



**ИНСТИТУТ ЗЕМНОГО МАГНЕТИЗМА, ИОНОСФЕРЫ
И РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН им. Н.В. Пушкова
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

142190, г. Москва, г.Троицк
Калужское ш., 4, ИЗМИРАН
ОКПО 02699636

Тел. канц.: (495) 851-02-80

Факс: (495) 851-01-24

ОГРН 1035009350375

izmiran@izmiran.ru

http://www.izmiran.ru

ИНН/КПП 5046005410/775101001

№ _____

На № 15304-032/6215 от
14.05.2014

в Диссертационный совет Д.003.034.01
при ФГБУН ИСЗФ СО РАН

Утверждаю

В.Д. Кузнецов Директора ИЗМИРАН

Д.ф.-м.н

В.Д. Кузнецов



«август» 2014 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН на диссертацию ОЛЕМСКОГО СЕРГЕЯ ВЛАДИМИРОВИЧА
**СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МОДЕЛИРОВАНИЕ
ГЛОБАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
МАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ СОЛНЦА,**

представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.03.03 – физика Солнца

Представленная диссертация представляет собой новое оригинальное исследование глобальных характеристик магнитной активности Солнца по наблюдениям и их моделирование с помощью методов теории динамо. Работа направлена на исследование глобальных характеристик магнитной активности Солнца в масштабах 11-летнего цикла и на более длительных масштабах времени. Изучение этих вопросов не только дополняет теоретические представления о природе магнитной активности Солнца, но и способствует построению более достоверной модели солнечного динамо.

Магнитная активность Солнца определяет физические условия в гелиосфере и влияет на околоземное космическое пространство. Изучение магнитной активности Солнца имеет продолжительную историю. В предшествующих исследованиях выявлен ряд закономерностей, определяющих ее изменения во времени и пространстве. Имеется, однако, ряд нерешенных проблем, нуждающихся в дальнейшем изучении либо уточнении.

Первая глава диссертации посвящена долготной неоднородности магнитной активности Солнца. Так называемые активные долготы выражены не так ярко, как широтная неоднородность магнитной активности. Поэтому большое значение имеет определение статистической достоверности обнаруживаемых активных долгот. Исследование усложняется также неоднородностью вращения Солнца, которая привносит неопределенность в выбор периода вращения, принятого для определения долготы. Решение этих проблем необходимо для выяснения природы активных долгот. В диссертации предложен и применен метод оценки статистической достоверности активных долгот Солнца в зависимости от периода вращения, принятого для определения долготы. Это позволило подтвердить статистическую значимость явления активных долгот и предложить объяснение этого явления.

В качестве важнейших достижений диссертанта отметим, что в диссертации впервые выполнена оценка статистической достоверности долготной неоднородности пятенной активности Солнца. Проведена количественная оценка активных долгот групп солнечных пятен в зависимости от периода вращения, принимаемого для определения долготы. Дано физическое обоснование двум системам активных долгот, вращающихся с синодическими периодами около 27 и 28 сут. Предложено объяснение активных долгот присутствием неосесимметричного реликтового магнитного поля, вмороженного в однородно вращающуюся лучистую зону Солнца.

В современных моделях динамо солнечной активности важнейшую роль играет глобальное меридиональное течение. Однако измерения этого течения современными гелиосейсмологическими методами и классическим методом трассеров не согласуются между собой. Гелиосейсмология, а также измерения спектральными методами показывают течение от экватора к полюсам во всем диапазоне широт. Использование солнечных пятен как трассеров для определения меридионального течения дает растекание вещества к полюсу и к экватору от широты с наибольшей частотой пятнообразования. В диссертации предложено решение этого противоречия. Показано, что неоднородность в распределении трассеров по широте приводит к ложной составляющей в меридиональном течении при его определении традиционным методом. Предложен метод, исключаящий ложную составляющую меридионального течения при его определении по трассерам. Применение этого метода приводит результаты в соответствие с данными гелиосейсмологии. Предложенный метод носит универсальный характер, и применим для трассеров любой природы.

Показано, что стандартные методы определения меридионального течения по движениям трассеров дают погрешность, связанную с неоднородным распределением трассеров по широте, и, как следствие этого, ложное течение, характеризующееся растеканием вещества в стороны уменьшения плотности трассеров. Предложен метод устранения ложного меридионального течения. Циркуляция, найденная с использованием такого метода, характеризуется стеканием вещества к широтам максимальной частоты пятнообразования в согласии с данными гелиосейсмологии. Обсуждаемые эффекты относятся к трассерам произвольной

природы и могут иметь значение для наблюдений меридиональных течений на звездах. Выполнена оценка параметров механизма Бэбкока–Лейтона генерации крупномасштабного магнитного поля по данным о солнечных пятнах. Полученные результаты свидетельствуют о присутствии данного механизма на Солнце. Механизм Бэбкока–Лейтона является разновидностью альфа-эффекта гидромагнитного динамо. Определена относительная величина флуктуаций альфа-эффекта Бэбкока–Лейтона. Показано, что амплитуда флуктуаций в несколько раз превышает среднее значение, а их характерное время имеет величину порядка периода вращения Солнца. Флуктуации с найденными параметрами использованы в численной модели солнечного динамо.

