

Динамика внешнего радиационного пояса Земли в ноябре 2009 г. по данным экспериментов, проводившихся на ИСЗ «КОРОНАС-Фотон» и «МЕТЕОР-М № 1»

В. О. Баринова, А. В. Богомолов, В. В. Калегаев, И. Н. Мягкова^а, М. И. Панасюк, Д. А. Парунакян, И. А. Рубинштейн, М. О. Рязанцева, Л. И. Старостин

Научно исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ).

Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.

E-mail: ^аirina@srd.sinp.msu.ru

Статья поступила 31.05.2011, подписана в печать 06.07.2011

По данным одновременных экспериментов, проводившихся в ноябре 2009 г. на борту ИСЗ «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.

Ключевые слова: электроны, радиационные пояса Земли, солнечный ветер.

УДК: 550.385.4. PACS: 92.60.hw, 94.30.Xy, 96.60.Vg.

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 (см., например, [2–5] и цит. лит.). 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 (см., например, [8–9]), так и высокоскоростных потоков солнечного ветра (см., например, [10–13]).

Что касается влияния электронов, образовавшихся в солнечных вспышках, на состояние околоземного космического пространства, то основное повышение их потока на малых (в частности, 500–830 км) высотах после мощных вспышек наблюдается в полярных шапках, т. е. в области открытых силовых линий. Значимого влияния вспыхивающих электронов, приходящих на орбиту Земли, на динамику потоков релятивистских электронов внешнего радиационного пояса (в отсутствие геомагнитных возмущений), согласно данным работы [14], в которой нами были проанализированы данные эксперимента на борту ИСЗ «КОРОНАС-Ф» с августа 2001 по июнь 2005, обнаружено не было.

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 г., полученные в одновременных экспериментах — на борту солнечной обсерватории «КОРОНАС-Фотон» и ИСЗ «Метеор-М № 1».

1. Эксперименты

Российская солнечная обсерватория «КОРОНАС-Фотон», третий по счету космический аппарат (КА)

серии «КОРОНАС», работавший на орбите с марта по ноябрь 2009 г., и искусственный спутник Земли (ИСЗ) «Метеор-М № 1», запущенный в октябре 2009 г. и функционирующий по настоящее время, имели полярные круговые орбиты (высота «КОРОНАС-Фотон» 550 км, наклонение 82.5° , высота «Метеор-М № 1» 832 км, наклонение 98.1°). Это позволило при помощи установленных на данных космических аппаратах приборов 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 с энергиями 200 кэВ — 1 МэВ, 1–4 МэВ и > 4 МэВ, а также протонов (4–16, 16–28, 41–55, > 80 МэВ), альфа-частиц (5–16, 16–24 МэВ/нуклон) и ядер группы CNO (6–15 МэВ/нуклон) в ОКП методом «пробег-энерговыведение», состоявший из двух параллельных телескопов. Подробное описание

конструкции и принципов работы прибора «ЭЛЕКТРОН-М-ПЕСКА» приведены в работе [15].

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

2. Условия в межпланетном пространстве и вариации потока релятивистских электронов внешнего радиационного пояса Земли в октябре–ноябре 2009 г.

Обстановку на Солнце и в магнитосфере Земли во второй половине октября — ноябре 2009 г. можно охарактеризовать как крайне спокойную. На рис. 1 на трех верхних панелях представлены: на панели *a* — среднечасовые значения параметров межпланетного магнитного поля (ММП) из базы данных OMNI (полученные на ИСЗ «АСЕ», находящемся в точке либрации), и пересчитанные для 1 астрономической единицы (AU) — взяты с сайта Годдардовского центра космических полетов

