

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Кулешовой Алены Игоревны**
**«Некоторые проявления солнечной активности на различных временных шкалах:
вспышечные события, 11-летний цикл, грандиозные минимумы»**,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.03.03 – Физика Солнца.

Исследование процессов, происходящих на Солнце, не только представляет огромный интерес с фундаментальной точки зрения, но также имеет и важное практическое значение. Лучистая энергия Солнца является основным и практически единственным источником энергии для атмосферной циркуляции. Как показали спутниковые наблюдения последних десятилетий, солнечная активность влияет на интегральную светимость Солнца. Изменения прихода солнечной радиации, обусловленные долговременными колебаниями солнечной активности, могут оказывать существенное влияние на земной климат. Кратковременные проявления солнечной активности, в частности солнечные вспышки, приводят к целому ряду эффектов в атмосфере Земли. Связанные со вспышками всплески рентгеновского излучения и солнечных космических лучей вызывают изменения скорости ионизации в верхней и средней атмосфере, что приводит к изменениям химического состава атмосферы (например, понижению концентрации озона), ее температурного режима, нарушениям радиосвязи и т.д. В нижней атмосфере в связи с солнечными вспышками отмечаются перестройки циркуляции, изменения в эволюции барических систем. Таким образом, актуальность и практическая значимость изучения солнечной активности на разных временных шкалах не вызывают сомнений. Особо важное значение исследование процессов на Солнце приобретает в настоящее время в связи с необходимостью выяснения причин наблюдаемого с конца 19-го века «глобального потепления» (в последние годы данный термин заменен на «глобальные климатические изменения»), а также оценки вкладов естественных (в первую очередь, солнечных) и антропогенных факторов в указанное явление.

Диссертационная работа Кулешовой А.И. посвящена исследованию проявлений солнечной активности на временных шкалах от минут и часов (рекуррентность солнечных вспышек) до сотен лет (глобальные, или грандиозные минимумы солнечной активности). Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 88 страниц, включая 24 рисунка и 3 таблицы. Список литературы включает 104 наименования.

Во Введении автор обосновывает актуальность темы диссертации, приводит основные понятия солнечной активности (активная область, вспышка, 11-летний солнечный цикл), описывает методы исследования и прогнозирования 11-летних циклов, долговременные изменения солнечной активности (циклы Глайсберга, Зюсса, глобальные минимумы солнечной активности). В конце Введения сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

Замечания к Введению следующие. Определение чисел Вольфа следовало дать в разделе 1.2 (Основные понятия солнечной активности), так как это понятие постоянно используется автором начиная со стр.11, но его определение приведено только в главе 3

(раздел 3.1.4). В определении вспышки на Солнце (стр.5) не отмечено, что энерговыделение происходит не только в виде потоков высокоэнергичных частиц, но и в виде электромагнитного излучения и выбросов корональной массы. На стр.11 диссертантка сначала приводит описание цикла Хейла, используя понятия четных и нечетных циклов по Цюрихской нумерации, и только после этого дает определение данной нумерации. Кроме того, обосновывая актуальность исследования (стр.5), автору следовало бы не ограничиваться кратким упоминанием «разнообразных геофизических явлений», обусловленных вспышками, а более подробно рассказать о комплексе явлений, возникающих в атмосфере Земли в связи с указанными событиями, также было бы полезно отметить важную роль эффектов солнечной активности в погодно-климатических вариациях. Это могло бы стать очень весомым аргументом, обосновывающим актуальность проводимого исследования.

В главе 2 исследуются статистические характеристики времен рекуррентности (повторяемости) солнечных рентгеновских вспышек по данным серии спутников GOES. Диссертантка использует достаточно длительный (по сравнению с другими исследованиями в этой области) ряд наблюдательных данных (1996-2017 гг.), охватывающий практически два солнечных цикла. Это позволило не только определить характер распределения времен рекуррентности, но и изучить изменения параметров распределения в зависимости от фазы цикла. Диссертанткой получен важный результат, свидетельствующий о логнормальном распределении времен рекуррентности рентгеновских вспышек, на основании которого сделан вывод о возникновении солнечных вспышек в результате нелинейного взаимодействия ряда факторов (и, как следствие, о неэффективности однофакторных методов прогноза). Также представляется важным результат исследования, показавший, что типичные значения средних времен рекуррентности в отдельных активных областях близки к типичным периодам долгопериодических колебаний пятен. В Главе 2 диссертантке следовало бы уточнить диапазон рентгеновского излучения, по которому производится классификация вспышек. Это так называемый «мягкий рентген» с длинами волн 0.1–0.8 нм (диапазон энергий 1–12.5 кэВ). Кроме того, было бы полезно пояснить, что подразумевается под долгопериодическими колебаниями солнечных пятен (какие физические характеристики изменяются, чем это обусловлено), как вспышки могут быть связаны с указанными колебаниями, чем физически обусловлена тенденция к увеличению повторяемости вспышек в активной области при увеличении площади групп пятен, т.е. дать более детальную физическую интерпретацию обнаруженных закономерностей.