В моделях солнечного динамо первостепенную роль играет так называемый альфа-эффект преобразования глобального тороидального поля в полоидальное. Причем имеют значение не только среднестатистические характеристики альфа-эффекта, но и их нерегулярные изменения (флуктуации). Флуктуации важны для теории нерегулярных изменений солнечной активности, в частности для объяснения глобальных минимумов активности, подобных известному минимуму Маундера. Однако до недавнего времени не было основанных на наблюдениях свидетельств присутствия альфа-эффекта на Солнце. В диссертационной работе получены такие свидетельства по данным каталогов солнечных пятен. Показано, что особая разновидность альфа-эффекта, известная как механизм Бэбкока–Лейтона, действует на Солнце. Проведены оценки относительной величины флуктуаций альфа-эффекта.

Построение адекватных моделей динамо важно для понимания природы солнечной активности. Значительная часть диссертации посвящена количественным моделям солнечного динамо. Модели отличаются использованием нелокального альфа-эффекта (механизма Бэбкока–Лейтона) и учетом диамагнитного эффекта неоднородной турбулентной конвекции. Они воспроизводят основные наблюдаемые глобальные характеристики солнечных циклов. Результатам численного моделирования даны наглядные физические объяснения.

Развита новая модель солнечного динамо с нелокальным альфа-эффектом и диамагнитным переносом поля. Нелокальность в пространстве характерна для альфа-эффекта Бэбкока–Лейтона: генерация полоидального поля вблизи солнечной поверхности связана с тороидальным полем вблизи основания конвективной зоны. Нелокальная формулировка альфа-эффекта позволяет существенно улучшить согласие моделей солнечного динамо с наблюдениями. Установлено, что нелокальный альфа-эффект не подвержен так называемому катастрофическому подавлению, связанному с сохранением магнитной спиральности. Проблема катастрофического подавления является одной из основных трудностей современной теории солнечного динамо. Показано, что диамагнитный эффект солнечной конвекции приводит к концентрации магнитного поля у основания конвективной зоны.

В рамках модели динамо глобальных минимумов изучена связь конфигурации крупномасштабных магнитных полей с амплитудой магнитных циклов. Расчеты показывают отрицательную корреляцию отклонений магнитного поля от экваториальной симметрии дипольного типа с амплитудой магнитных циклов. Иными словами, теория предсказывает высокую северо-южную асимметрию магнитной активности в эпохи глобальных минимумов и непосредственно перед ними.

Развита модель динамо с учетом зависимости турбулентной диффузии от напряженности магнитного поля. Модель динамо с нелокальным альфа-эффектом и диамагнитным переносом поля дополнена учетом флуктуаций альфа-эффекта. Расчеты в рамках такой модели обнаружили явление гистерезиса: в определенном интервале значений динамо-числа имеются два решения – затухающие колебания слабых полей и магнитные циклы с постоянной и относительно большой амплитудой, зависящие от начальных условий. Флуктуации альфа-эффекта могут приводить к переходам между этими двумя решениями. Данный эффект может иметь значение для объяснения особенностей глобальных минимумов солнечной активности.

Использованы параметры флуктуаций, определенные по данным о солнечных пятнах. Расчеты показывают повторяющиеся эпохи магнитных циклов малой амплитуды, соответствующие глобальным минимумам солнечной активности. Статистические свойства полученных в расчетах глобальных минимумов согласуются с данными о солнечной активности в период голоцена. Учет флуктуаций альфа-эффекта в рамках такой модели показывает, что относительно слабые (около 10 % от их средней величины) флуктуации приводят к переходам между этими режимами, и расчеты показывают перемежаемость магнитных циклов относительно большой амплитуды с эпохами слабых магнитных полей. При учете флуктуаций альфа-эффекта с параметрами, определенными по данным о солнечных пятнах, модели показывают глобальные минимумы и максимумы магнитной активности. Такие расчеты важны для изучения природы глобальных изменений солнечной активности, что и определяет их актуальность.

Разработанные модели солнечного динамо способствуют решению фундаментальных задач теории солнечной активности и могут быть использованы для интерпретации данных наблюдений.

Практическая ценность работы состоит в том, что удалось обобщить и уточнить ряд фундаментальных глобальных характеристик магнитной активности Солнца. Выявленные по данным наблюдений закономерности были использованы для совершенствования моделей динамо солнечной активности, что улучшило соответствие теоретических моделей наблюдениям. Разработанные модели динамо могут быть применены к подобным Солнцу звездам. Полученные результаты позволяют глубже понять физические свойства как 11-летнего цикла, так и глобальных минимумов и максимумов солнечной активности.

