

АКТИВНЫЕ ОБЛАСТИ - НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Н.Н. Степанян
Крымская астрофизическая обсерватория АН СССР,
334413, Крым, Научный, СССР

АБСТРАКТ. Обсуждаются новые результаты, касающиеся эволюции активных областей.

Рассмотрены следующие аспекты проблемы. Начальная стадия эволюции активных областей. Связь активных областей с окружающей атмосферой. Взаимодействие активных областей. Исчезновение магнитного поля активной области. Моделирование активной области.

ACTIVE REGIONS - NEW RESULTS: The development of solar active regions (new results) is discussed. The following points are considered: The onset stages of the new active regions. The active region and its environmental atmosphere. The mutual connections of active regions. The disappearance of the magnetic field of the active region. The active region modelling.

AKTÍVNE OBLASTI - NOVÉ VÝSLEDKY: Prediskutované sú nové výsledky, týkajúce sa vývoja aktívnych oblastí. Posúdené sú nasledovné aspekty problému: Počiatkové štádium vývoja aktívnych oblastí. Vzťah aktívnych oblastí s okolitou atmosférou. Vzájomné pôsobenie aktívnych oblastí. Vymiznutie magnetického poľa aktívnej oblasti. Modelovanie aktívnej oblasti.

ВВЕДЕНИЕ

Мой доклад не претендует на всеобъемлющий обзор современного состояния проблемы. Я хочу остановиться на нескольких вопросах, касающихся эволюции активных областей. В основном я буду говорить о результатах, полученных участниками КАПГ. Но я не буду касаться радионаблюдений. О них речь пойдет в докладе Гельфрейха.

План моего доклада следующий.

1. Начальная стадия развития активной области.
2. Связь активных областей с окружающей атмосферой.
3. Взаимодействие активных областей.
4. Исчезновение магнитного поля активной области.
5. Моделирование активной области.
6. Заключение.

1. НАЧАЛЬНАЯ СТАДИЯ ЭВОЛЮЦИИ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ

Благодаря работам В. Бумбы и его сотрудников (1-5) мы теперь лучше представляем себе начальную стадию развития активной области (а.о.) на уровне фотосферы. На рис. 1 представлено схематически развитие новой слабой активной области. На рис. 2 дана эта же схема для сильной а.о. Характерным является форма холмов поля в виде двух вложенных стрелок.

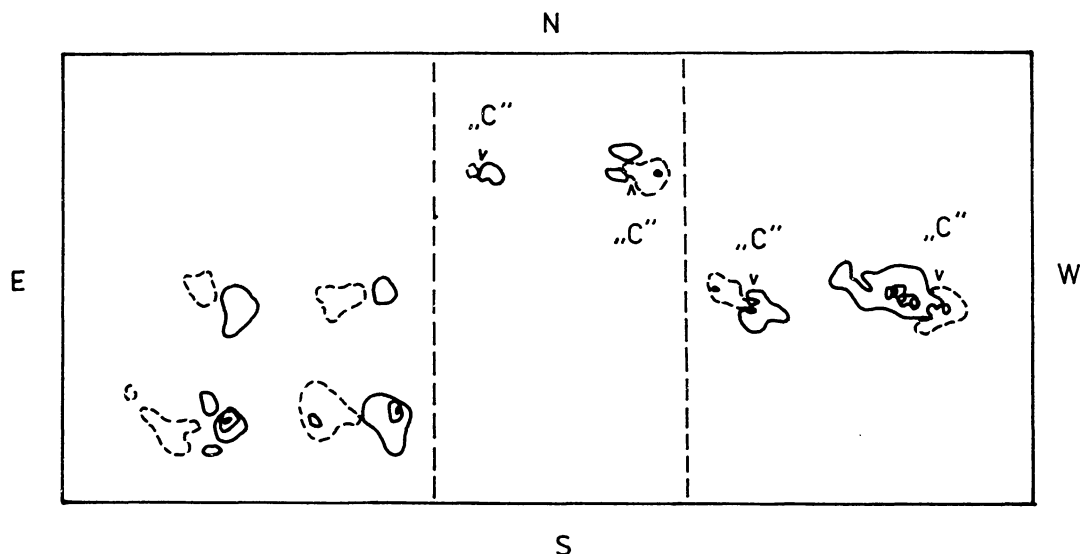


Рис. 1: Схема развития магнитного поля слабой активной области.

