



Российская Академия Наук

ИКИ

ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

ДВЕНАДЦАТАЯ
ЕЖЕГОДНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ

**ФИЗИКА
ПЛАЗМЫ
В СОЛНЕЧНОЙ
СИСТЕМЕ**

**6-10
ФЕВРАЛЯ
2017**



Т Е З И С Ы

Москва
2017



Российская Академия Наук

ИКИ

ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

ДВЕНАДЦАТАЯ
ЕЖЕГОДНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ

**ФИЗИКА
ПЛАЗМЫ
В СОЛНЕЧНОЙ
СИСТЕМЕ**

**6-10
ФЕВРАЛЯ
2017**

Т Е З И С Ы

Москва
2017

секция ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЦА

ЗАРОЖДЕНИЕ БИПОЛЯРНОЙ МАГНИТНОЙ ОБЛАСТИ И МОДЕЛЬ ВСПЛЫВАЮЩЕЙ ТРУБКИ

А.В. Гетлинг

НИИЯФ МГУ, г.Москва, Россия, A.Getling@mail.ru

По данным наблюдений на инструменте Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) Обсерватории солнечной динамики (Solar Dynamics Observatory, SDO) изучается эволюция активных областей (АО). Цель работы – поиск физического механизма пятнообразования и, в частности, прояснение вопроса об адекватности модели всплывающей трубки (МВТ) сильного магнитного поля. Для этого используются одновременно регистрируемые в выбранной АО магнитные поля и поля скоростей, а именно, Spaceweather HMI Active Region Patches (SHARPs) – оптические изображения, доплеровграммы и полновекторные магнитные поля (последние автоматически рассчитываются в цилиндрической равновеликой проекции Ламберта), – а также картины горизонтальных течений, получаемые по оптическим изображениям с помощью процедуры, аналогичной локальному корреляционному трассированию.

В частности, проанализированы данные наблюдений АО 12548 20–26 мая 2016 г. Удалось заметить первичное зарождение группы пятен: с точностью до нескольких минут выделен момент, когда полярность одного из двух близко расположенных магнитных элементов «хвостовой» полярности меняется на противоположную («головную»), после чего из этих элементов развивается биполярная группа пятен. В дальнейшем пятна развиваются как изолированные компактные образования с «фонтанообразной» структурой магнитных полей, и между ними не прослеживается присутствия сильного горизонтального поля, которое обязательно присутствовало бы, если бы в этом месте всплывала вершина петли силовой трубки. Отсутствуют также заметные вертикальные потоки вещества между растущими головным и хвостовым пятном группы. Более того, мелкомасштабные восходящие и нисходящие течения там перемешаны, и на начальном этапе эволюции преобладают нисходящие. Таким образом, подобная картина эволюции АО находится в резком противоречии с очевидными следствиями всплывания петли трубки.

НАБЛЮДАЕМАЯ АСИММЕТРИЯ ФОРМЫ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

Е.А. Илларионов, А.Г.Тлатов

Мехмат МГУ, КалмГУ, Россия, egor.mypost@gmail.com

В работе представлены результаты анализа геометрической формы солнечных пятен и ее ключевых характеристик, таких как ориентация и вытянутость. Анализ основывается на статистической обработке многолетней серии наблюдений солнечных пятен. Форма солнечных пятен изучалась на основе метода нормировки изображений солнечных пятен, позволяющего получать средний профиля пятна и относительное положение ядер. С помощью предложенного метода исследовано отклонение формы солнечных пятен от осесимметричной конфигурации. Обнаружено, что пятна ведущей и хвостовой полярности имеют каплевидную форму. При этом, ядра ведущих солнечных пятен смещены к западному, а хвостовых к восточному краю границы фотосфера-полутень. Напряженность магнитных полей ядер ведущих пятен в восточном полушарии превышает напряженность полей в западном полушарии. Рассмотрен наклон оси, вдоль которой вытянуты пятна, в зависимости от размера. Обнаруживается, что форма пятен большой площади ($S > 1000$ м.д.п.) вытянута в направлении магнитной оси биполя группы солнечных пятен.

