

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Золотарева Ивана Анатольевича
на тему: «Определение радиационной нагрузки в космическом аппарате при
полете по высокоширотной орбите»
по специальности 01.03.03 – «Физика Солнца»

Диссертационная работа Золотарева И.А. посвящена экспериментальному определению вклада галактических космических лучей и радиационных поясов Земли в уровень радиационного воздействия на борту спутника, находящегося на околоземной полярной орбите, за небольшой толщиной защиты. Изучение радиационной обстановки на высоких широтах, причем за небольшой защитой, является актуальным в свете разработки Российской Орбитальной Служебной Станции. По сравнению с дозиметрическими измерениями внутри Международной космической станции (МКС), такие исследования помогут оценить риски внекорабельной деятельности космонавтов на высокоширотной орбите, выработать оптимальные режимы работы РОСС.

Диссертация содержит 114 страниц и состоит из пяти глав выводов и списка литературы из 124 источников. Работа содержит 9 таблиц и 57 рисунков.

Во **введении** автор обосновывает актуальность выбранной темы, формулирует цель, задачи, научную новизну и практическую значимость работы. Здесь же соискатель сообщает об апробации основных положений диссертации, ее структуре и объеме, публикациях, а также положениях, выносимых на защиту.

В **первой главе** диссертации автор проводит обзор дозиметрических исследований радиационной обстановки на околоземных орбитах. Описаны особенности создания дозиметров для космического применения, эксперименты, проводимые на МКС и других аппаратах. Также автор описывает проведенные в последние десятилетия исследования

радиационной обстановки в околоземном пространстве и построенные на их основе модели. Особое внимание уделяется радиационной обстановке на высокоширотных орбитах и динамике потоков релятивистских электронов внешнего пояса. Кратковременные возрастания потоков электронов во внешнем радиационном поясе описаны многими авторами, происхождение этих возрастаний является дискуссионным вопросом до настоящего времени. Высыпания электронов могут создавать потенциально опасные уровни облучения при выходах космонавтов в открытый космос при эксплуатации высокоширотной РОСС.

Во **второй главе** диссертации представлено описание приборов, разработанных при участии автора, для исследования радиационной обстановки. Основу главы составляет описание прибора ДЭПРОН – дозиметра, специально разработанного в НИИЯФ МГУ для исследовательских целей в рамках эксперимента на спутнике Ломоносов. Детально описано устройство узлов прибора, принципы работы при регистрации потоков частиц и мощности дозы от заряженных частиц. Автор описывает разработанную им методику моделирования чувствительности прибора с построением 3D модели прибора в среде GEANT4 с учетом корпуса и расположения деталей прибора и детекторов. Проведено моделирование для электронов, протонов и нейтронов различных энергий. Эта работа позволила разработать более общую методику определения эффективности и энергетического разрешения приборов, применимую не только для дозиметров, но и для телескопов детекторов, которые используются в спектрометрах.

В **третьей главе** описаны использовавшиеся способы обработки информации с прибора. Приведены описания написанных автором программ для приема и передачи данных на прибор, для управления прибором и обработки данных.

В **четвертой главе** представлены этапы построения планетарного распределения мощности поглощенной дозы ионизирующего излучения по

данным эксперимента ДЭПРОН на ИСЗ Ломоносов. Планетарное распределение мощности поглощенной дозы показывает характерные для околоземного пространства зоны, в которых наблюдаются излучения различной природы. Среди них выделяются области Южно-Атлантической аномалии и внешнего радиационного пояса. В зоне Южно-Атлантической аномалии происходит стабильное накопление дозы, суточная доза находится практически на одном уровне в процессе всего эксперимента. Во внешнем радиационном поясе накопление дозы происходит очень неравномерно, суточная доза изменяется на порядок в зависимости от геомагнитной обстановки. Для выяснения предпосылок для этих изменений соискателем были проверены геомагнитные индексы, характеристики солнечного ветра в исследуемый период. В работе моменты регистрации больших величин суточной дозы во внешнем поясе связываются с длительными понижениями в Dst индексе.

В **пятой главе** представлены результаты поиска возрастаний мощности дозы во внешнем радиационном поясе в данных измерений ДЭПРОН. Автором был разработан алгоритм, позволяющий автоматически проводить поиск возрастаний в данных измерений на спутнике Ломоносов. Было обнаружено более 1600 возрастаний и по ним проанализирована информация о величинах мощности дозы во время этих явлений. Благодаря тому, что сами возрастания регистрируются не более 30 секунд при пролете космическим аппаратом внешнего пояса суммарная доза за сутки от возрастаний не велика, она не превышает 1% от суточной дозы.