Бумба вводит понятие "центра магнитной активности". Это точка вблизи геометрического центра а.о., около которой создается подсистема силовых линий, перпендикулярная основной системе силовых линий а.о. Причем силовые линии центра магнитной активности лежат ниже основной системы. Роль магнитного центра, по-видимому, очень велика. От него распространяется само поле или точки выхода поля. Это видно на примере группы 13736 на рис. 3. Центр развивается в течение 2-3 дней до достижения группой цюрихского класса С или больше. Когда центр перестает функционировать, активная область постепенно распадается. В течение жизни а.о. магнитные центры могут возникать в другом месте после исчезновения

старого центра. При этом растет и новое магнитное поле. Действующий магнитный центр а.о. является и местом большинства вспышек в группе.

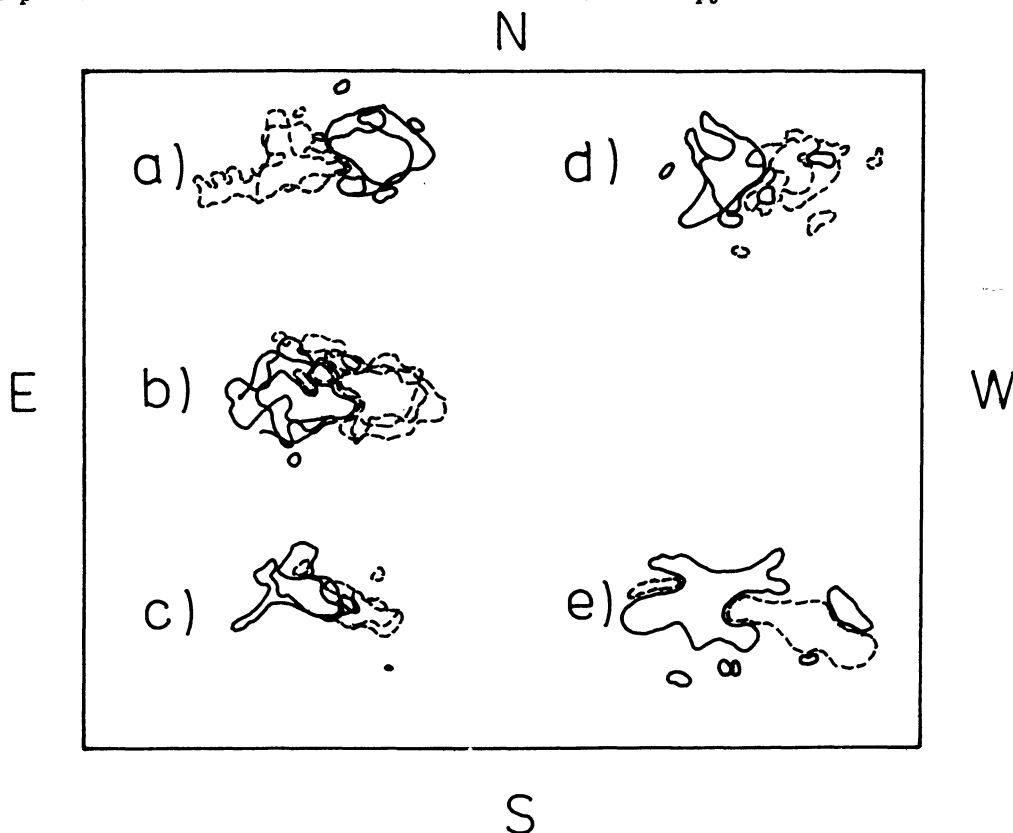


Рис. 2: Схема развития магнитного поля сильной активной области.

2. СВЯЗЬ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ С ОКРУЖАЮЩЕЙ АТМОСФЕРОЙ.

Активная область возникает в атмосфере, в которой существуют конвективные движения трех ярусов, фоновые поля, магнитные поля других а.о. и их остатков. Кроме того, в атмосфере есть потоки и движения вещества, дифференциальное вращение.

Все эти силы взаимодействуют с выходящим магнитным потоком новой а.о., оказывают на него какое-то влияние. В то же время новый магнитный поток влияет на окружающую атмосферу. Мы еще далеки от понимания этих связей, их природы. Но некоторое морфологическое изучение их уже проведено.

