

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИЗМИРАН,

д.ф.-м.н.

В. Д. Кузнецов



марта \_\_ 2014 г.

Отзыв ведущей организации  
на диссертацию Лишневого А. Э.

**"Вариации радиационной обстановки на международной космической станции на фазе спада 23-го цикла солнечной активности",**  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.08 - физика плазмы.

Целью диссертационной работы Лишневого А. Э. является определение вариаций вклада галактических космических лучей (ГКЛ) и протонов внутреннего радиационного пояса Земли (РПЗ) в поглощенную дозу на борту МКС и разработка, на базе полученных эмпирических закономерностей, инженерной методики краткосрочного прогнозирования радиационной обстановки на МКС по данным СРК. Диссертация посвящена исследованию временных изменений радиационной обстановки и совершенствованию модельного описания радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве и построению прогностической модели.

**Актуальность** выполненной работы. Одна из побудительных причин создания новых моделей – это необходимость улучшения точности прогнозирования уровней радиационного воздействия на аппаратуру и людей, находящихся на космических аппаратах. Такие усилия в последнее время предпринимаются также международной коллаборацией специалистов по разработке различных моделей радиационного воздействия и защиты.

**Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

В работе использовано больше данных МКС и с большим временным охватом, чем в более ранних исследованиях. Это позволило создать новую модель, а на ее основе сделать новые, более надежные, выводы и дать новые более точные и детальные рекомендации.

**Практическая значимость** для науки и практики полученных автором диссертации результатов. Практическая значимость результатов, полученных в диссертации, состоит в разработке инженерной методики расчетной оценки дозы на МКС. Эта методика предназначена для дальнейшего использования для анализа дозиметрической информации при оперативном обеспечении

радиационной безопасности экипажей МКС и радиационного воздействия на аппаратуру других космических аппаратов.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений.** Достоверность полученных в диссертации результатов обусловлена тем, что все они основаны на использовании современных теоретических и экспериментальных методов, подтверждены ссылками на них в работах других авторов, тем, что они докладывались и обсуждались на целом ряде представительных российских и международных научных форумов. Она подтверждается также тем обстоятельством, что работа выполнялась в рамках различных грантов и программ, прошедших независимую экспертизу.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, выводов и списка цитируемой литературы.

**Во введении** раскрыты актуальность темы исследования и степень ее разработанности, определены цель и задачи, сформулированы основные положения, обладающие научной новизной и выносимые на защиту, охарактеризованы методы и эмпирическая база диссертационной работы.

**В первой главе** *“Основная информация о радиационной обстановке на околоземных орбитах (по литературным данным)”* дано описание основных источников космической радиации на орбитах пилотируемых орбитальных станций и закономерностей, которым подчиняются вариации радиационной обстановки на околоземных орбитах. Кроме этого, в первой главе представлен обзор моделей, описывающих радиационную обстановку в ближнем космосе, дано описание их практического применения для нужд краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогнозирования радиационной обстановки, обоснована необходимость в дальнейшем совершенствовании методов оценки и прогнозирования радиационной обстановки на пилотируемых орбитальных комплексах и перспективных пилотируемых космических аппаратах.

**Вторая глава** *“Описание аппаратуры. Методика обработки данных”* посвящена описанию системы радиационного контроля, развернутой на МКС. Дается подробное описание детекторов радиации СРК, включая дозиметрические блоки ДБ-8, данные которых использовались при выполнении диссертационной работы. Дано описание различных режимов функционирования СРК и структуры передаваемой на Землю с детекторов СРК информации. Представлено подробное описание использовавшихся в диссертационной работе информационных массивов, полученных в результате передачи данных СРК по каналам телеметрии на Землю и их последующей предварительной дешифровки специализированными программными комплексами. Для использовавшихся в диссертационной работе данных СРК даны подробные описания методик их обработки, служащие решению задачи разделения вклада в дозу на МКС, обусловленного ГКЛ и РПЗ – одной из задач, поставленных в диссертационном исследовании.

**В третьей главе** “Анализ результатов обработки экспериментальных данных” рассматриваются результаты обработки данных СРК, полученных в двух различных режимах функционирования комплекса СРК с временным разрешением 10 минут и 10 секунд в зависимости от различных параметров.

В первой части главы исследованы общие зависимости доз от параметров орбиты и условий защищенности детекторов. Например, представлены результаты обработки данных СРК временных зависимостей вклада в суточную дозу от РПЗ и от ГКЛ для детекторов ДБ-8, имеющих наименьшую и наибольшую степень защищенности окружающим оборудованием станции. Также указывается на прослеживаемую с середины 2006 г. до окончания 2009 г. связь вклада в суточную дозу от РПЗ с высотой прохождения орбитальным комплексом МКС области Южно-Атлантической аномалии, а также на отсутствие таковой связи для вклада в суточную дозу от ГКЛ.

