

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ имени Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНА**

В.О. Барина, А.В. Богомолов, В.В. Калегаяев, И.Н. Мягкова, М.И. Панасюк,
Д.А. Парунакян, И.А. Рубинштейн, М.О. Рязанцева, Л.И. Старостин

**ДИНАМИКА ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА
ЗЕМЛИ В НОЯБРЕ 2009 ГОДА ПО ДАННЫМ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ПРОВОДИВШИХСЯ НА ИСЗ
«КОРОНАС-ФОТОН» И «МЕТЕОР- М №1»**

Препринт НИИЯФ МГУ № 2011- 9/873

Москва, 2011

УДК 550.385.4

В.О. Барина, А.В. Богомолов, В.В. Калегаяев, И.Н. Мягкова, М.И. Панасюк, Д.А.

Парунакян, И.А. Рубинштейн, М.О. Рязанцева, Л.И. Старостин

e-mail: irina@srd.sinp.msu.ru

**ДИНАМИКА ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ
В НОЯБРЕ 2009 ГОДА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ,
ПРОВОДИВШИХСЯ НА ИСЗ «КОРОНАС-ФОТОН» И «МЕТЕОР- М №1»**

Препринт НИИЯФ МГУ № 2011- 9/873

Аннотация.

По данным одновременных экспериментов, проводившихся в ноябре 2009 года на борту солнечной обсерватории «КОРОНАС-Фотон» и ИСЗ «Метеор-М №1» прослежена динамика внешнего радиационного пояса Земли на высотах 500-830 км во время малых геомагнитных возмущений. На основании анализа вариаций положения высокоширотной границы области захвата в магнитосфере Земли получена среднестатистическая форма высокоширотной границы внешнего радиационного пояса, характерная для спокойной магнитосферы.

V.O. Barinova, A.V. Bogomolov, V.V. Kalegaev, I.N. Myagkova., M.I. Panasyuk, D.A. Paranakian, M.O. Ryazantzeva, I.A. Rubinstein, L.I. Starostin

**DYNAMICS OF THE OUTER RADIATION BELT OF THE EARTH DURING
NOVEMBER 2009 BASED ON CORONAS-PHOTON AND METEOR-M №1
SATELLITES MEASUREMENTS**

Preprint MSU SINP № 2011- 9/873

Abstract

According to the simultaneous experiments carried out in November, 2009 onboard a solar observatory "CORONAS-PHOTON" and an artificial satellite «the Meteor N №1» dynamics of the outer radiation belt of the Earth at altitudes of 500-830 km is tracked during of low level of geomagnetic activity.. Location of external boundary of the outer radiation belt at low altitudes also was studied using data obtained on board CORONAS-Photon and Meteor-M №1 satellites.

Введение

Как известно, радиационные условия в околоземном космическом пространстве (ОКП) на малых (до 1000 км) высотах в периоды минимума солнечной активности (СА) определяются, главным образом, вариациями потоков энергичных электронов во внешнем радиационном поясе Земли (РПЗ). Мониторинг радиационных условий в околоземном пространстве важен для обеспечения безопасности пилотируемых космических полетов, предотвращения сбоев электронной аппаратуры при возрастаниях потоков релятивистских электронов внешнего РПЗ во время магнитных возмущений, например [1]. Несмотря на большое количество космических аппаратов, поставляющих информацию о динамике потоков заряженных частиц в ближнем космосе (ACE, GOES, POES и др.), проблема мониторинга потоков релятивистских электронов на малых высотах остается чрезвычайно актуальной до настоящего времени. Это связано еще и с тем, что до сих пор не существует общепринятой теории ускорения электронов в магнитосфере Земли до релятивистских энергий, которая бы достаточно полно описывала основные экспериментально обнаруженные особенности вариаций потоков электронов внешнего радиационного пояса Земли.

Эксперименты по исследованию динамики потоков электронов внешнего РПЗ проводились в разных странах разными научными группами фактически с момента его открытия и до сегодняшних дней - например, [2-5] и ссылки там. Хорошо известно, что внешний радиационный пояс Земли претерпевает резкие и быстрые изменения во время геомагнитных бурь [6-7]. Сильные вариации потоков релятивистских и субрелятивистских электронов происходят во время геомагнитных возмущений, вызванных приходом на орбиту Земли как корональных выбросов - например, [8-9], так и высокоскоростных потоков солнечного ветра - например, [10-13].