Давно известно [6], что новый магнитный поток выходит в межгранулярных и междиспергранулярных промежутках. Дальнейшее развитие а.о. также тесно связано с супергранулярной структурой. В работах [7-9], одна из которых будет здесь доложена, показано, что в а.о. супергранулярная структура определяет расположение AFS, вспышек, характер лучевых скоростей.

Другим проявлением влияния конвекции на а.о. может служить квантованность в размерах пор и пятен [4] и во времени жизни активных областей [10, 11].

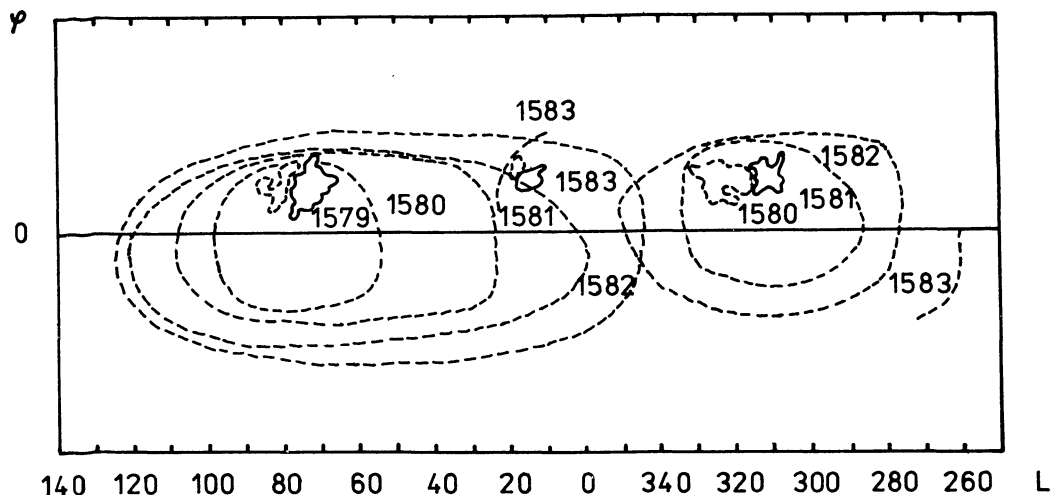


Рис. 4: Схема эволюции крупномасштабных фоновых полей.

возникновения активных областей не зависит от крупномасштабных структур. Но тот уровень развития, которого данная область достигнет, зависит от места ее возникновения.

Поскольку гигантские гранулы, описанные в [6], повидимому совпадают со структурами крупномасштабного поля, межпланетное поле хорошо коррелирует с общим полем Солнца как звезда [17], а следовательно и с фоновым полем [18], то вывод о связи активности с секторными границами межпланетного поля и с гигантскими гранулами можно отнести к границам крупномасштабных фоновых полей.

Но реальное изучение эволюции активных областей в связи с эволюцией границ фоновых полей проводилось лишь для нескольких активных областей.

Так, Бумба [19] изучил этот вопрос для мощных областей 1972 и 1974 гг. и дал следующую схему образования сильной активной области.

Существуют два "магнитных тела" - области фонового поля. Их западные границы движутся со скоростью, соответствующей периоду обращения 27 дней, а восточные границы - с периодом 28 дней. Максимум развития фонового поля наступает, когда 27-дневная граница одного магнитного поля встречается с 28-дневной границей второго. На месте их встречи усиливается активность (Рис. 4).

В случае 1972 г. на месте столкновения возникла активная область, а через 7 оборотов - область с протонными вспышками.

В 1974 г. картина была аналогичной [20-22]. Голуб [23] количественно исследовал изменение фонового поля вблизи протонных активных областей 1972 и 1974 г. Рассчитывая магнитные потоки в отдельных участках вокруг активной области, он находил изменение этих потоков со временем, от оборота к обороту. Голуб приходит к выводу о транспортировке M -поля к активной области в оборотах, предшествующих протонным вспышкам. Общность такого заключения представляется сомнительной.