Таким образом, в диссертационной работе изучена радиационная обстановка в высокоширотной области околоземного пространства, за небольшой защитой 0.45 и 0.8 г/см^2 , в отличие от дозиметрических исследований внутри МКС за защитой как правило превышающей $2-4 \text{ г/см}^2$. Получены экспериментальные данные о изменении суточной дозы в области внешнего радиационного пояса. Оценен вклад в дозу от кратковременных

возрастаний потоков частиц во внешнем радиационном поясе. Эти оценки позволяют делать выводы о низкой опасности интенсивных возрастных.

Материалы диссертации были представлены на научно-практических конференциях: международной конференции Committee on Space Research - COSPAR (г. Москва, 2014 г., г. Пасадена, 2018 г.), международной конференции «Объединение молодых ученых и специалистов» - ОМУС (г. Дубна, ОИЯИ, 2015 г.), общеуниверситетской научной конференции «Ломоносовские чтения» (Москва, 2019 г.), научной конференции «Физика плазмы в солнечной системе» (Москва, 2019 г., 2022 г.), рабочих совещаниях проекта космического аппарата «Ломоносов» (Москва, 2016 г.), а также 43-ем ежегодном семинаре в Апатитах "Физика авроральных явлений" (2020 г.) и опубликованы в 4-х работах.

Выводы диссертации полностью соответствуют поставленным задачам исследования и представляются достоверными в силу использования проверенных методик и их детального обсуждения на семинарах и конференциях.

Замечания по диссертационной работы Золотарева И.А. не влияют на значимость представленной работы. Тем не менее, следует отметить следующее:

1. В главе 1, описывая ранее проведенные исследования, автор ограничивается работами, выполненными в последние десятилетия, и только упоминает исследования, проведенные на орбитальной станции «Мир» в 90 гг прошлого века.
2. Спектрометрические исследования потоков ГКЛ дают существенно более детальную картину по составу, спектру и вариациям потоков космического излучения, чем дозиметрические приборы. Обсуждение результатов этих исследований и сравнение с полученными результатами отсутствует. В частности, данные по вариациям поток протонов, полученные на борту МКС, были недавно опубликованы в Phys.Rev.Lett. 2021 V.127,

№27, и включают период 2016-2017 гг, пересекающийся с периодом наблюдений ДЭПРОН.

3. К стр. 16-17. Существование релятивистских высокоэнергичных электронов в радиационном поясе было предсказано Н.Л. Григоровым (НИИЯФ МГУ) еще в 1977г. и было подтверждено в измерениях на станциях Салют-7, «Мир», в эксперименте ПАМЕЛА на борту КА "Ресурс ДК" и в других экспериментах.

4. Выводы, сделанные автором, относятся к периоду измерений в 2016 г на фазе роста солнечной активности. Остается не ясным, возможна ли их экстраполяция на периоды минимума и максимума солнечной активности. Представляется, что здесь существенную помощь могло бы оказать сравнение с результатами других экспериментов, в частности спектрометрических, перекрывающих более длительные интервалы вариаций солнечной активности.

5. Утверждение о увеличении частоты высыпаний при повышенной величине давления не выглядит достаточно обоснованным. Связь высыпаний с параметрами давления солнечного ветра продемонстрирована на рисунке 5.10, но не обсуждается в тексте.

6. Работы, связанные с проведением испытаний нейтронных детекторов, не имеют непосредственного отношения к теме работы и защищаемым положениям.

В диссертации есть незначительное число опечаток и стилистических ошибок. Например, стр. 99 "КДИ – конструкторское доводочные...", сокращение СКЛ в тексте работы не используется, а ЛДА отсутствует в списке сокращений. На стр. 91 должно быть Dst вместо DST. На стр. 13 прибор называется RAD, а на стр. 11 - РАД. На стр. 85 в первом абзаце несколько оборванных фраз. На стр. 11 дважды расшифрована аббревиатура REM. На стр. 16 говорится о повышении дозы до 23 мГр/час, а на стр. 15 – до 22 мГр/час со ссылкой на одну и ту же работу.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.03.03 – «Физика Солнца» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Золотарев Иван Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 – «Физика Солнца».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
профессор Института ядерной физики и технологий, отделение ядерной физики и технологий офиса образовательных программ (411)
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,

Михайлов Владимир Владимирович

подпись

07 июня 2022 Дата подписания

Контактные данные:

тел.: , e-mail:

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.04.16 Физика атомного ядра и элементарных частиц

Адрес места работы: 115409, Москва, Каширское ш., д. 31

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Институт ядерной физики и технологий, отделение ядерной физики и технологий офиса образовательных программ (411)

Тел.: - ; e-mail:

Подпись удостоверяю

дела
чния

В.М. Саширидзе