Размеры области захваченной радиации также чрезвычайно чувствительны к изменениям геомагнитной активности. Особенно это относится к высокоширотной границе внешнего РПЗ, расположенной в области магнитосферы, которая контролируется как геомагнитным полем, так и магнитосферными токовыми системами.

Динамика внешней границы внешнего РПЗ на сегодняшний день сравнительно плохо изучена, поскольку наблюдаемые при последовательных пролетах низкоорбитальных спутников вариации ее положения могут быть связаны как с долготным распределением геомагнитного поля, так и с уровнем геомагнитной активности. Использование данных измерений, полученных в экстремально спокойный

период солнечной активности, позволит выявить форму и положение высокоширотной границы внешнего радиационного пояса в геомагнитно-спокойных условиях.

В настоящей работе приводятся результаты анализа радиационных условий в околоземном космическом пространстве в ноябре 2009 года, полученные в одновременных экспериментах – на борту солнечной обсерватории «КОРОНАС-Фотон» и ИСЗ «Метеор-М №1».

Эксперименты

Российская солнечная обсерватория «КОРОНАС-Фотон», третий по счету КА серии КОРОНАС, работавший на орбите с марта по ноябрь 2009 года, и искусственный спутник Земли (ИСЗ) «Метеор-М №1», запущенный в октябре 2009 года и функционирующий по настоящее время имели полярные круговые орбиты (высота «КОРОНАС-Фотон» 550 км, наклонение 82.5 градуса, высота «Метеор-М №1» 832 км, наклонение 98.1 градус). Это позволило при помощи установленных на данных космических аппаратах приборах осуществлять мониторинг состояния внешнего радиационного пояса Земли на малых высотах.

Созданный в НИИЯФ МГУ прибор "ЭЛЕКТРОН-М-ПЕСКА", установленный на КА «КОРОНАС-Фотон», представлял собой четырехэлементный полупроводниковый телескоп, предназначенный для регистрации электронов, протонов, альфа-частиц и ядер группы CNO в ОКП методом «пробег – энергосвыделение», состоявший из двух параллельных телескопов. Подробное описание конструкции и принципов работы прибора "ЭЛЕКТРОН-М-ПЕСКА" приведены в работе [14].

Комплекс аппаратуры ГГAK-М, состоящий из полупроводниковых и сцинтилляционных детекторов, установленный на борту ИСЗ «Метеор-М №1» измеряет поток энергичных частиц: электронов с энергией 0.1 - 13 МэВ и протонов 1 - 260 МэВ.

Условия в межпланетном пространстве и вариации потока релятивистских электронов внешнего радиационного пояса Земли в октябре - ноябре 2009 года

Обстановку на Солнце и в магнитосфере Земли во второй половине октября – ноябре 2009 года можно охарактеризовать как крайне спокойную. На рисунке 1 на трех верхних панелях представлены: на панели а – среднечасовые значения параметров межпланетного магнитного поля (ММП) из базы данных OMNI (полученные на ИСЗ ACE, находящемся в точке либрации и пересчитанные для 1 астрономической единицы (AU) – взяты с сайта

Годдаровского центра космических полетов <http://cdaweb.gsfc.nasa.gov>), а именно полный вектор межпланетного магнитного поля B (тонкая пунктирная линия) и вертикальная составляющая вектора магнитного поля B_z (сплошная жирная линия), на панели б – скорость $V_{св}$ (сплошная жирная линия) и плотность n (тонкая пунктирная линия) солнечного ветра (СВ), в соответствии с данными ИСЗ ACE, на панели в - геомагнитные индексы Dst (сплошная жирная линия) и AE (тонкая пунктирная линия).