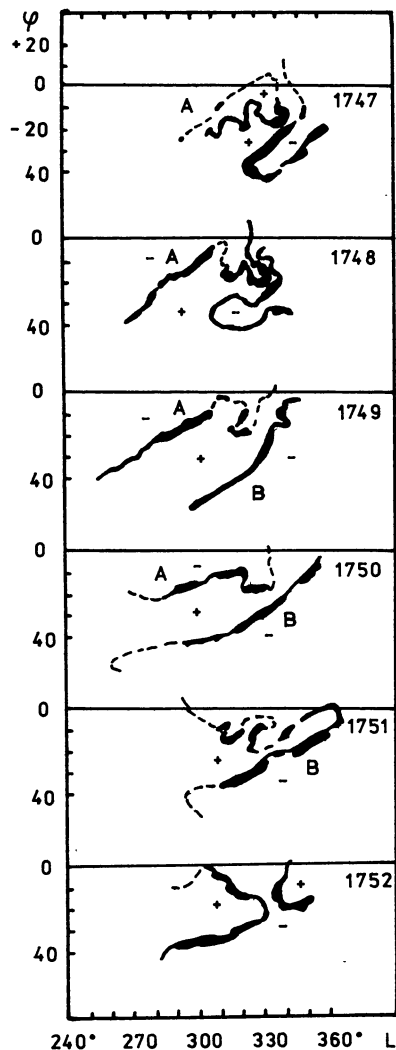


Рис. 5: Поведение границы фонового поля в течение нескольких оборотов.

В то же время в [7] рассмотрен случай, когда граница фонового поля в течение длительного времени практически оставалась неизменной, хотя возле нее за это время несколько раз возникали активные области (Рис. 5).

Из сказанного выше явно следует, что проблема влияния фоновых полей на активные области далеко не решена.

Обратная задача - влияние активных областей на окружающую атмосферу представляется более ясной. Магнитное поле новой активной области проникает высоко в корону, где наблюдается S-компонента радиоизлучения. H-альфа-снимки показывают, что обширная область хромосферы реагирует на образование активной области. В [24] было показано, что регуляризация хромосферных структур, повышенные лучевые скорости достигают максимума при наибольшем росте магнитного поля активной области. Эти процессы длятся одни сутки, а затем, когда поле перестает

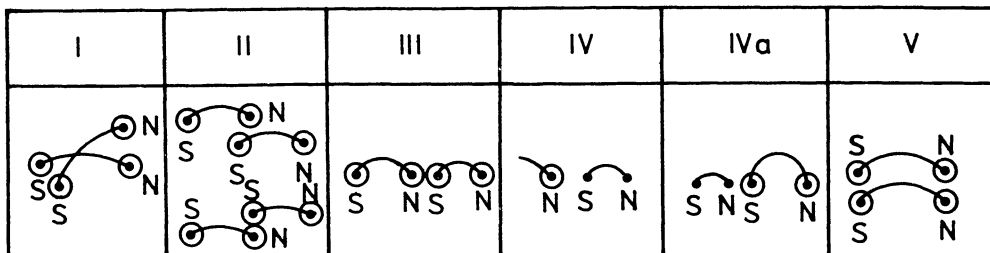


Рис. 6: Классификация старых и новых магнитных потоков в а.о.

расти, регулярные структуры в атмосфере рассеиваются, лучевые скорости падают. Аналогичная картина наблюдалась и в активной области в июне 1984 г. [7]. Кроме того, характерным для нее была связь активной области с соседним волокном системы волоконце-хромосферным потоком. Надо отметить, что влияние активной области на структуру окружающей атмосферы носит временный характер. Даже такие мощные явления как протонные вспышки часто не вносят изменений в структуру окружающего пространства, а иногда и в саму активную область. Так, в активном комплексе, наблюдавшемся по кооперативной программе КАПГ в 1977г., несколько протонных вспышек не изменили существенно структуру активного комплекса, состоящего из двух активных областей, связанных единой системой магнитного поля [25].

3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ.

В последнее время наметился некоторый прогресс в исследовании сложных активных областей благодаря тому, что наряду с более рафинированным исследованием магнитной конфигурации группы, большое внимание обращено и на гидродинамические силы в эволюции активных областей. О роли гидродинамических сил в солнечной активности подробно говорилось в докладе Вумбы на XI консультации [26]. Реальные возможности исследования этих сил открываются при определении собственных движений пятен. Методики этих измерений развиты и успешно применяются в Гелиофизической обсерватории в Дебрецене (ВНР) и в Астрономическом Институте АН Уз ССР в Ташкенте. На XI Консультации были представлены работы, выполненные в Дебрецене [27-29] и в Ташкенте [30].

