

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу
Зинкиной Марины Дмитриевны «Высыпания электронов внешнего
радиационного пояса в атмосферу по данным бортовых радиационных
измерений ИСЗ «Метеор-3М №1», представленную на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 –
физика атмосферы и гидросферы.

Известно, что фундаментальным требованием к бортовым системам (БС) космических аппаратов (КА) является высочайшая степень качества, надёжности и безопасности их функционирования в условиях открытого космоса. К числу важных факторов, оказывающих неблагоприятное воздействие на работоспособность БС в течение длительных сроков активного существования КА, относятся ионизирующие излучения космического пространства, которые включают и заряженные частицы (ЗЧ) естественных радиационных поясов Земли (ЕРПЗ). Существующие модели ЕРПЗ, в большинстве своём, разрабатываются на основе спутниковых данных. В условиях проведения космического эксперимента потоки ЗЧ измеряются в ограниченной области пространства вдоль орбиты КА, поэтому для описания пространственно-временного распределения потоков ЗЧ ЕРПЗ используются данные разных КА. Особенно сложными являются задачи пространственно-временного распределения ЗЧ ЕРПЗ на малых высотах (≤ 1000 км), которое характеризуется большими градиентами потоков ЗЧ, вызванными влиянием атмосферы, электрических полей, неоднородностей пространственной структуры геомагнитного поля, а также воздействием антропогенных факторов. Трудности здесь связаны, в том числе, и с учётом геомагнитной активности – кратковременного (по сравнению с изменением уровня солнечной активности) фактора, вызывающего вариации потоков ЗЧ ЕРПЗ. Всё это определяет актуальность темы диссертации М.Д. Зинкиной.

Содержание диссертационной работы направлено на исследование пространственно-временной структуры высыпания электронов внешнего пояса корпускулярной радиации в условиях естественных и антропогенных возмущений и является обоснованием научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Первая глава представляет собой обзор литературы по теме диссертации.

Вторая глава посвящена статистическому анализу данных наблюдений высыпаний энергичных электронов внешнего пояса с борта КА «Метеор-3М №1» за 2002-2005 годы. Автор определила характерные для высыпаний вариации на временном профиле скорости счёта электронов и на этой основе отобрала порядка трёх с половиной тысяч таких событий за период 2002-2005 годов. Она выяснила, при каких геомагнитных условиях высыпания наблюдаются чаще: оказалось, что, в основном, высыпания электронов из

внешнего пояса наблюдаются в спокойных и слабо возмущённых геомагнитных условиях. Авторская интерпретация этого результата сводится к тому, что с ростом геомагнитной активности плазмопауза приближается к Земле, объём плазмосферы уменьшается, снижая вероятность развития в геомагнитной ловушке циклотронной неустойчивости – одного из физических механизмов высыпаний энергичных электронов. В этой же главе автор исследовала зависимость частоты появления событий высыпаний от скорости счёта электронов во время события. Оказалось, что эта частота распределена по экспоненциальному закону, а экспоненциальное распределение, как известно, обладает марковским свойством. Последнее обстоятельство позволило М.Д. Зинкиной заключить, что интенсивность любого высыпания из внешнего пояса в спокойных и слабо возмущённых геомагнитных условиях не зависит от интенсивности предыдущих высыпаний.

В третьей главе детально исследуются наблюдавшиеся бортовой аппаратурой КА «Метеор-3М №1» события высыпаний резонансных электронов из внешнего радиационного за неделю (19.04.2004-26.04.2004), когда проводились эксперименты по нагреву ионосферы. Каждый раз в моменты, когда КА «Метеор-3М №1» находился над работающим нагревным стендом или в районе магнито-сопряжённой точки, были зарегистрированы характерные эффекты в виде резкого (более чем на порядок величины) кратковременного (в течение пары секунд) повышения скорости счёта электронов с энергией более 40 кэВ. Амплитуда пика скорости счёта возрастала с ростом a_p -индекса геомагнитной активности. Для интерпретации указанных наблюдений автор привлекла механизм сжатия, предложенный первоначально для объяснения волокнистых структур, которые являются весьма распространённым явлением в космической плазме (волокнистые межзвёздные облака, корональные волокна, протуберанцы).

