

## ОТЗЫВ

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

В диссертации представлены результаты исследований экстремальных проявлений солнечной активности на различных временных масштабах. Выполнен анализ наблюдательных данных о вспышечной активности Солнца, изучены закономерности вспышечной процессов в 11-летних циклах. Изучены закономерности долговременных изменений магнитной активности Солнца. На основе выполненного анализа уточнены характеристики великих максимумов и минимумов солнечной активности.

Вспышки и другие взрывные процессы в атмосфере Солнца сопровождаются мощным потоком излучения и высокоэнергичными частицами, которые могут приводить к возмущениям в околоземном космическом пространстве. С другой стороны изменения магнитной активности Солнца влияют на состояние гелиосферы, околоземное космическое пространство и климат Земли на вековых масштабах времени. Таким образом, тема настоящей диссертационной работы **актуальна** и соответствует перечню приоритетных направлений фундаментальных исследований РАН.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы (104 наименования). Ее объем составляет 88 страниц, включая список литературы, 24 рисунка и 3 таблицы.

**Во введении** сформулированы цели и задачи работы, обоснована их актуальность. Перечислены положения, выносимые на защиту, их научная и практическая значимость. Все необходимые характеристики работы имеются и соответствуют автореферату.

**В главе 2** представлены результаты изучения закономерностей вспышечной активности Солнца, по данным полученным со спутников GOES. Показано, что

вспышечные процессы связаны со структурой магнитного поля активных областей и изменяются в течение 11-летнего цикла.

**В главе 3** рассмотрены закономерности поведения 11-летних циклов активности, сформулировано модифицированное правило Вальдмайера, исследовано его прогностическое значение. Построена уточненная зависимость числа Вольфа в максимуме 11-летнего цикла от максимальной среднегодовой скорости на ветви роста активности.

Уточненная квадратичная зависимость позволяет прогнозировать амплитуду цикла зная максимальная скорость нарастания магнитного потока на ветви роста активности. Физическая смысл этой зависимости пока не ясен. Тем не менее, ее можно применять для прогноза амплитуды циклов активности. Такой прогноз уже был сделан для 24 цикла, и он оправдался. Второе защищаемое положение связано с уточненным правилом Вальдмайера и новым эмпирическим методом прогноза.

**В главе 4** приведены результаты изучения долговременных изменений солнечной активности по данным о содержании космогенных изотопов в природных архивах Земли. В ходе такой реконструкции были учтены сложные причинно-временные связи, которые влияют на содержание радиоуглерода атмосфере и гидросфере Земли.

Детально рассмотрены механизмы перераспределения радиоуглерода  $^{14}\text{C}$  между атмосферой, гидросферой, биосферой и осадочными породами Земли. Эти сложные процессы переноса описаны в рамках модели, представленной пятью главными природными резервуарами, в которых содержится и перераспределяется радиоуглерод.

При участии А.И. Кулешовой пятирезервуарная модель была развита с учетом климатических факторов, которые оказывают влияние на все обменные процессы. Природный цикл радиоуглерода описывается системой дифференциальных уравнений, которая была решена с учетом климатических факторов. Была выполнена реконструкция гелиосферного модуляционного потенциала, характеризующего изменение интенсивности галактических космических лучей в зависимости от времени. При этом выполнялся учет влияния геомагнитного поля, которое меняется со временем. Зная изменения гелиосферного модуляционного потенциала, была выполнена реконструкция индексов активности Солнца.

Разработанная модель позволила восстановить изменения скорости генерации космогенного изотопа с учетом изменений глобальной температуры и концентрации CO<sub>2</sub> в земной атмосфере. Впервые была выполнена реконструкция солнечной активности при детальном учете сложных обменных процессов между разными средами Земли и с учетом изменений ее магнитного поля и климата. Сделан вывод о том, что уровень магнитной активности Солнца во время минимума Маундера был выше, чем обычно считается. С этим связано третье защищаемое положение.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы диссертации, показана научная новизна, приведены положения, выносимые на защиту.

Одной из целей настоящей диссертационной работы является изучение закономерностей долговременных изменений солнечной активности. Сделан вывод о том, что реконструированные значения гелиосферного модуляционного потенциала и чисел Вольфа во время минимума Маундера могут быть сравнимы со значениями во время минимума Дальтона. Думаю, что многие исследователи не согласятся с таким предположением.

В 11-17 веках уровень активности был низким, и великие минимумы следовали друг за другом. Важную роль в наступлении великих минимумов играют вариации активности на масштабах времени 100-200-лет (суперпозиция циклов Глайсберга и Зюсса). Установлено условие, при котором наступают великие минимумы (Mordvinov, Kramynin, *Solar Phys.*, 2010. 264. P. 269). Для выполнения этого условия необходимо, чтобы амплитуда 100-200-летней вариации была сравнима со средним уровнем активности. При низком уровне активности великие минимумы наступают синхронно с минимумами 100-200-летних вариаций при их достаточно большой амплитуде.

В 19-20 веках средний уровень активности значительно вырос, а суммарная амплитуда 100-200-летних вариаций была малой относительно текущего уровня. В этот период произошли незначительные снижения активности, известные как минимум Дальтона и последующий "современный" минимум.

Есть также замечание методического характера. Реконструкции данных о солнечной активности характеризуются большими погрешностями. Эти данные

подчиняются законам распределения, которые сильно отличаются от гауссова распределения. Для анализа таких данных следует использовать специальные алгоритмы, устойчивые по отношению к большим погрешностям.

Отмеченные замечания не меняют общего положительного впечатления от диссертации А.И. Кулешовой. Диссертация написана хорошим языком и аккуратно оформлена. Автореферат правильно отражает ее содержание. Все вынесенные на защиту положения опубликованы в ведущих научных журналах и известны специалистам по физике Солнца. Результаты диссертационной работы А.И. Кулешовой могут быть использованы в научных организациях, проводящих исследования по физике Солнца, в частности, в Главной (Пулковской) астрономической обсерватории, в Институте солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН, в Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн, в Крымской астрофизической обсерватории и других.

Подводя итог вышеизложенному, сделано заключение о том, что диссертационная работа А.И. Кулешовой «Некоторые проявления солнечной активности на различных временных шкалах: вспышечные события, 11-летний цикл, грандиозные минимумы» представляет законченное исследование, которое можно квалифицировать как весомый вклад в физику Солнца. Диссертация удовлетворяет требованиям Положения «О порядке присуждения ученых степеней» ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Алена Игоревна Кулешова, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 (физика Солнца).

Зав. лабораторией ИСЗФ СО РАН,  
доктор физико-математических наук

А.В. Мордвинов

Подпись А.В. Мордвинова заверяю  
Ученый секретарь ИСЗФ СО РАН

И.И. Салахутдинова

Адрес: 664033, Иркутск, а/я 291, ул. Лермонтова 126а

e-mail: avm@iszf.irk.ru, телефон: (3952) 56-45-44

специальность 01.03.03 (физика Солнца)

7 мая 2018 г.