В работе Гестей и Кондаш [28] показано, что большая группа пятен состояла из двух последовательно развивающихся групп, сталкивающихся друг с другом.

В работе Саттарова и Коробовой [30] указывается на независимое развитие фрагментов активной области - кинематических элементов, объединенных общим движением. Между этими кинематическими элементами и возникали в активной области вспышки.

Надо отметить еще один вид движений, играющий, повидимому, большую роль

в эволюции активных областей. Это движения типа шир. О связи сдвиговых движений с магнитным полем, а возможно и о генерации магнитного поля при них свидетельствует работа Говарда и Лабонта о зональном вращении Солнца [31], а также работа Мак Интоша о линии сдвига волокон, вдоль которой развивались активные области [32].

О конкретных случаях шира и его последствий в активных областях говорится в работе Калмана [33]. Да и многие старые результаты показывают большую роль шира в эволюции активной области.

В работе Головки и др. [34] предложена схема усиления магнитного поля вихревыми движениями - следствием неустойчивости в сдвиговом течении вещества и проведены соответствующие расчеты.

Взаимодействию магнитных структур в активной области посвящен цикл работ Ихсанова и его сотрудников [34-35]. В этих работах на основе изучения собственных движений пятен, магнитного поля и вспышечной активности мощных активных областей дается классификация магнитных конфигураций старого и нового выходящего поля в активных областях. Эти классы представлены на рис. 6. Исследование вспышечной активности в связи с этими классами показало, что мощные вспышки связаны с классами 1, 2а, слабые - с 3-5 классами. Причем появление нового комплекса магнитных полей влечет за собой вспышки в тот же или на следующий день.

Несколько иная проблема - развитие комплексов активных областей и взаимодействие отдельных активных областей в комплексе.

Цикл работ, посвященных этому вопросу, проведен Могилевским и его сотрудниками [36-39].

Особенно подробно был изучен комплекс активных областей июня 1982 г. Было показано, что многие наблюдательные факты свидетельствуют о тесном МГД взаимодействии активных областей в комплексе.

К аналогичному выводу приходит Головка [40]. Им найдено, что мощные протонные вспышки в комплексе мая 1981 вызваны столкновением двух ветвей комплекса, движущихся с различными скоростями и имеющими различную магнитную структуру.

4. ИСЧЕЗНОВЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ.

Вопрос о том, как исчезает магнитное поле активной области при ее распаде еще несколько лет назад не вызывал никаких сомнений. Считалось, что поля старых активных областей рассеиваются по поверхности фотосферы, поля хвостовой полярности мигрируют к полюсам, где сконцентрировавшись, дают начало новому циклу в знаке общего поля Солнца, а поля головных частей группы, двигаясь к экватору, аннигилируют, встретившись с аналогичными полями, но противоположного знака из другого полушария. Эта схема Вебкова [41] впервые была подвергнута сомнению в работах Северного [42, 43], а затем и других работах. Исследование корреляционных связей фоновых магнитных полей и магнитных полей активных областей [18, 44, 45] показало, что активные области не дают существенного вклада в общее магнитное поле Солнца и нет связи между широтной миграцией фоновых полей и уровнем солнечной активности.

Конкретное изучение структуры магнитного поля активных областей на стадиях их возникновения и исчезновения проведено в последние годы в ряде работ Ермаковой [46 - 47]. Ею изучалось поведение старого поля, расположенного в месте появления нового поля, а также структура и динамика магнитного поля на всех стадиях развития а.о. Наблюдения проводились на магнитографе продольного вектора магнитного поля Саянской обсерватории. В результате ею было найдено, что появление нового магнитного потока в фотосфере сопровождается исчезновением, по крайней мере части, потока старого магнитного поля, расположенного в месте появления нового.