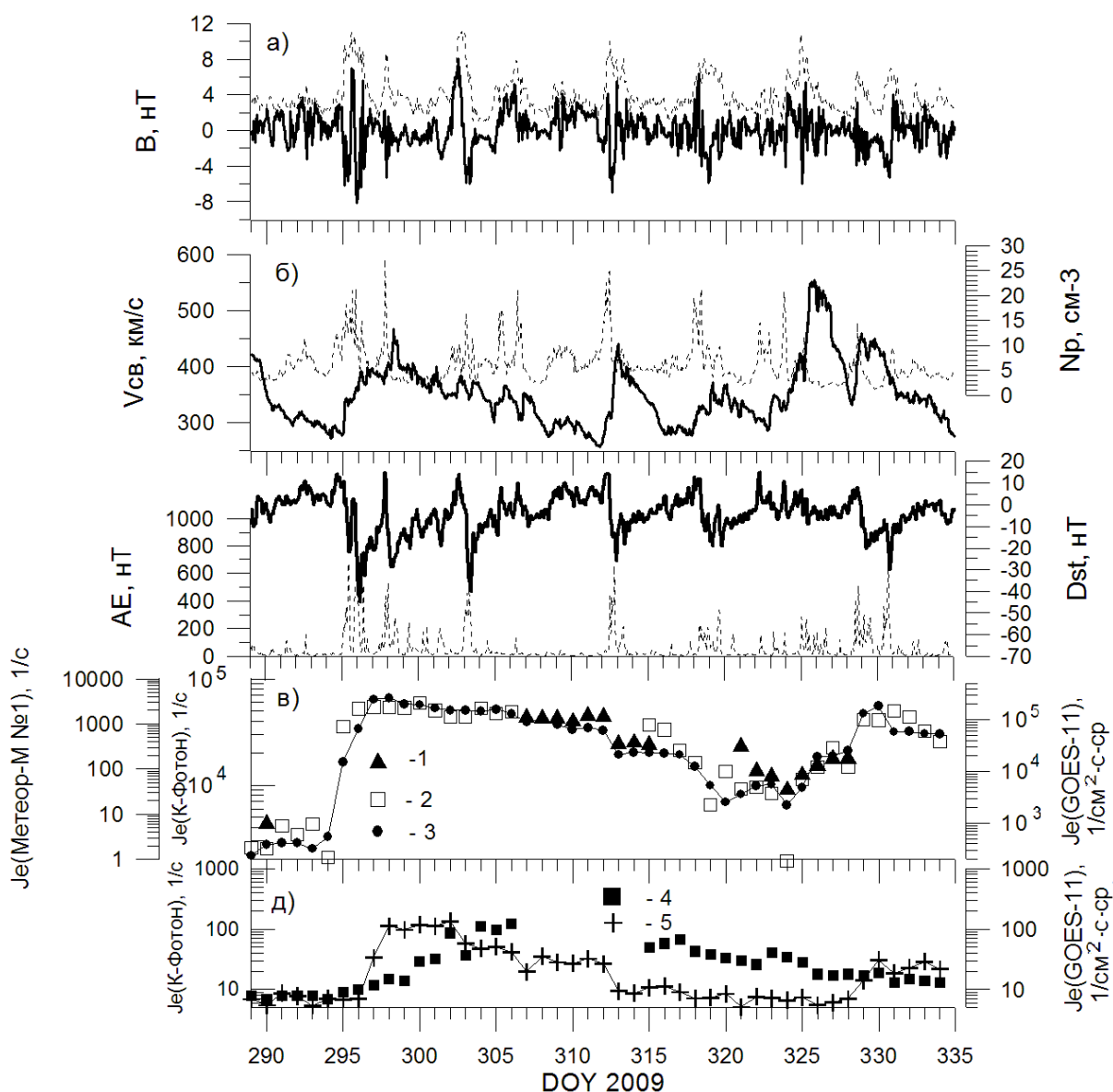


Рис. 1. Вариации параметров межпланетного магнитного поля, плазмы солнечного ветра (из базы данных OMNI, полученные на ИСЗ ACE, находящемся в точке либрации и пересчитанные для 1 астрономической единицы, геомагнитных индексов (из базы данных OMNI) и потоков энергичных электронов внешнего РПЗ по данным КОРОНАС-Фотон, «Метеор-М №1» и GOES-11 в октябре-ноябре 2009 г.