В Главе 3 диссертантка рассматривает правило Вальдмайера, связывающего амплитуду 11-летнего солнечного цикла с длительностью фазы его роста, и предлагает его модификацию. В отличие от классической формулировки правила Вальдмайера, диссертантка рассматривает связь амплитуды цикла с максимальным значением скорости увеличения чисел Вольфа на восходящей ветви цикла и получает квадратичную зависимость, учитывающую, что при стремлении к нулю амплитуды цикла скорость его развития также должна стремиться к нулю. На основе полученной зависимости диссертанткой был сделан прогноз амплитуды 24-го цикла, который достаточно хорошо оправдался. Модифицированное правило Вальдмайера, сформулированное в диссертации, позволяет получить более высокий коэффициент корреляции между рассматриваемыми

величинами по сравнению с классическим правилом и, что представляется наиболее важным, дает возможность заблаговременной диагностики развивающегося цикла, не дожидаясь завершения фазы его роста. В данной главе было бы полезно привести коэффициент корреляции между амплитудой цикла и длительностью фазы роста в классической формулировке правила Вальдмайера (напр., Hathaway et al., 2002).

Глава 4 посвящена исследованию грандиозных минимумов солнечной активности – Шперера, Маундера и Вольфа. Используя данные по содержанию космогенного изотопа ^{14}C , диссертантка реконструирует скорость генерации ^{14}C в атмосфере на основе модели, учитывающей обмен между пятью природными резервуарами углерода, включая атмосферу, биосферу, гумус, а также поверхностные и глубинные слои океана. На основании полученных результатов делается оценка уровня солнечной активности во время исследуемых минимумов. Новизна подхода, используемого диссертанткой, заключается в учете климатических изменений, влияющих на скорость обмена между резервуарами, при расчете скорости генерации радиоуглерода. Диссертантка показывает, что полученные ранее аномально высокие значения скорости генерации ^{14}C во время минимумов Шперера и Маундера, указывающие на значительное понижение солнечной активности, в действительности могут быть связаны с тем, что при расчетах не учитывалось понижение температуры атмосферы во время исследуемых минимумов.

Исследование, проведенное диссертанткой, свидетельствует о необходимости учета климатических условий при реконструкции солнечной активности на основе радиоуглеродных данных. В то же время, оно показывает, что качество реконструкции такого рода в значительной степени зависит от выбора температурного ряда, который используется для оценки климатических условий в прошлом и при этом также реконструируется по каким-либо косвенным данным. Диссертантка рассматривает три температурные реконструкции (Манна, Кроули и Моберга), которые до начала 19-го века заметно различаются, что в результате отражается на оценках скорости генерации радиоуглерода и уровня солнечной активности. В связи с этим встает вопрос, чем обусловлен выбор именно этих реконструкций и в чем может состоять причина наблюдаемых между ними расхождений. Также следовало бы пояснить, на основе каких данных строились эти температурные ряды, имеются ли какие-либо критерии надежности реконструкций температуры. Какая из температурных реконструкций дает, по мнению диссертантки, наиболее надежную оценку уровня солнечной активности в минимумах Маундера и Шперера? Еще одно замечание касается оценки температуры океана. Для подтверждения того, что в течение Малого ледникового периода температура поверхностного слоя океана понижалась, диссертантка ссылается на данные о температуре воды вблизи побережья Антарктиды. Возникает вопрос, в какой степени эти данные (в южном полушарии, вблизи покрытого льдом материка) могут отражать изменения температуры океана в глобальном масштабе.

К сожалению, следует отметить имеющиеся в диссертационной работе недостатки оформительского характера. Достаточно часто встречаются неудачные выражения, неточные формулировки. Например, на стр.6 читаем «...частиц, достижение **которых окрестностей Земли** вызывает...» (во-первых, «которыми», во-вторых, уместнее было бы использовать термин «околоземное пространство» вместо «окрестности Земли»). Там же:

«на длительных временах» (правильно «на длительных временных шкалах»). На стр.7: «области, поперечником десятки тысяч километров» (правильнее «области с поперечными размерами...»). Там же: «Явления спокойного Солнца отличаются не только масштабами явлений, но и ...» (должно быть «Явления спокойного Солнца различаются не только масштабами, но и ...»). Стр.8. «...представляют собой относительно холодные места фотосферы» (правильнее «области», «участки»). На той же странице дважды приводится одно и то же утверждение, что пятна состоят из тени и полутени (строки 8-9 и 14-15). Стр.10: «...данные о геомагнитной активности в качестве прокси» (в данном контексте английский термин «проху» в переводе на русский язык означает «косвенный показатель», поэтому следовало бы писать «в качестве косвенного показателя»). Стр.54: «Радиоуглерод ^{14}C образуется ... в верхних слоях атмосферы...» (область, где галактические космические лучи вступают в ядерные реакции с ядрами атмосферных атомов, относят к средней атмосфере). Список можно продолжить.

Указанные выше замечания не снижают научной значимости проведенных исследований и могут быть учтены при дальнейшей работе диссертантки. Результаты, полученные Кулешовой А.И., докладывались ею на ряде всероссийских и международных конференций, а также были опубликованы в ведущих профильных журналах, таких как «Solar Physics», «Geomagnetism and Aeronomy», «Астрономический журнал», что свидетельствует об их достаточно высоком научном качестве. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, диссертация «Некоторые проявления солнечной активности на различных временных шкалах: вспышечные события, 11-летний цикл, грандиозные минимумы», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 – Физика Солнца, является завершенной научной работой и полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Кулешова Алена Игоревна несомненно заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук.

Старший научный сотрудник
ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН,
доктор физ.-мат. наук

С.В. Веретененко

Веретененко Светлана Викторовна
194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д.26, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН
Тел. +7 (911) 702-31-49. E-mail: s.veretenenko@mail.ioffe.ru

Подпись С.В. Веретененко удостоверяю:
Ученый секретарь
ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН,
доктор физ.-мат. наук



А.П. Шергин

10.05.2018