На стадии быстрого разрушения пятен скорость уменьшения магнитного потока сравнима со скоростью увеличения его на стадии роста. При этом внепятенное магнитное поле также уменьшается. Это свидетельствует о том, что разрушение пятен не связано с переходом магнитного потока в прилегающие районы. В пользу этого говорит также отсутствие существенных изменений площади активной области на стадии быстрого разрушения пятен. Т.е. при этом происходит действительное исчезновение магнитного потока из фотосферы. Ермакова приходит к выводу, что рождение активной области - это подъем трубок магнитного поля в фотосферу, а распад активной области - спускание трубок магнитного поля под фотосферу.

5. МОДЕЛИРОВАНИЕ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ

Большое развитие получили работы по моделированию магнитного поля активной области. Как правило, в таких работах используются карты полного вектора магнитного поля на фотосфере и при некоторых теоретических предположениях о характере магнитного поля достраивается поле в короне [48]. Для бессипового поля методы расчета поля развиты, в частности, в работах Зеехафера [49-51] и Зеехафера и Штауде [52].

Те же авторы проводили расчет потенциального поля [53].

До последнего времени рассматривалась статическая картина без учета или прогноза динамики поля.

В работах Гопасюка, Калмана и Романова [54] и Гопасюка, Калмана [55] расчет потенциального поля выполнен по наблюдаемой продольной компоненте магнитного поля в активной области. Азимуты поперечной составляющей вычисленного поля сравнивались с этими же величинами, полученными из наблюдений.

Для активной области, наблюдавшейся в течение шести дней, было обнаружено, что в большинстве мест вычисленные и наблюдаемые азимуты совпадают, т.е. магнитное поле потенциально. Но во многих точках наблюдаемое магнитное поле сильно отличается от потенциального. В этих местах наблюдаются сильные вертикальные токи до 2000 A/км^2 .

Выявление отличий магнитного поля от потенциального позволяет проследить за эволюцией крупномасштабной токовой структуры в активной области. Причем изменения структуры пятен в группе сопровождаются возникновением токов, протекающих в местах наиболее сильного изменения магнитного поля. Центры вспышечной активности хорошо коррелируют с местами сильного отклонения измеренного магнитного поля от потенциального. За время развития активной области структура

крупномасштабных токов существенно изменилась вслед за изменением структуры пятен.

Дальнейшее развитие методы моделирования магнитного поля активной области и его эволюции получили в работах Долгополова [56]. Для описания физической модели активной области им использована система уравнений магнитной гидродинамики для турбулентной среды по Вайнштейну [57]. Эта система предварительно сводится к конечно-разностной форме и решается численно на основе полученных из наблюдений полного вектора магнитного поля и лучевых скоростей. Пока что этим методом исследован лишь процесс релаксации начального магнитного поля (исследована изолированная активная область на нисходящей фазе развития).

По наблюдениям активной области в момент T строилась модель и прогноз ее состояния в момент $T + \Delta T$. Спрогнозированные значения поля и скоростей сравнивались с наблюдениями в момент $T + \Delta T$. Корреляционная связь наблюдаемого поля и спрогнозированного для $\Delta T = 6^h$ и 24^h составила 80 и 60 % соответственно.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Перечислю кратко направления исследования и проблемы, актуальные для познания природы активных областей и, в частности, закономерностей их эволюции.

Во-первых, каким способом образуется магнитное поле активных областей. Выход ли это трубки магнитного поля из-за магнитной плавучести из-под фотосферных слоев, как об этом сказал Каулинг еще в 1946 г. [58] и блестяще подтвердили многие авторы. Или конвекция - основная причина выноса поля из-под фотосферы (Лейтон [59]).

Хороший обзор на эту тему дан в работе Ермаковой [47].

Несмотря на большое количество теоретических и наблюдательных работ вопрос этот не только остается открытым, но и становится более сложным. Так как помимо магнитного поля и конвекции надо принимать во внимание гидродинамические силы, которые могут приводить к усилению или даже созданию нового магнитного поля в атмосфере Солнца.

Следующая проблема - связь активных областей с границами крупномасштабных структур фоновых полей.

Перед наблюдателями стоит вполне выполнимая задача - выяснить, чем различаются области, возникающие вблизи границ фоновых полей от областей вдали от них. Теоретически, по-видимому, задача выхода биполярной области на фоне поля одного знака или вблизи границы полей противоположного знака также не представляет больших сложностей, например, для метода расчета эволюции поля Долгополова [56].