На двух нижних панелях рисунка 1 (в, г) приведены максимальные потоки за сутки электронов во внешнем радиационном поясе Земли (для КА с полярными орбитами данные брались для южного полушария в области минимального значения магнитного поля B в разных диапазонах энергий на разных высотах. На панели г открытыми квадратами представлены скорости счета электронов с энергиями 200-1000 кэВ на высоте 550 км по данным «КОРОНАС-Фотон», черными треугольниками - электронов с энергиями >100 кэВ на высоте ≈ 830 км по данным «Метеор-М №1» и черными точками, соединенными тонкой сплошной линией, скорости счета электронов с энергией >600 кэВ на геостационарной орбите по данным ИСЗ GOES-11 за период времени с 16 октября по 30 ноября 2009 г. На нижней панели (д) представлены скорости счета электронов с энергией 1-4 МэВ, измеренные на «КОРОНАС-Фотон» (черные квадраты) и потока электронов с энергией выше 2 МэВ на геостационарной орбите по данным GOES (жирные кресты).

Как видно из рисунка 1, максимальные значения геомагнитных параметров Dst - вариации и Kp -индекса ($Dst=-45$ нТл и $Kp=4$) наблюдались в ночь с 22 на 23 октября 2009 г. (с 295 на 296 день 2009 года – DOY). При этом скорость солнечного ветра (СВ) не превышала 400 км/с 23 октября (до 400 км/с она возросла от 290 км/с за несколько часов 23 октября), а максимального значения (490 км/с) скорость СВ достигла 25 октября. Минимальное значение Bz ММП составило всего -8 нТ.

Из панели г рисунка 1 хорошо видно, что при сравнительно небольшом геомагнитном возмущении произошло возрастание потоков электронов с энергией в сотни кэВ более, чем на порядок, как на низких орбитах («КОРОНАС-Фотон» и «Метеор-М №1»), так и на геостационарной (GOES-11). Данных измерений на КА «Метеор-М №1» непосредственно в момент роста потоков электронов в конце октября не было, поскольку на тот момент КА «Метеор-М №1» функционировал в отладочном режиме. Но сравнение его данных о скоростях счета электронов с энергией выше 100 кэВ до возрастания (17 октября, 290 день года) и через 10 дней после возрастания (306 день) также показывают рост примерно на порядок.

Панель д рисунка 1 показывает, что поток релятивистских электронов вырос более, чем на 2 порядка на геостационарной орбите (по данным GOES-11) и более, чем на порядок на высоте 550 км («КОРОНАС-Фотон»). При этом возрастания потоков электронов как с энергиями > 2 МэВ на геостационарной орбите (GOES-11), так и с энергиями 1-4 МэВ на высоте 550 км («КОРОНАС-Фотон») начались практически одновременно, но на малых высотах рост потоков релятивистских электронов был значительно более медленным, и своего максимума скорости счета на малых высотах

(«КОРОНАС-Фотон») достигли на несколько дней позже по сравнению с максимумом потока релятивистских электронов на геостационарной орбите (GOES-11). При этом возрастание субрелятивистских электронов на «КОРОНАС-Фотон» и на GOES-11 и началось, и достигло максимума практически одновременно. Хотя синхронность достижения максимума возрастания потоков суб-релятивистских электронов на GOES-11 и «КОРОНАС-Фотон», может быть связана еще и с разницей минимальной энергии регистрируемых электронов - 200 кэВ на 550 км («КОРОНАС-Фотон»), и 600 кэВ на геостационарной орбите (GOES-11), поскольку возрастание частиц меньших энергий начинается раньше.

Далее на 312-313 день 2009 года (8-9 ноября) по данным КА «Метеор-М №1» мы видим падение скоростей счета электронов с энергиями >100 кэВ, произошедшее синхронно с падением потоков электронов с энергиями >600 кэВ на GOES-11. Данные «КОРОНАС-Фотон» для этого периода времени, к сожалению, отсутствовали из-за проблем с телеметрией. Мы предполагаем, что данное падение было вызвано магнитным возмущением ($Dst=-26$ нТ), связанным с приходом к Земле солнечного ветра из корональной дыры со скоростью около 450 км/с.

Далее все три эксперимента (GOES-11, «КОРОНАС-Фотон» и «Метеор-М №1») демонстрируют синхронное возрастание потоков субрелятивистских энергий, начавшееся на 324 день 2009 года (20 ноября), которое мы связываем с приходом следующего потока солнечного ветра со скоростью до 550 км/с (хотя этот поток не вызвал значимых возмущений в магнитосфере Земли – 20-21 ноября 2009 Dst оставалось в пределах ± 10 нТ, амплитуда АЕ-индекса не превысила 200 нТ). При этом следующее малое возмущение магнитного поля Земли произошло 4 дня спустя (после прихода потока солнечного ветра с меньшей скоростью – до 250 км/с).