Подробно рассматривается полученная в результате анализа данных СРК временная зависимость вклада в суточную дозу от ГКЛ. Показано, что вклад от ГКЛ в среднесуточную мощность дозы в период 2005 - 2009 гг. изменяется в интервале от 0,08 до 0,11 мГр/сут независимо от места расположения дозиметрического блока. Это составляет от 57% до 44% вклада в среднесуточную мощность дозы для наиболее защищенного детектора ДБ-8 №4, а для наименее защищенного детектора ДБ-8 №1 – от 35% до 27% вклада в среднесуточную мощность дозы. Это указывает на то, что условия экранировки детекторов не оказывают существенного влияния на вклад в суточную мощность дозы от ГКЛ. Проводится сравнение с вариациями, наблюдаемыми на нейтронном мониторе. Показано, что вклад в среднесуточную мощность дозы от ГКЛ изменяется в соответствии с трендом, прослеживаемым по данным мониторинга потоков ГКЛ за 2005 - 2009 гг.

Приводится количественная оценка связи вклада в среднесуточную мощность дозы от РПЗ с высотой прохождения МКС области ЮАА. Делается вывод о том, что для вклада от РПЗ в среднесуточную мощность дозы экранировка детекторов имеет существенное значение (в отличие от аналогичного вклада в среднесуточную мощность дозы от ГКЛ).

Во второй части главы сделан анализ результатов обработки данных с десятисекундным временным разрешением, позволяющий получить зависимость дозы в области ЮАА за одно прохождение. Зависимости дозы за одно прохождение ЮАА от долготы пересечения станцией референтной широты 30° ю.ш., представляют собой «колоколообразные» распределения показаний детекторов по долготе, которые зависят также от высоты прохождения Международной космической станцией зоны ЮАА. Для этих распределений оказалось возможным ввести математическое описание, аппроксимирующее экспериментальные зависимости, в виде

$$f(\lambda) = A(h) \cdot \exp\left(-\frac{(\lambda - \bar{\lambda})^2}{2\sigma^2}\right)$$
, где численный коэффициент А зависит от высоты пересечения МКС референтной широты. Таким образом, аппроксимация

эмпирических зависимостей мощности дозы для каждого из прохождений МКС области ЮАА от долготы прохождения МКС референтной широты позволила построить математическое описание для экспериментальных зависимостей мощности дозы за каждое из прохождений МКС области ЮАА, которое хорошо согласуется с экспериментальными данными.

**Четвертая глава** “*Методика расчетной оценки динамики накопления дозы на МКС*” посвящена описанию методики краткосрочного прогнозирования радиационной обстановки на МКС на основе экспериментальных дозиметрических данных, динамики накопления дозы, и обсуждению получаемых с ее помощью результатов. Представлено описание методики расчетной оценки прогнозируемой радиационной обстановки на МКС. При ее реализации был использован эмпирический алгоритм прогноза, основанный на результатах бортовых дозиметрических измерений и полученных математических моделях для экспериментальных зависимостей мощности дозы за каждое из прохождений МКС области ЮАА от долготы пересечения МКС референтной широты, а также на данных баллистики. Прогноз динамики дозы на «последующий» период (1-2 суток) осуществлялся на основе анализа дозиметрических данных «предыдущего» периода (1 день – 2 недели). Прогноз на «последующий» период основывался на определении вклада в дозу от ГКЛ и характеристик доз, получаемых МКС при прохождении ЮАА, по дозиметрическим данным «предыдущего» периода, при этом принималось в качестве допущения, что высота полета МКС в течение «предыдущего» и «последующего» периодов времени изменяется незначительно.

Найдено, что для наиболее защищенного детектора ДБ-8 удается произвести прогноз динамики накопленных доз с погрешностью не более 25%, для наименее защищенного - с погрешностью не более 32% (при значении доверительной вероятности, равном 96%). Подобная погрешность краткосрочного прогноза радиационной обстановки (порядка 30%) для нужд практической космонавтики считается приемлемой.

В заключении подведены итоги исследования, изложены его основные положения, сделаны выводы.

К основным результатам диссертационного исследования, обладающим научной новизной, относятся следующие положения и разработки соискателя:

1. Разработана методика обработки данных дозиметрических блоков ДБ-8 системы радиационного контроля МКС, обеспечивающая оценку вклада в дозу на МКС, обусловленного галактическими космическими лучами (ГКЛ) и внутренним радиационным поясом Земли (РПЗ).
2. Проведенный анализ данных СРК за период 2005 – 2009 гг., характеризовавшийся низким уровнем солнечной активности, позволил определить вклад в суточную дозу, вносимый ГКЛ и РПЗ.
3. Установлено, что доза от ГКЛ практически не зависит от условий защищенности детекторов СРК оборудованием МКС.