Конечно решение этих двух задач не исчерпает проблемы, но откроет путь дальнейшему исследованию.

В проблеме взаимодействия активных областей наиболее ярко выступает наличие сил разной природы, определяющих эволюцию активной области. К одним и тем же событиям, например, вспышкам, приводят как выход новых полей, так и движения отдельных участков группы в разные стороны или вращение пятна и сдвиговые движения типа шира.

Взаимодействие активных областей в комплексе также свидетельствует о большой роли магнитогидродинамических сил. Теоретически эти стороны эволюции разработаны еще очень слабо.

В связи с объединением активных областей в комплексы остановимся еще на одном подходе к изучению физики активных областей.

Активные области - это энергетически открытые, диссипативные и нелинейные системы.

Такие системы с точки зрения синергетики должны образовывать иерархию дискретных структурных элементов. Возможно, что образование комплексов и есть проявление этого процесса. Встает вопрос о направлении эволюционной трансформации энергии. Переходит ли энергия от комплекса в целом к отдельным активным областям (с ростом энтропии) или от активных областей к комплексам с уменьшением энергии. Задача эта не решена. Синергетический подход к изучению природы активных областей развивается Могилевским [60].

Последняя из рассмотренных проблем - моделирование. Мне как наблюдателю представляется, что существенной, если не основной причиной недостаточного развития этого направления является малое количество и недостаточное качество получаемых из наблюдений карт полного вектора и лучевых скоростей активных областей.

Как ни странно, но отсутствие хороших наблюдений уже заметно тормозит развитие физики активных областей и Солнца в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bumba V., Tomashek P.: 1980, *Phys. Sol.-Terr.*, 13, 35.
2. Bumba V.: 1981, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.*, 32, 129.
3. Bumba V.: 1983, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.* 34, 219.
4. Bumba V., Suda J.: 1983, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.* 34, 349; 1984, 35, 28, 224.
5. Bumba V.: 1983, *Astron. Nachr.*, 304, 7.
6. Bumba V., Howard R.: 1965, *Astrophys. J.*, 141, 1502.
7. Боровик А.В., Григорьев В.М. и др.: 1986, *Contr. Astr. Obs. Skalnaté Pleso*, 16.
8. Григорьев В.М., Селиванов В.П.: 1986, *Астр. Циркуляр*, 1415, 1.
9. Боровик А.В.: 1986, *Астр. Циркуляр*, 1416, 2.
10. Берлянд В.О., Буров В.А., Степанян Н.Н.: 1979, *Изв. Крымской астрофиз. obs.*, 49, 36.
11. Степанян Н.Н., Якимец М.: 1978, *Publ. IX Consul. Sol. phys. Wroclaw*.
12. Bumba V., Obridko V.N.: 1969, *Solar. Phys.* 6, 104.
13. Vitinsky Yu.I.: 1969, *Solar. Phys.*, 7, 210.
14. Левицкий Л.С.: 1974, *Изв. Крымской астрофиз. obs.*, 49, 36.
15. Bumba V., Howard R., Martres M.J., Soru-Iscovici J.: 1968, In: *Structure and development of solar active regions (IAU Symp. 35)*. Dordrecht (Holland): D. Reidel P. Co, 13.