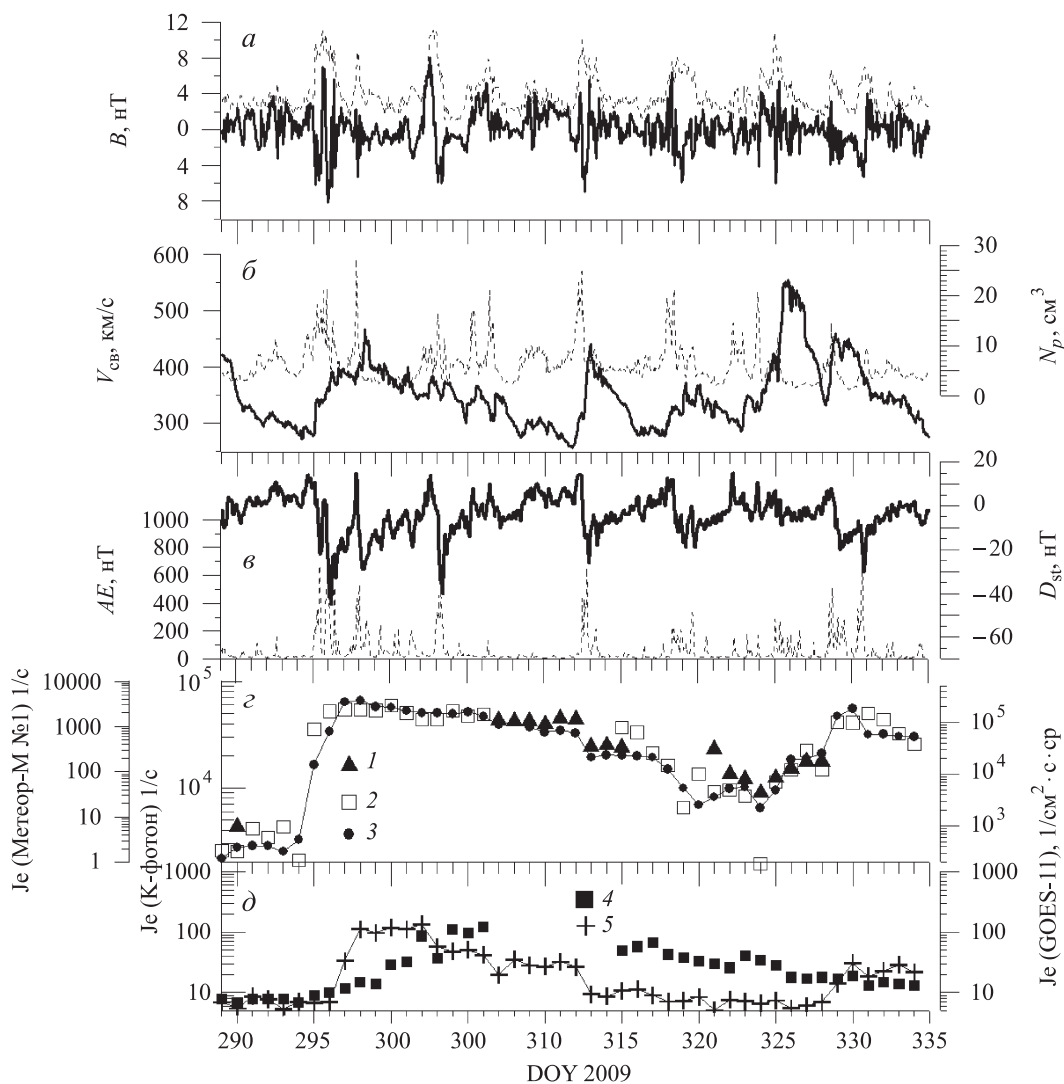


Рис. 1. Вариации параметров межпланетного магнитного поля, плазмы солнечного ветра (из базы данных OMNI, полученные на ИСЗ «АСЕ», находящемся в точке либрации), и пересчитанные для 1 астрономической единицы, геомагнитных индексов (из базы данных OMNI) и потоков энергичных электронов внешнего РПЗ по данным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

<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 b — скорость V_{sw} (сплошная жирная линия) и плотность n (тонкая пунктирная линия) солнечного ветра (СВ), в соответствии с данными ИСЗ ACE, на панели b — геомагнитные индексы D_{st} (сплошная жирная линия) и AE (тонкая пунктирная линия). На двух нижних панелях рис. 1, v , g 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 g 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 с 16 октября по 30 ноября 2009 г. На нижней панели (d) 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 рис. 1, максимальные значения геомагнитных параметров D_{st} -вариации и Кр-индекса ($D_{st} = -45$ нТл и $Kp = 4$) наблюдались в ночь с 22 на 23 октября 2009 г. (с 295 на 296 день 2009 г. — DOY). При этом скорость солнечного ветра 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 B_z ММП составило всего -8 нТл.