Таким образом, впервые на большом экспериментальном материале по результатам обработки данных орбитальных измерений, выполненных однотипным прибором за длительный период времени (2002-2005 годы), соискатель установила, что, по большей части, высыпания электронов внешнего радиационного пояса в атмосферу наблюдались в спокойных и слабо возмущённых геомагнитных условиях. Она доказала, что в регионах наибольшей встречаемости таких событий частота их появления в зависимости от наблюдаемой в процессе высыпания скорости счёта распределена по экспоненциальному закону, а присущее этому закону марковское свойство позволило ей заключить, что в спокойных и слабо возмущённых геомагнитных условиях интенсивность любого высыпания не зависит от интенсивности предыдущих высыпаний. При исследовании наблюдавшихся с борта КА «Метеор-3М №1» стимулированных высыпаний резонансных электронов из внешнего радиационного пояса во время экспериментов по нагреву ионосферы,

проводившихся 19.04.2004-26.04.2004, соискатель обнаружила, что интенсивность высыпания возрастала с ростом геомагнитной активности.

Достоверность результатов диссертации обеспечивают представительные выборочные совокупности с достаточной статистикой событий высыпаний высокоэнергичных электронов, основанной на данных, полученных с использованием штатной аппаратуры метеорологического КА «Метеор 3М №1». Теория, использованная при интерпретации результатов спутниковых наблюдений с борта КА «Метеор-3М №1» стимулированных экспериментами по нагреву ионосферы 19.04.2004-26.04.2004 высыпаний резонансных электронов из внешнего радиационного пояса, построена на известных, проверенных фактах физики полностью ионизованной плазмы и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации.

Научная и практическая значимость результатов диссертации заключается в выявлении геофизических условий, способствующих высыпаниям электронов внешнего радиационного пояса в атмосферу, а также в расчёте вероятности событий высыпаний при скорости счёта, попадающей в заданный интервал, что может быть использовано разработчиками космической техники при оценке различных рисков и разработке стратегий по их снижению.

Что касается недостатков диссертации, то мне кажется, что работа М.Д. Зинкиной только выиграла бы, если кроме статистики, основанной на данных бортовых наблюдений отечественного метеорологического спутника «Метеор-3М №1», она привлекла бы к анализу и данные аналогичных зарубежных спутниковых наблюдений. Хотя эти наблюдения выполнены другими датчиками ионизирующих излучений, а соответствующая кросскалибровка – это совсем не простая задача, всё же проведение такого сравнения заслуживает внимания и представляется мне одним из путей продолжения и развития исследований М.Д. Зинкиной. Есть и замечания чисто редакционного характера – например, было бы лучше, если бы та или иная физическая величина сохраняла бы одно и то же обозначение везде в тексте диссертации.

Перечисленные недостатки не снижают общего высокого научного уровня диссертации, в которой решена актуальная задача статистического исследования по данным бортовых измерений КА «Метеор-3М №1» событий высыпаний энергичных электронов в атмосферу, как в естественных условиях, так и в условиях антропогенного воздействия на внешний радиационный пояс Земли. Новые научные результаты, полученные автором, вносят вклад в развитие представлений о деталях пространственно-временных характеристик радиационной нагрузки на верхнюю атмосферу со стороны внешнего радиационного пояса. Разработанные в диссертации подходы можно рекомендовать для использования в ИПГ, ЦНИИмаш, РКС при разработке научно-технического и методологического обеспечения анализа, направленного на выявление геофизических условий, способствующих высыпаниям электронов внешнего радиационного пояса в атмосферу, оценку параметров