После этого возмущения картина возрастания потоков на геостационарной орбите (GOES-11) и малых высотах («КОРОНАС-Фотон», данные «Метеор-М №1», к сожалению, отсутствовали) выглядела по-разному – на геостационарной орбите было зафиксировано возрастание потока релятивистских электронов, хотя и значительно меньшей амплитуды, чем в конце октября, всего в 3-4 раза. Возрастания же скоростей счета электронов с энергиями 1-4 МэВ на орбите КА «КОРОНАС-Фотон» в данный временной период (до 30 ноября 2009 года, когда КА прекратил свою работу) зафиксировано не было.

Положение высокоширотной границы внешнего РПЗ во время экстремально спокойных геомагнитных условий

Для анализа положения высокоширотной границы внешнего радиационного пояса Земли во время экстремально-спокойных геомагнитных условий, имевших место в 2009 году и в особенности в конце этого года, был разработан численный метод, который позволяет автоматически определять на траектории космического аппарата ионосферные координаты точек пересечения с высокоширотной границей внешнего РПЗ. На рис. 2 в географических координатах черными квадратами представлены пересечения этой границы на высоте орбиты ИСЗ «КОРОНАС-Фотон» в северном полушарии в ноябре 2009 года, полученные при анализе данных о потоках электронов с энергиями >200 кэВ, открытыми кружочками - аналогичные данные по измерениям спутником «Метеор-М №1» электронов с энергиями >100 кэВ.