Из рис. 1, g 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.

Из рис. 1, d следует, 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 ре-

лятивистских 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» началось и достигло максимума практически одновременно. Хотя синхронность достижения максимума возрастания потоков субрелятивистских 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 г. (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 ($D_{st} = -26$ нТл), 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 г. (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 г. D_{st} оставалось в пределах ± 10 нТл, амплитуда AE -индекса не превысила 200 нТл). 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 г., когда КА прекратил свою работу) зафиксировано не было.

3. 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 г. и в особенности в конце этого года, был разработан численный метод, который позволяет автоматически определять на траектории космического аппарата ионосферные координаты точек пересечения

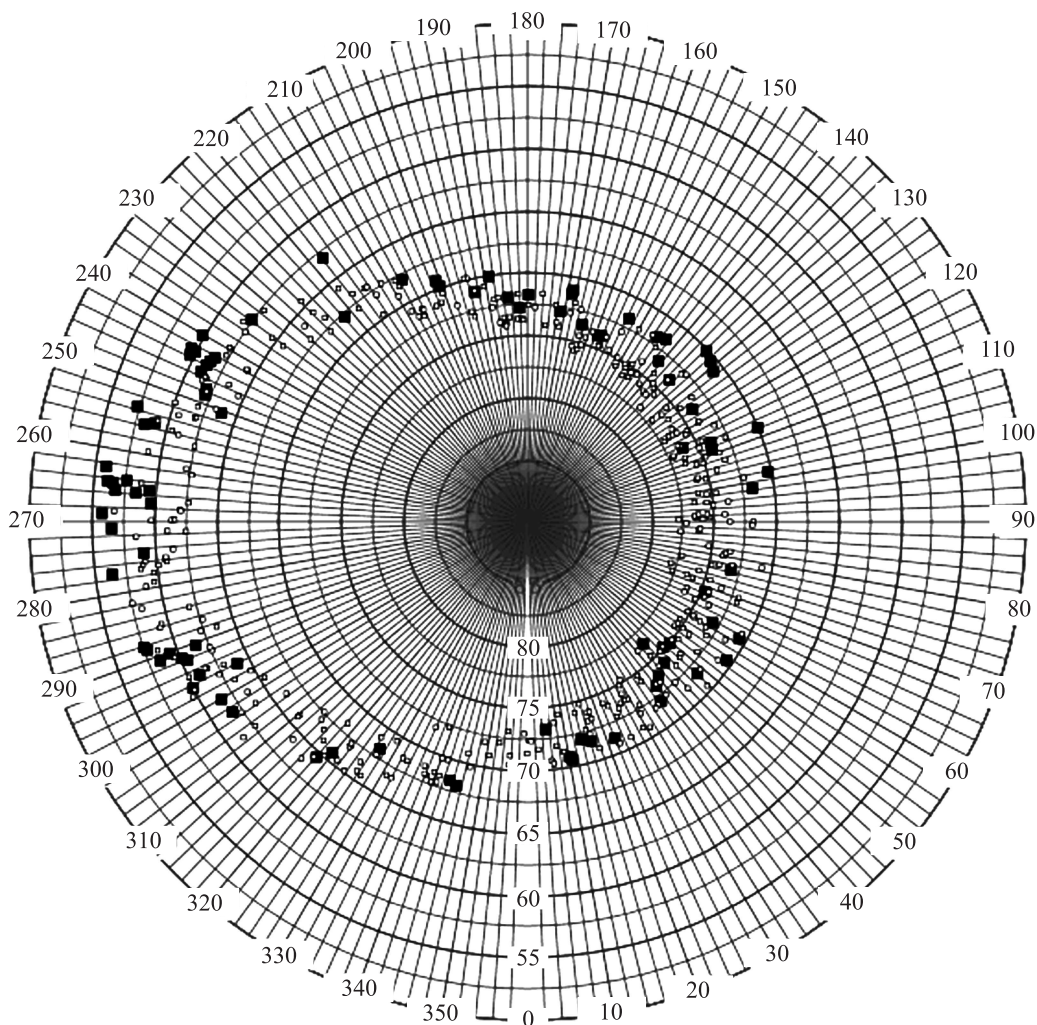


Рис. 2. Высокоширотная граница внешнего РПЗ в географических координатах по данным «КОРОНАС-Фотон» (черные квадраты) и «Метеор-М № 1» (открытые кружки) в ноябре 2009 г.