4. Установлено, что изменения дозы от ГКЛ на борту станции хорошо коррелируют с изменениями интенсивности потоков космических лучей, прослеживаемых по данным нейтронных мониторов: коэффициенты корреляции Пирсона между вкладом в среднесуточную мощность дозы от ГКЛ и скоростью счета нейтронного монитора по данным станции в г. Апатиты составляют, соответственно, 0,91 и 0,92 для наименее защищенного и наиболее защищенного блоков ДБ-8.

5. Показано, что доза от РПЗ на МКС существенно зависит от условий защищенности детекторов и высоты орбиты, соответствующие изменения могут превышать 2 раза и более.

6. Получены эмпирические формулы, позволяющие производить оценки дозы, получаемой МКС при прохождении через зону ЮАА.

7. На основе данных СРК разработана инженерная методика прогнозирования динамики накопления дозы на МКС. Показано, что при значении доверительной вероятности, равном 96%, погрешность методики не более 25% для наиболее защищенного детектора ДБ-8, для наименее защищенного – погрешность не более 32%.

Теоретической основой исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых в области физики плазмы и солнечно-земной физики.

В методологическую основу исследования были положены разнообразные современные методы статистической обработки экспериментальных данных.

Оценивая достоинства диссертационной работы, следует, в первую очередь, отметить большой объем привлеченных для анализа данных, как теоретических, так и экспериментальных, и детальную проработку довольно сложных численных моделей. В работе получены интересные результаты и сделан важный шаг в создании модели и разработке методики прогнозирования радиационной обстановки на космическом аппарате.

В целом, диссертация заслуживает высокой оценки. Однако, она не свободна от недостатков, к числу которых относятся следующие недостатки:

1. Для сопоставления с вариациями галактических космических лучей автор привлек данные двух высокоширотных нейтронных мониторов. Этого достаточно для целей работы, но для полноты анализа было бы неплохо добавить данные низкоширотного детектора.

2. В работе широко исследуются долготные распределения радиации. Было бы интересно на основе тех же данных изучить широтное распределение доз в выбранной полосе долгот.

3. Соискателю следовало бы уделить больше внимания перспективам развития и уточнения предложенной модели. В частности, можно попробовать автоматизировать учёт широтного распределения радиации.

Однако отмеченные недостатки не умаляют того основного достоинства диссертации, что соискателем проделана большая работа и получены новые теоретические результаты в активно развивающейся области




науки. Они опубликованы в рецензируемых журналах и прошли серьезную апробацию на международных конференциях высокого уровня. Полученные Лишневым А. Э. результаты представляют интерес для таких научных организаций России, как ФИАН им. П.Н. Лебедева, ИОФАН, ИЯИ РАН, НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова, НИЯУ МИФИ, Институт прикладной физики РАН, ИЗМИРАН. По новизне, научной и практической значимости полученных результатов работа в полной мере отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по физико-математическим наукам.


Содержание диссертации изложено в логически последовательной форме и хорошо оформлена. Стиль изложения в целом четкий и ясный. Диссертация имеет характер завершеного научного исследования и оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Автореферат и публикации соискателя в полной степени отражают ее наиболее существенные положения, выводы и рекомендации и достаточно полно отражают содержание диссертации.

По своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований и практической значимости полученных результатов представленная работа полностью удовлетворяет требованиям, изложенным в п.п. 9-11 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением от 24.09.2013 г. № 842 Правительства Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор, Лишневыи А.Э., несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 - физика плазмы.

Диссертация обсуждена 20 февраля 2014 на заседании семинара № 505 отдела космических лучей ИЗМИРАН.

Отзыв составили:

Зав. лаб. вариаций космических лучей, к.ф.-м.н.   
Зав. лабораторией астрофизики, д.ф.-м.н.   
Зав. отделом космических лучей, к.ф.-м.н. 

  
А.В. Белов  
В.Н. Зиракашвили  
В.Г. Янке

Почтовый адрес: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки ИЗМИРАН,  
142190, Россия, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, д. 4  
телефон: +7(495)8510925  
e-mail: yanke@izmiran.ru

Подписи

А.В. Белова, В.Н. Зиракашвили и В.Г. Янке  
заверяю

Ученый секретарь ИЗМИРАН, к.ф.-м.н.



 А.И.Рез