Обнаруженная в модельных расчетах связь северо-южной асимметрии магнитной активности с эпохами глобальных минимумов может иметь прогностическое значение: повышенная северо-южная асимметрия может служить индикатором вступления Солнца в эпоху пониженной магнитной активности. Сравнение теоретических результатов с наблюдениями свидетельствует о реалистичности развитых моделей и указывает на возможность их использования для интерпретации данных наблюдений.

Диссертация состоит из 7 разделов: введения, 4 основных глав, заключения и списка литературы. Диссертация включает 200 страниц текста, 58 рисунков и 5 таблиц. Список литературы включает 250 наименований. По теме диссертации опубликовано 46 работ, из них 16 статей в российских журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, утвержденных ВАК для публикации основных научных результатов диссертаций, и в международных изданиях, включенных в систему цитирования Web of Science.

Помимо бесспорных достижений диссертанта необходимо отметить и ряд недостатков

1) В диссертации утверждается, что вопрос катастрофического подавления альфа-эффекта из-за сохранения магнитной спиральности остается открытым.

К сожалению, мы не можем согласиться с данным утверждением. В недавней работе Хоббарда и Бранденбурга (2011) был указан путь к преодолению этой теоретической проблемы с помощью учета полной магнитной спиральности в солнечном динамо. В дальнейшем эта идея была развита в работах Пипина (2012) и Пипина и др. (2012-2013). В данной серии работ показано, как может быть снята проблема катастрофического подавления спиральности и построены конкретные модели солнечного динамо, в том числе и с учетом наблюдаемого пространственно-временного распределения токовой спиральности в активных областях. К сожалению, автор не упоминает о данных работах.

2) Утверждается, что нелокальный эффект Бэбкока-Лейтона в отличие от других разновидностей альфа-эффекта не подвержен так называемому катастрофическому подавлению из-за сохранения магнитной спиральности. Недавно благодаря усилиям ученых ИЗМИРАН Кузаныяна К.М. и Соколова Д.Д., а также сотрудничеству с наблюдателями из Китая и Японии и теоретиками из Иркутска – В. В. Пипиным, Великобритании – Д. Моссом и Израиля – Н. Клиориным и И. Рогачевским построен ряд самосогласованных моделей динамо, которые опираются не только на прямые наблюдательные проявления пятенной активности на Солнце, но и проявления более тонких характеристик магнитного поля, таких как магнитная спиральность. К сожалению, в диссертации никак не отражено представление об этих самосогласованных моделях.

3) Упоминается, что наблюдения показывают, что токовая спиральность активных областей не увеличивается неуклонно с широтой, а имеет максимум на средних широтах. К сожалению, данное утверждение основывается на ограниченном объеме информации, полученном в результате анализа конечной выборки данных. На самом деле спиральность активных областей на Солнце вполне может возрасть с

широтой, но доступные данные ограничены поясом проявления пятен на Солнце. Исследование спиральности по всем трассерам на всех широтах приоткрывает дополнительную информацию.

4) В качестве особого результата представляется, что особая разновидность альфа-эффекта, известная как механизм Бэбкока–Лейтона, действует на Солнце. С этим трудно не согласиться. Однако основной вклад в традиционный альфа-эффект определяется наличием средней кинетической спиральности конвективных турбулентных течений. Он был обоснован еще в конце 1960-х гг. и давно изучается. В частности в работах П. Шарбонно показано его сходство с эффектом Бэбкока–Лейтона.

5) Автор может считать своим достижением использование параметров альфа-эффекта, определенных по данным наблюдений. Однако не следует забывать, что это всего лишь параметры эффекта Бэбкока–Лейтона, а не полноправного классического альфа-эффекта.

Диссертация написана хорошим языком и в целом производит хорошее впечатление, результаты ее могут быть использованы во многих учреждениях, занимающихся исследованиями Солнца, в том числе ИЗМИРАН, ГАО РАН, ФИАН, ГАИШ. Несмотря на отмеченные недостатки, диссертация представляет собой законченное исследование, соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а диссертант заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.03 – физика Солнца.

Отзыв обсужден и одобрен 21.08.2014 г. на заседании семинара №9 по солнечно-земной физике ИЗМИРАН.

Отзыв составлен
Зав. гелиофизической лабораторией
доктор физ.-мат.
наук, профессор

В.Н. Обридко

В.н.с. сектора солнечной цикличности
доктор физ.-мат. наук

К.М. Кузанын

Подписи В.Н. Обридко и К.М. Кузанына удостоверяю.

Ученый секретарь ИЗМИРАН
кандидат физ.-мат. наук

/А.И. Резник



« 25 » августа 2014 г.