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 г., полученные при анализе данных о потоках электронов с энергиями > 200 кэВ, открытыми кружками — аналогичные данные по измерениям спутником «Метеор-М № 1» электронов с энергиями > 100 кэВ. Была выбрана северная полярная шапка, поскольку в южной шапке полярная граница пояса частично попадает в «мертвую зону», т.е. 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 рис. 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° , что свиде-

тельствует 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.

4. Обсуждение результатов

При детальном анализе рис. 1 обращает на себя внимание тот факт, что потоки солнечного ветра из корональных дыр, достигавшие Земли в течение второй половины ноября 2009 г., 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 3. При этом синхронное возрастание потоков субрелятивистских электронов и на «КОРО-

НАС-Фотон», и на «GOES-11» началось после первого возмущения и продолжилось после второго. Следует отметить, что амплитуды скорости СВ, D_{st} -вариации и АЕ-индекса второй половины ноября 2009 г. 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 возрастных 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 субрелятивистских 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, 16–19] и локальный нагрев при взаимодействиях волна–частица (см., например, [20–23]). Потери частиц связываются с высыпаниями электронов внешнего РПЗ в верхнюю атмосферу в результате взаимодействия волна–частица — ЕМІС [24], хоры [25], плазмосферные шипения [26]. Радиальная диффузия в направлении от Земли также может приводить к потерям электронов во внешнем РПЗ [27]. В работе [28] 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 [29] 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 г. было вызвано недостаточной мощностью УНЧ волн в данный период времени.

Это вывод согласуется как с нашими более ранними результатами [14], так и, например, с данными работы [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 внутриземными токами. Мы проследили изменение положения исследуемой границы с энергией частиц. Было установлено, 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 частичной финансовой поддержке РФФИ (грант 09-05-00798-а), гранта МК-1579.2010.2 и ГК № 07.514.11.4020.