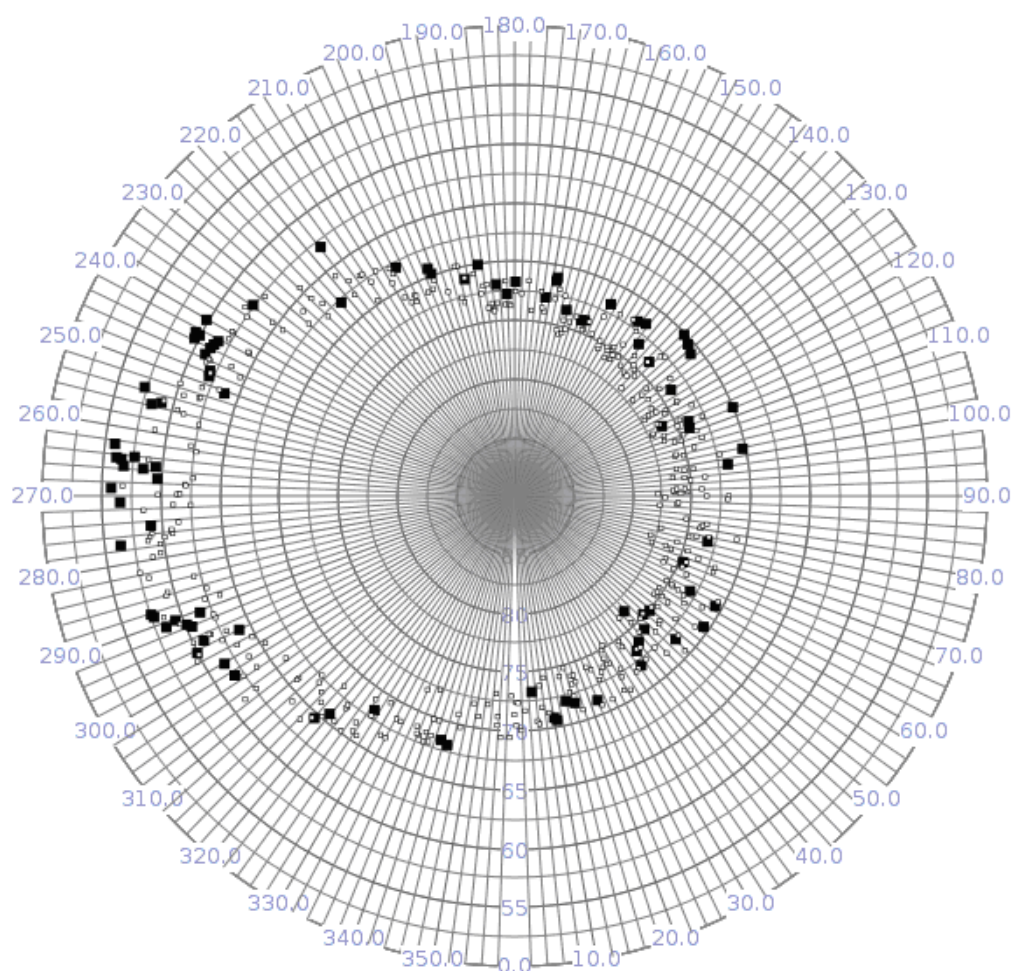


Рис. 2. Высокоширотная граница внешнего РПЗ в географических координатах по данным КОРОНАС-Фотон (черные квадраты) и Метеор-М №1 (открытые кружочки) в ноябре 2009 г.

Была выбрана северная полярная шапка, поскольку в южной шапке полярная граница пояса частично попадает в «мертвую зону», то есть область, где спутник никогда не пролетает. Из-за того, что исследуемый период времени характеризовался фактически минимальной интенсивностью пояса, непрерывные данные, позволяющие отследить полярную границу внешнего радиационного пояса по «Метеор-М №1» имелись только для самого младшего канала (> 100 кэВ).

Из рисунка 2 видно, что среднее положение границы на данных высотах имеет форму овала. Положение овала на уровне ионосферы определяется особенностями главного магнитного поля Земли: положением северного магнитного полюса и интенсивностью его недипольных гармоник. Разброс точек для измерений на каждом спутнике составляет около 5 градусов, что свидетельствует о незначительном внешнем воздействии на магнитосферу. Наблюдается хорошее соответствие формы полученных по данным измерений двух спутников границ захваченной радиации. Изменение положения исследуемой границы связано с энергией частиц: граница для частиц меньших энергий - Метеор-М №1, >100 кэВ - локализована к полюсу от границы частиц больших энергий, «КОРОНАС-Фотон», >200 кэВ. В исследованном случае сдвиг составил около 2° по широте.

Обсуждение

При детальном анализе рисунка 1 обращает на себя внимание тот факт, что потоки солнечного ветра из корональных дыр, достигавшие Земли в течение второй половины ноября 2009 года, не вызвали сильных вариаций потока релятивистских электронов ни на геостационарной орбите (GOES-11), ни на малых высотах («КОРОНАС-Фотон») в первом случае (20 ноября), и привели только к небольшому возрастанию на геостационарной орбите (GOES-11), без возрастания на малых высотах (25 ноября), что было подробно описано в разделе III. При этом синхронное возрастание потоков субрелятивистских электронов и на «КОРОНАС-Фотон», и на GOES-11 началось после первого возмущения и продолжилось после второго. Следует отметить, что амплитуды скорости СВ, *Dst*-вариации и *AE*-индекса второй половины ноября 2009 года слабо отличались от значений, наблюдавшихся в конце октября. Следовательно, возникает вопрос: что помешало электронам ускориться до релятивистских энергий во время возмущений второй половины ноября 2009 года (или привело к большим темпам потерь по сравнению с ускорением), а также привело к разной картине возрастаний потоков релятивистских

электронов на геостационарной (GOES-11) и низкой полярной («КОРОНАС-Ф») орбитах. Рассмотрим, какие физические явления могли стать источниками ускорения и потерь релятивистских и суб-релятивистских электронов внешнего радиационного пояса Земли в рассматриваемый период.