16. Браиловская И.Ю., Коваль А.Н., Огирь М.Б., Степанян Н.Н.: 1972, Солн. данные, 6, 88.
17. Severny A.B., Wilcox J.M., Scherrer P.H., Colburn D.S.: 1970, Sol. Phys., 15, 3.
18. Котов В.А., Степанян Н.Н., Щербакова З.А.: 1977, Изв. Крымской астрофиз. обс., 56, 75.
19. Bumba V.: 1980, Bull. Astron. Inst. Czechosl., 31, 351.
20. Bumba V., Hejna L.: 1981, Bull. Astron. Inst. Czechosl., 32, 349.
21. Bumba V., Hejna L., Le Bach Ien.: 1982, Bull. Astron. Inst. Czechosl., 33, 160.
22. Bumba V.: 1982, Bull. Astron. Inst. Czechosl., 33, 281.
23. Голуб П.А.: 1984, Солн. данные, 4, 88; 8, 69.
24. Барановский Э.А., Иоща Б.А., Ишков В.Н., Карташова Л.Г., Степанян Н.Н.: 1976, В кн.: Возникновение и эволюция активных областей на Солнце. М.: Наука, 31.
25. Коробова З.Б. и др.: 1978, Publ. IX Cons. Solar Phys. Wroclaw.
26. Bumba V.: 1983, Publ. Debrecen Heliophys. Obs., 5, 47.
27. Nagy I.: 1983, Publ. Debrecen Heliophys. Obs., 5, 107.
28. Gesztelyi L., Kondas L.: 1983, Publ. Debrecen Heliophys. Obs. 5, 113.
29. Kálmán B., Nagy I.: 1983, Publ. Debrecen Heliophys. Obs. 5, 207.
30. Саттаров И., Коробова З.Б.: 1983, Publ. Debrecen Heliophys. Obs. 5, 341.
31. Howard R., La Donte B.: 1981, Sol. Phys., 74, 131.
32. McIntosh P., Wilson P.: 1985, Sol. Phys., 97, 59.
33. Kálmán B.: 1984, Heliophys. Debrecen obs., 3.
34. Ихсанов Р.Н.: 1982, Изв. ГАОб, 200, 15; 1985, 201, 84.
35. Ихсанов Р.Н., Щеголева Г.П.: 1980, Изв. ГАО, 198, 39; 1982, 200, 22; 1985, 201, 96.
36. Иоща Б.А., Ишков В.Н., Могилевский Э.И. и др.: 1981, В кн.: Год солнечного максимума, т. 2-М., 134.
37. Ишков В.Н., Могилевский Э.И.: 1983, В кн.: Солнечная активность (материалы совещания) - Алма-Ата: Наука, 3.
38. Иоща Б.А., Могилевский Э.И., Старкова Л.И., Утробин В.Г., Сикора Д.: 1982, Исслед. геомагн. аэроном., физ. Солнца, 62, 229.
39. Ишков В.Н., Коробова З.Б., Могилевский Э.И.: 1983, Publ. Debrecen Heliophys. obs., 5, 355.
40. Головки А.А.: 1983, Исслед. геомаг. аэроном., физ. Солнца, 65, 121.
41. Babcock H.W.: 1961, Astrophys. J., 133, 572.
42. Severny A.B.: 1969, Nature, 224, 53.
43. Severny A.B.: 1971, Quart. J. Roy. Astr. Soc., 12, 363.
44. Степанян Н.Н.: 1983, Publ. Debrecen Heliophys. obs., 5, 225.
45. Степанян Н.Н.: 1985, Изв. Крым. астрофиз. обс., 71, 62.
46. Ермакова Л.В.: 1960, Исслед. геомагн., аэроном., физ. Солнца, 52, 16; 1982, 62, 257; 1984, 68, 99.
47. Ермакова Л.В.: 1985, Исслед. геомагн., аэроном., физ. Солнца, 72, 93.
48. Обридко В.Нр.: 1985, Солнечные пятна и комплексы активности. М: Наука, 123.

49. Seehafer N.: 1975, *Astron. Nachr.*, 296, 177.
50. Seehafer N.: 1978, *Sol. Phys.*, 58, 215; 1982, 81, 95.
51. Seehafer N.: 1980, *Phys. Solariterr.*, 13, 69.
52. Seehafer N., Staude J.: 1979, *Astron. Nachr.*, 300, 151.
53. Seehafer N., Staude J.: *Akademie der Wissenschaften DDR, HHI-STP, Report.*
54. Gopasyuk S.I., Kálmán B., Romanov V.A.: 1983, *Publ. Debrecen Heliophys. obs.*, 5, 249.
55. Гопасюк С.М., Кáлмáн В.: 1982, В кн.: *Проблемы физики солнечных вспышек.* М.: Наука, 78.
56. Долгополов В.И.: 1985, *Солн. данные*, 3, 51; 4, 58.
57. Вайнштейн С.И.: 1983, *Магнитные поля в космосе.* М.: Наука.
58. Cowling J.G.: 1946, *Mon. Not. Roy Astron. Soc.*, 106, 218.
59. Leighton R.B.: 1964, *Astrophys. J.*, 140, 1547.
60. Могилевский Э.И.: 1983, *Publ. Debrecen Heliophys. Obs.*, 5, 487.