ВЫЯВЛЕНИЕ НОВЫХ МАГНИТНЫХ ПОТОКОВ НА СОЛНЦЕ ПО МАГНИТОГРАММАМ ПОЛНОГО ВЕКТОРА

А.А. Головки, И.И. Салахутдинова
ИСЗФ СО РАН, Россия, golovko@iszf.irk.ru

Создан усовершенствованный метод картографирования новых магнитных потоков на основе мультифрактального сегментирования магнитограмм полного вектора фотосферного магнитного поля, свободный от влияния эффектов проекции. Карты продольной компоненты поля H_z и двух поперечных компонент H_x , H_y обрабатываются отдельно и полученные сегментированные изображения суммируются. В результате, впервые получена детальная картина расположения новых потоков на текущий момент времени получения магнитограммы. В качестве наблюдательных данных, использованы магнитограммы SOT Hinode за 2006-2013 гг. Выполнена обработка данных наблюдений вспышечно-продуктивных активных областей NOAA №№ 11158, 11263, 11520, 11589. В периоды бурного развития, участки нового магнитного потока выстраиваются в ячеистые структуры. Холмы нового поля при их рождении имеют значительную вытянутость, вероятно связанную с их жгутовой геометрией. В очагах вспышек в окрестности линий раздела полярностей, выходы новых магнитных потоков чередуются с процессами гашения расположенных рядом потоков противоположных полярностей ("magnetic cancellation").

ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ НА СОЛНЦЕ NOAA 12242 ПЕРЕД ВСПЫШКОЙ X1.8 ПО ДАННЫМ РАТАН-600 И SDO/HMI

**В.Е. Абрамов-Максимов, В.Н. Боровик, Л.В. Опейкина, А.Г. Тлатов,
Л.В. Яснов**

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, beam@gao.spb.ru

Работа продолжает цикл работ авторов по исследованию активных областей (АО), в которых произошли большие вспышки (классов M5 и выше по рентгеновской классификации). Анализ микроволнового излучения и магнитографических характеристик АО в течение нескольких дней перед вспышкой проводится с целью выявления особенностей в развитии АО, указывающих на подготовку большой вспышки, что в дальнейшем может быть использовано для разработки методов прогноза таких вспышек. В данной работе исследована эволюция АО 12242, в которой произошла вспышка X1.8 (20.12.2014). Анализировалось микроволновое излучение АО по многоволновым многоазимутальным спектрально-поляризационным наблюдениям Солнца на РАТАН-600 и магнитографические характеристики по данным SDO/HMI. Выявлено развитие нового микроволнового источника над нейтральной линией фотосферного магнитного поля за день до вспышки. Вспышка произошла через 30 часов после того, как горизонтальный градиент магнитного поля в АО достиг максимального значения. Проводится сопоставление выявленных признаков подготовки X-вспышки в АО 12242 с результатами анализа других аналогичных эруптивных событий 2011-2015 гг.

НЕОБЫЧНОЕ СОЛНЦЕТРЯСЕНИЕ 10 МАЯ 2012 ГОДА И ОСОБЕННОСТИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ СО СЛОЖНОЙ ТОПОЛОГИЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

И.Ю. Григорьева, М.А. Лившиц

*ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия
ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия*

Изучаются явления в активных областях (АО) со сложной топологией магнитных полей на примере АО NOAA 11476. Изменение магнитного потока коррелирует с появлением многочисленных вспышек в различных частях этой АО. Обычно солнцетрясения возникают или в результате импульсного воздействия мощных пучков ускоренных частиц или горячей плазмы на плотные слои хромосферы, или с резким изменением вектора магнитного поля. В данном случае наблюдался промежуточный вариант со всплытием поля и одновременным импульсным всплеском в жестком рентгеновском и микроволновом излучении. Во вспышке в 04:11 UT, произошедшей в рассматриваемой АО 10 мая 2012 г., обнаружена перестройка системы силовых линий и бессиловых токов вдоль них в области вспышечного энерговыделения — эффект аналогичный обнаруженному ранее Шарыкиным и Косовичевым в 2015г. для АО в целом. Обсуждается предположение о том, что развитие исследуемой нами вспышки связано с влиянием сдвиговых движений в фотосфере, выносом спиральности в магнитной трубке и дальнейшим развитием неустойчивости тороидального плазменного шнура. Дополнительно в докладе рассматриваются другие вспышки C1.4, C7.9 и M1.7, также произошедшие в этот же день в этой же АО, в 00:10 UT, 05:04 UT и в 20:20 UT, соответственно. Вероятнее всего, сильная неустойчивость нестационарных процессов, характерная для этой области в период максимума ее развития, препятствовала окончательному формированию и усилению плазменного жгута с током, и развитию мощных вспышек типа сигмоида.