На сегодняшний день считается установленным, что основными процессами, играющими роль в ускорении электронов внешнего РПЗ являются радиальная диффузия [12, 15-18] и локальный нагрев при взаимодействиях волна-частица, например, [19-22]. Потери частиц связываются с высыпаниями электронов внешнего РПЗ в верхнюю атмосферу в результате взаимодействия волна-частица – EMIC [23], хоры [24] плазмосферные шипения [25]. Радиальная диффузия в направлении от Земли также может приводить к потерям электронов во внешнем РПЗ [26]. В работе [27] было проведено сопоставление магнитных бурь с возрастанием потоков релятивистских электронов $E > 2$ МэВ по среднечасовым данным геосинхронных спутников GOES и LANL с мощностью УНЧ волн диапазона Pc5 и показано, что мощность УНЧ волн диапазона Pc5 на фазе восстановления бури является наиболее точным указанием на появление релятивистских электронов. В работе [28] также показано, что во время бурь, сопровождавшихся ростом потоков релятивистских электронов во внешнем электронном поясе мощность УНЧ волн по наземным наблюдениям на порядок выше, чем во время бурь, когда резкого возрастания потоков электронов не наблюдалось. Точное значение амплитуды и продолжительность главной фазы бури менее существенны для динамики потоков релятивистских электронов. Мы предполагаем, что отсутствие значимых возрастных потоков релятивистских электронов во время магнитных возмущений второй половины ноября 2009 года было вызвано недостаточной мощностью УНЧ волн в данный период времени.

Это вывод согласуется как с нашими более ранними результатами [29], так и, например, с данными работы Потапова и Полюшкиной [30], где на основе анализа УНЧ-колебаний, наблюдавшихся 13–16 марта 2009 г. в солнечном ветре, магнитосфере и на земной поверхности, сделан вывод о прямом проникновении МГД-волн из межпланетной среды в магнитосферу. Тем не менее, для окончательных выводов требуется более детальный анализ на большом массиве данных.

Заключение

Анализ результатов одновременных измерений потоков релятивистских электронов на ИСЗ «КОРОНАС-Фотон» и «Метеор-М №1» показал, что связь резких возрастных потоков релятивистских электронов, как на геостационарной, так и на полярных орбитах

на разных высотах с приходом потоков солнечного ветра их корональных дыр не является однозначной - возрастание потоков релятивистских электронов на порядок и более наблюдалось только при одном (первом) из нескольких небольших увеличений геомагнитной активности, вызванных приходом на орбиту Земли потоков солнечного ветра. Мы связываем этот факт с тем, что мощность УНЧ волн во время первого высокоскоростного потока солнечного ветра из корональной дыры была достаточной для того, чтобы обеспечить ускорение электронов до релятивистских энергий.

Сравнение вариаций положения границы внешнего РПЗ по данным измерений спутника «КОРОНАС-Фотон» и «Метеор-М №1», выполненных в течение ноября 2009 г., в период аномально низкой геомагнитной активности показало, что с учетом разницы энергий регистрируемых частиц, полученные в обоих экспериментах данные согласуются между собой. Среднее положение границы, которое на поверхности Земли имеет форму овала, определялось, главным образом, геомагнитным полем, порожденным внутривоздушными токами. Мы проследили изменение положения исследуемой границы с энергией частиц. Было получено, что граница для частиц меньших энергий («Метеор-М №1», >100 кэВ) локализована к полюсу от границы частиц больших энергий («КОРОНАС-Фотон», >200 кэВ) со сдвигом около 2° по широте.

Выполненная работа показывает перспективность мониторинга радиационной обстановки в ОКП с одновременным использованием нескольких космических аппаратов.

Работа выполнена при поддержке ГК № 07.514.11.4020, РФФИ - грант 09-05-00798-а и гранта МК-1579.2010.2.

Литература

1. Романова Н.В., Пилипенко В.А., Ягова Н.В. и др. // Космические исследования. 2005. **43**. № 3. С. 186.
2. Williams D.J., Arens J.F., and Lanzerotti L.J. // J. Geophys. Res. 1968. **73**. P. 5673.
3. Вакулов П.В., Коврыгина Л.М., Минеев Ю.В. и др. // Геомагнетизм и аэрономия. 1975. **15**. № 6. С.1028.
4. Baker D.N., Blake J.B., Klebesadel R.W., et al. // J. Geophys. Res. 1986. Vol. **91**, № A4. P. 4265.
5. Кузнецов С.Н., Тверская Л.В. Модель космоса, Т. I, Физические условия в космическом пространстве. Глава 3.4 Радиационные пояса (под ред. проф. Панасюка М.И.) М., «Университет, Книжный дом». 2007. С.518-546.

