 16, 1981 // Solar Maximum Analysis. Additional issue. Proceedings of the International Workshop held in Irkutsk, USSR, 17–24 June, 1985. – Novosibirsk : Nauka, Siberian Division, 1988. – P. 255–258.

24. Coronal Holes and High-Speed Wind Streams / ed. *J. Zirker* // Boulder. Colo. – Colorado Associated University Press, 1977. – 454 p.

25. *Harvey J. W.* Coronal holes and Solar magnetic fields / J. W. Harvey, N. R. Sheely // Space Sci. Revs. – 1979. – Vol. 23, N 2. – P. 139–158.

26. *Insley J. E.* The differential rotation of the corona as indicated by coronal holes / J. E. Insley, V. Moore and R. A. Harrison // Solar Phys. – 1995. – Vol. 160, N 1. – P. 1–18.

27. *Sanches-Ibarra A.* Catalogue of Coronal Holes 1970–1991 / A. Sanches-Ibarra, M. Barraza-Paredes // Report UAG-102. – 1992. – Boulder. – CO 80303 USA.
28. *Sidorov V. I.* Large Solar Flares and Coronal Mass Ejections: Their Manifestations in Chromosphere / V. I. Sidorov, S. A. Yazev // *Geomagnetism and aeronomy.* – 2009. – Vol. 49, N 8. – P. 1076–1079.
29. *Solar Geophys. Data / Part 1, Prompt report, № 507–535.*
30. *Timothy A. F.* The structure and evolution of coronal holes / A. F. Timothy, A. S. Krieger and G. S. Vaiana // *Solar Phys.* – 1975. – Vol. 42, N 1. – P. 135–156.

## Coronal holes and complexes of activity on the Sun

S. A. Yazev (uustar@star.isu.ru)

**Annotation.** The paper is devoted to the phenomenology analysis and to the statistics of two types of solar activity – coronal holes and complexes of activity. Considering the analysis of the spatial-time distribution of these formations on the Sun surface during the increase phase of the 24 solar activity cycle it is shown that the given types of structures on the Sun are related to each other other genetically. Low-latitude coronal holes may be considered to be caused by evolving the magnetic fields of activity complexes. It is concluded that complexes of activity should be regarded as the essential type of structures generating the geoeffective disturbances influencing the Earth's coats during all stages of their evolution.

**Key words:** solar activity, coronal holes, complexes of activity, geoeffective phenomena on the Sun.

*Язев Сергей Артурович*

*кандидат физико-математических наук  
Иркутский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
директор астрономической обсерватории  
доцент*

*Институт солнечно-земной физики СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126а  
старший научный сотрудник  
тел.: (3952) 27-12-94*