

## ОТЗЫВ

официального оппонента о работе С.В. Олемского «СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ СОЛНЦА», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.03 – Физика Солнца.

В гелиофизике имеется целый ряд вопросов, настоятельно требующих ответа в связи с проблемой солнечной цикличности.

Первый: действительно ли пятна значимо локализованы вдоль некоторых долготных интервалов – «активных долгот»? Имеется большое число работ, в которых обсуждается этот феномен (например, цикл работ Ю.И.Витинского, который и дал ему название), но окончательного мнения нет.

Второй: мы до сих пор не представляем деталей глобального меридионального течения на Солнце. Более точно: измерения, произведенные различными методами, не согласуются между собой.

Третий: известно, что  $\omega$ -эффект теории динамо «засвечивает» себя в наблюдательных проявлениях (корреляция крупномасштабных полей вблизи минимума с пятненным полем вблизи последующего максимума и др.), в то же время  $\alpha$ -эффект до сих пор не замечен в наблюдениях каких-либо процессов, и из наблюдений мы его измерить не можем.

Четвертый: какова природа вековых вариаций солнечной активности?

Пятый: какова природа северо-южной асимметрии пятнообразования и ее связи с вековым циклом?

Шестой: какова природа глобальных минимумов активности?

Все эти вопросы актуальны, и я выделил их среди других, поскольку именно им в значительной степени посвящена диссертация С.В.Олемского. Их решение позволит значительно продвинуться в понимании природы цикличности. В результате выполнения работы диссертантом получен целый ряд новых интересных результатов, и новизна его исследования не вызывает сомнений. Отдельно отмечу широту охвата проблем в диссертации и разнообразие применяемых методов и подходов – это, несомненно, свидетельствует о квалифицированности диссертанта как исследователя.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во введении сформулированы цели и задачи работы, обоснована ее актуальность, указаны научная новизна и теоретическая и практическая значимость. Отдельно выделена степень разработанности темы исследований. Другие формальные компоненты также имеются и соответствуют автореферату.

Первая – самая объемная – глава диссертации посвящена первым трем вопросам, сформулированным в начале настоящего отзыва.

Вначале рассмотрено явление активных долгот. Основная проблема здесь – сам факт достоверности явления. Если же оно существует, то какому периоду вращения соответствует? Автор приходит к выводу, что активные долготы пятен с вероятностью 95% не могут быть случайными. Все статистические выкладки прове-

дены корректно. Далее он получает важный результат: на самом деле, существует две системы активных долгот: первая, с периодом 27 суток, характерна для мощных циклов, и вторая, с периодом 28 суток, характерна для низкоамплитудных циклов эпохи минимума векового цикла. Также интересен результат на стр.56 о том, что в максимуме векового цикла доминируют долготы северного полушария, а в минимуме – южного. Этот результат может иметь отношение к факту практического отсутствия пятен в северном полушарии во время Маундеровского минимума.

Далее в главе предложено оригинальное объяснение расхождения результатов гелиосейсмологии с прямыми измерениями по трассерам (пятнам) конфигурации меридионального течения. Отмечено, что собственные движения пятен при измерениях приводят к размазыванию широтного распределения для более старых пятен, что в конечном счете приводит к появлению при координатных измерениях ложного компонента меридиональной циркуляции. Предложено для исключения этого эффекта смещения пятен относить к начальным координатам. Это приводит к практически противоположному от классических исследований Туоминена-старшего виду зависимости меридиональной скорости от широты и соответственно ее данным гелиосейсмологии.

Здесь стоит сделать два замечания. Первое – уточняющее. На стр.39 диссертации написано, что для Гринвичского каталога «точность измерения гелиографических координат  $0.1^\circ$ ». На самом деле, это – точность приведения координат в каталоге. Реальная точность исследовалась методом параллельных наблюдений в трех разных обсерваториях (Гринвич, Дебрецен, Куба) в статье: Ю.А.Наговицын и др. // Солнечные данные, № 6, 1992. Было получено, что для Гринвичского каталога суммарная точность по двум координатам  $0.32^\circ$ . Т.е. в лучшем случае координатная точность по широте в два раза хуже, чем указывает диссертант, –  $0.23^\circ$ . Причем, это оценка суммарного вклада случайных и систематических ошибок. А последние могут зависеть от положения пятна на диске, и не уничтожаются при дифференциальных измерениях. Но это – именно уточняющее замечание, поскольку доверительные интервалы на рис.1.14-1.15 в диссертации (рис.1 в автореферате) как будто подтверждают достоверность проведенной процедуры исправления за широтную неоднородность. Второе замечание связано со сравнением результатов диссертанта с результатом, полученным нами по полярным и точечным низкоширотным факелам, измеренным с помощью прецизионной координатной методики в течение 8 часов (Ю.А.Наговицын, Е.Ю.Наговицына // Солнечные данные, № 10, 1987). Нами результат Туоминена был подтвержден: низкоширотные факелы движутся к экватору, высокоширотные – к полюсу. Однако, это были все-таки не систематические длительные измерения, и несоответствие с результатами диссертанта можно объяснить случайностью нашей картины.