6. *Friedel R. H. W., Reeves G. D. and Obara T. // J. Atmos. Solar-Terrestrial Phys.* 2002. **64**. 265.
7. *Reeves G.D. // Geophys. Res. Lett.* 1998. **25**. № 11. P. 1817.
8. *Панасюк М.И., Кузнецов С.Н., Лазутин Л.Л. и др. // Космические Исследования.* 2004. **42**. № 5, С. 509.
9. *Gopalswamy N. // Astron. Astrophys.* 2006. **27**. 243.
10. *Paulikas B. and Blake J. // "Quantitative Modeling of Magnetospheric Processes". Geophysical. Monograph Ser.* 1979. **21**. Ed. W. Olson. AGU, Washington, DC. P. 180.
11. *Безродных И.П., Шафер Ю.Г. // Космические исследования.* 1982. **20**. № 4. С. 639.
12. *Hilmer R. V., Ginet G. P. and Cayton T. E. // J. Geophys. Res.* 2000. **105**. P. A23,311
13. *Li X., Baker D. N., Temerin M. et al.// Space Weather.* 2005. **3**, P. S04001. doi:10.1029/2004SW000105
14. *Денисов Ю.И., Калегаев В.В., Мягкова И.Н. и др. // Астрономический вестник.* 2011. **45**. №3. С.206.
15. *Falthammar, C. G. // J. Geophys. Res.* 1965. **70**. №11. P. 2503. doi:10.1029/JZ070i011p02503.
16. *Тверской Б.А.* 1968. Динамика радиационных поясов. М. Наука. С. 223
17. *Selesnick R. S. and Blake J. B. // J. Geophys. Res.* 2000. **105**. P. A2,2607. doi:10.1029/1999JA900445.
18. *Brautigam D. H. and Albert J. M. // J. Geophys. Res.* 2000. **105**. P. A1,291. doi:10.1029/1999JA900344.
19. *Horne, R.B. and Thorne R. M. // Geophys. Res. Lett.* 1998. **25**. №15. 3011.
20. *Summers D., Thorne R. M. and Xiao F. // J. Geophys. Res.* 1998. **103**. P. A920,487.
21. *Meredith, N. P., Horne R. B., Iles R. H. A. et al. // J. Geophys. Res.* 2002. **107**. P. A71144. doi:10.1029/2001JA900146.
22. *Li W., Shprits Y. Y. and Thorne R. M. // J. Geophys. Res.* 2007. **112**. P. A10220, doi:10.1029/2007JA012368
23. *Summers D. and Thorne R. M. // J. Geophys. Res.* 2003. 108. P. A41143, doi:10.1029/2002JA009489.
24. *Shprits Y. Y., Meredith N. P. and Thorne R. M. // Geophys. Res. Lett.* 2007. **34**. P. L11110, doi:10.1029/2006GL029050.
25. *Meredith N. P., Horne R. B., Glauert S. A et al. // J. Geophys. Res.* 2006. **111**. P. A05212, doi:10.1029/2005JA011516.
26. *Shprits Y. Y., Thorne R. M., Friedel R. et al. // J. Geophys. Res.* 2006. **111**. P. A11214, doi:10.1029/2006JA011657.

27. *O'Brien T.P., McPherr, R. L.; Sornette D. et al. // J. Geophys. Res. 2001. 1066. P. 15533.*
28. *Mathie R. A., and Mann I. R. // Geophys. Res. Lett. 2000. 27. P. 3261.*
29. *Мягкова И.Н., Панасюк М.И., Денисов Ю.И. и др. // Труды конференции «Год астрономии: Солнечная и солнечно-земная физика». 2009. С-Пб. ГАО. С. 313.*
30. *Потапов А.С. и Полюшкина Т.Н. // Солнечно-земная физика. Вып. 15. 2010. С. 28.*

В.О. Барина, А.В. Богомолов, В.В. Калегаяев, И.Н. Мякова, М.И. Панасюк,
Д.А. Парунакян, И.А. Рубинштейн, М.О. Рязанцева, Л.И. Старостин

ДИНАМИКА ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ В
НОЯБРЕ 2009 ГОДА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ,
ПРОВОДИВШИХСЯ НА ИСЗ «КОРОНАС-ФОТОН» И
«МЕТЕОР- М №1»

Препринт НИИЯФ МГУ № 2011- 9/873

Работа поступила в ОНТИ 15.11.2011