Список литературы

1. Романова Н.В., Пилипенко В.А., Ягова Н.В. и др. // Космич. исследования. 2005. **43**, № 3. С. 186.
2. Williams D.J., Arens J.F., Lanzerotti L.J. // J. Geophys. Res. 1968. **73**. P. 5673.
3. Вакулов П.В., Коврыгина Л.М., Минеев Ю.В. и др. // Геомагнетизм и аэрномия. 1975. **15**, № 6. С. 1028.
4. Baker D.N., Blake J.B., Klebesadel R.W. et al. // J. Geophys. Res. 1986. **91**, N A4. P. 4265.
5. Кузнецов С.Н., Тверская Л.В. Модель космоса. Т. I. Физические условия в космическом пространстве. Гл. 3.4 «Радиационные пояса» / Под ред. проф. М. И. Панасюка. М., 2007. С. 518.
6. Friedel R.H.W., Reeves G.D., Obara T. // J. Atmos. Solar-Terrestrial Phys. 2002. **64**. P. 265.
7. Reeves G.D. // Geophys. Res. Lett. 1998. **25**, N 11. P. 1817.
8. Панасюк М.И., Кузнецов С.Н., Лазутин Л.Л. и др. // Космич. исследования. 2004. **42**, № 5. С. 509.
9. Gopalswamy N. // Astron. Astrophys. 2006. **27**. P. 243.
10. Paulikas V., Blake J. // Quantitative modeling of magnetospheric processes. Geophysical. Monograph Ser. 1979. **21** / Ed. by W. Olson. AGU, Washington, DC. P. 180.
11. Безродных И.П., Шафер Ю.Г. // Космич. исследования. 1982. **20**, № 4. С. 639.
12. Hilmer R.V., Ginet G.P., 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. *Мягкова И.Н., Панасюк М.И., Денисов Ю.И. и др. // Труды конф. «Год астрономии: Солнечная и солнечно-земная физика». СПб.: ГАО, 2009. С. 313.*
15. *Денисов Ю.И., Калегаев В.В., Мягкова И.Н. и др. // Астрон. вестн. 2011. 45, № 3. С. 206.*
16. *Falthammar, C.G. // J. Geophys. Res. 1965. 70, N 11. P. 2503; doi:10.1029/JZ070i011p02503.*
17. *Тверской Б.А. Динамика радиационных поясов. М., 1968.*
18. *Selesnick R.S., Blake J.B. // J. Geophys. Res. 2000. 105. P. A22607; doi:10.1029/1999JA900445.*
19. *Brautigam D.H., Albert J.M. // J. Geophys. Res. 2000. 105. P. A01291; doi:10.1029/1999JA900344.*
20. *Horne, R.B., Thorne R.M. // Geophys. Res. Lett. 1998. 25, N 15. P. 3011.*
21. *Summers D., Thorne R. M., Xiao F. // J. Geophys. Res. 1998. 103. P. A920487.*
22. *Meredith N.P., Horne R.B., Iles R.H.A. et al. // J. Geophys. Res. 2002. 107. P. A71144; doi:10.1029/2001JA900146.*
23. *Li W., Shprits Y.Y., Thorne R.M. // J. Geophys. Res. 2007. 112. P. A10220; doi:10.1029/2007JA012368.*
24. *Summers D., Thorne R.M. // J. Geophys. Res. 2003. 108. P. A41143; doi:10.1029/2002JA009489.*
25. *Shprits Y.Y., Meredith N.P., Thorne R.M. // Geophys. Res. Lett. 2007. 34. P. L11110; doi:10.1029/2006GL029050.*
26. *Meredith N.P., Horne R.B., Glauert S.A. et al. // J. Geophys. Res. 2006. 111. P. A05212; doi:10.1029/2005JA011516.*
27. *Shprits Y.Y., Thorne R.M., Friedel R. et al. // J. Geophys. Res. 2006. 111. P. A11214; doi:10.1029/2006JA011657.*
28. *O'Brien T.P., McPherr R.L., Sornette D. et al. // J. Geophys. Res. 2001. 106. P. A815533.*
29. *Mathie R.A., Mann I.R. // Geophys. Res. Lett. 2000. 27. P. 3261.*
30. *Потапов А.С., Полюшкина Т.Н. // Солнечно-земная физика. 15. 2010. С. 28.*

Dynamics of the outer radiation belt of the Earth during November 2009 based on CORONAS-Photon and Meteor-M No. 1 satellites measurements

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

D. V. Skobel'syn Research Institute of Nuclear Physics, M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia.

E-mail: ^airina@srd.sinp.msu.ru.

According to the simultaneous experiments carried out in November, 2009 onboard the solar observatory CORONAS-Photon and the artificial satellite Meteor M No. 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 No. 1 satellites.

Keywords: electrons, radiation belts of Earth, solar wind.

PACS: 92.60.hw, 94.30.Xy, 96.60.Vg.

Received 31 May 2011.

English version: *Moscow University Physics Bulletin* 6(2011).

Сведения об авторах

1. Баринова Вера Олеговна — мл. науч. сотрудник; тел.: (495) 939-19-15, email: alisawera@gmail.com.
2. Богомолов Андрей Владимирович — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; тел.: (495) 939-51-60, e-mail: aabboogg@rambler.ru.
3. Калегаев Владимир Владимирович — докт. физ.-мат. наук; тел.: (495) 939-19-15, e-mail: klg@dec1.sinp.msu.ru.
4. Мягкова Ирина Николаевна — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; тел.: (495) 939-44-87, e-mail: irina@srd.sinp.msu.ru.
5. Панасюк Михаил Игоревич — докт. физ.-мат. наук, профессор, директор НИИЯФ; тел.: (495) 939-18-18, e-mail: panasyuk@sinp.msu.ru.
6. Парунакян Давид Алексеевич — программист; тел.: (495) 939-19-15, e-mail: jaffar-rumith@gmail.com.
7. Рубинштейн Илья Александрович — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; тел.: (495) 939-18-20, e-mail: iarubinst@mail.ru.
8. Рязанцева Мария Олеговна — канд. физ.-мат. наук, науч. сотрудник; тел.: (495) 939-28-10, e-mail: orearm@gmail.com.
9. Старостин Лев Иванович — программист; тел.: (495) 939-25-48, e-mail: levira.star@mail.ru.