Далее автор переходит к особому типу альфа-эффекта теории динамо, называемому механизмом Бэбкока-Лейтона и который имеет ряд преимуществ перед пространственно-локальными типами. Диссертант указывает, что из-за этих преимуществ (таких, как отсутствие катастрофического подавления из-за сохранения магнитной спиральности) данный тип альфа-эффекта может быть основным в динамо Солнца. Практическим же преимуществом механизма Бэбкока-Лейтона является то, что если мы его принимаем, мы можем непосредственно из наблюдений вычислить его параметры. Это и делает диссертант. На основе исследования закона Джоя с помощью трех каталогов (Кодайканал, Маунт-Вилсон, Пулковско) он полу-

чает зависимость между суммарным вкладом активных областей и так называемым диполь-октупольным индексом Макарова-Тлатова крупномасштабного поля в минимуме цикла (когда этот индекс максимален). Рисунок 1.20, иллюстрирующий результат, стоит обговорить. Диссертант использует линейную форму зависимости при очевидном условии  $A = 0$  при  $B = 0$ . В этом случае у него только три значения циклов лежат ниже прямой и 8 – выше. Как представляется, лучше бы картину представляла параболическая зависимость, проходящая через нуль и с отрицательным квадратичным членом. В этом случае появляется возможность ограничения величины альфа-эффекта сверху, и это обстоятельство может, наряду с его флуктуациями (которые диссертант привлекает в следующих главах для объяснения вековых изменений активности) быть причиной вековых циклов, ограничивая сверху их амплитуду.

Во второй главе диссертант излагает модель солнечного динамо с нелокальным альфа-эффектом, преимущества которого изложены ранее, и диамагнитным переносом поля. Последнее свойство – диамагнитный эффект неоднородной турбулентности – позволяет диссертанту обосновать концентрацию магнитного поля к дну конвективной зоны – положение, которое принималось многими динамо-модельерами ранее. Подробно разобраны параметры модели: дифференциальное вращение, профили нелокального альфа-эффекта и диффузии, меридиональная циркуляция. Произведено моделирование без учета меридиональной циркуляции и с ее учетом. На рис. 2.14 приведены полученные результаты, которые воспроизводят основные пространственно-временные свойства цикличности. Вывод, сделанный в конце главы: модель солнечного динамо с нелокальным альфа-эффектом и диамагнитным переносом поля соответствует наблюдениям по следующим характеристикам: период цикла, экваториальный дрейф поля, конфигурация магнитного поля, соотношение амплитуд полярного и тороидального полей. Некоторое замечание относительно значений угла наклона биполярных областей к экватору в зависимости от широты на рис.2.13, полученного по данным Кодайканала, Маунт-Вилсон и Пулкова. Следовало бы обсудить сходства и отличия этого рисунка от полученного в статье A.Platov et al // MNRAS, 432, 2013, основанного на данных MDI и HMI. Это важно в связи с полярным дрейфом полоидального поля в высоких широтах.

В третьей главе диссертант развивает свою модель, описанную во второй главе, дополняя ее учетом флуктуаций альфа-эффекта, при этом параметры флуктуаций найдены самим автором в главе 1. Проведено моделирование на длительной временной шкале, результаты сравнены с данными о солнечной активности в голоцене, полученными по концентрации космогенного радиоуглерода в природных архивах – кольцах деревьев. В целом, модель удовлетворительно описывает эти косвенные наблюдательные данные. Так, при моделировании появляются достаточно нерегулярные вековые циклы, которые, как мы знаем из разных данных, действительно не регулярны. В то же время модель удовлетворительно описывает их средние характеристики: продолжительность, число событий. Модель, в частности, выявляет два типа грандиозных минимумов: типа маундеровского и шпереровского. Еще важный результат: возникновение грандиозных минимумов коррелирует с отклонениями от дипольной конфигурации поля (как уже отмечалось выше, период Маундеровского минимума характеризовался резко выраженной южной асиммет-

рией). Таким образом, модель автора позволяет найти путь к объяснению явлений вековых циклов, северо-южной асимметрии и грандиозных минимумов активности (см. вопросы 4-6, сформулированные в начале данного отзыва). Это, несомненно, крайне важный результат.

Четвертая глава – самая маленькая по объему: всего 13 страниц. В ней автор строит нелинейную динамо-модель с учетом зависимости турбулентной диффузии от магнитного поля. Эта динамо-модель показывает явление типа гистерезиса, когда в некотором интервале динамо-числа возможны два решения, ответственные за затухающие колебания слабых магнитных полей и большие циклы соответственно. Я бы упомянул в скобках в связи с этим одну из последних работ I. Usoskin et al // *Astronomy & Astrophysics*, 562, 2014, в которой, основываясь на самой «свежей» реконструкции активности за последние 3000 лет, авторы приходят к заключению о двух популяциях циклов активности: больших и малых. Важным результатом проведенного автором моделирования является то, что в ней генерируются поля, антисимметричные относительно экватора. Это также может помочь в объяснении северо-южной асимметрии солнечной активности.

В заключении приведены основные результаты работы.

Оценивая диссертацию С.В.Олемского в целом, отмечу следующее. Присутствие некоторых немногих замечаний в моем отзыве ни в коей мере не снижает общее – хорошее – впечатление о диссертации. Диссертантом проведена интересная работа, посвященная широкому кругу вопросов солнечной цикличности. Она сочетает в себе анализ наблюдательных данных, статистические и теоретические исследования, математическое моделирование. Результаты опубликованы в ведущих профильных журналах. Работа цельная по тематике и вдумчивая по содержанию. Результаты, выносимые на защиту, можно принять.

Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертация С.В.Олемского удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым в докторских диссертациях по специальности 01.03.03 – физика Солнца, а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения степени доктора физико-математических наук.

Зав. отделом Физики Солнца ГАО РАН,  
доктор физ.-мат. наук

Ю.А. Наговицын

196140, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, дом 65. ГАО РАН,  
телефон 812-363-70-20, эл. почта: nag@gao.spb.ru

Подпись руки Ю.А. Наговицына удостоверяю:  
Ученый секретарь ГАО РАН,  
кандидат физ.-мат. наук

Т.П. Борисевич

07.09.2014