КОРОНАЛЬНЫЕ ДЖЕТЫ И ЭРУПТИВНЫЕ ПРОТУБЕРАНЦЫ: ЧТО ОБЩЕГО?

Б.П. Филиппов

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова (ИЗМИРАН), г. Москва (г. Троицк), Россия, bfilip@izmiran.ru

Явления извержения вещества из нижних слоев атмосферы Солнца в корону можно разделить на два класса. Первый характеризуется сохраняющейся, хотя и увеличивающейся в размерах, формой, обычно в виде петли, содержащей извергаемое вещество (эруптивные протуберанцы) или внезапным разлетом во всех направлениях достаточно бесформенных сгустков плазмы (вспышечные спреи). Второй класс представляет собой узкие коллимированных потоки плазмы различных масштабов (спикулы, серджи, джеты). Очевидно, что магнитные конфигурации, в которых развиваются эти явления, различны: в первом случае это замкнутые структуры, удерживающие плазму, а во втором – открытые силовые линии, направляющие потоки плазмы в определенную сторону, как правило, снизу вверх. Вместе с тем, механизм инициации явлений обоих классов может быть сходным или практически идентичным. Это неустойчивость скрученных магнитных трубок (магнитных жгутов), которая приводит к различным последствиям при различной конфигурации окружающего магнитного поля короны. Будут проанализированы наблюдения явлений обоих типов, рассмотрены условия их развития и предложены феноменологические модели.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЖПЯТЕННОГО ИСТОЧНИКА МИКРОВОЛННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В.Л. Мерзляков

ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, mvl@izmiran.ru

Предложено решение проблемы появления и длительного существования компактной горячей области над фотосферной нейтральной линией. В рамках модели дрейфового перемещения плазмы над активной областью удастся воспроизвести локальное уплотнение корональной плазмы. В случае достижения плотностей $>10^{11}$ см⁻³ при невысокой напряженности магнитного поля появляются «незамагниченные» протоны, которые создают локальный ток. Расчеты показали, что джоулев нагрев такого тока способен увеличить температуру плазмы в компактной области до 10^7 К. Компенсировать потери на проводимость в такой области и поддержание в ней высокой температуры возможно при относительном росте дипольного момента магнитного источника активной области не менее 10^{-5} сек⁻¹.

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИБИРСКОГО РАДИОГЕЛИОГРАФА

С.В. Лесовой, А.Т. Алтынцев, А.А. Кочанов, В.В. Гречнев

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Россия, svlesovoi@gmail.com

Регулярные наблюдения солнечной активности, начатые на Сибирском Радиогелиографе, показали новые возможности наблюдательной солнечной радиоастрономии. В полосе частот 4-8 ГГц теперь возможно наблюдать сверхслабые проявления солнечной активности на микроволнах. В докладе показываются примеры наблюдений всплесков микроволнового излучения, связанные с событиями класса В по классификации GOES, и примеры поглощения микроволнового излучения при экранировании компактных источников эруптивными протуберанцами.

Первая очередь Сибирского Радиогелиографа представляет собой 48-антенную эквидистантную Т-образную решетку, занимающую центральную часть антенных постов Сибирского солнечного радиотелескопа. Пространственное разрешение 1.0-1.5 угловых минуты, временное около 1 с, мгновенная полоса частот (спектральное разрешение) 10 МГц, чувствительность по потоку около 10^{-24} Вт·м⁻²·Гц⁻¹, по яркостной температуре около 10^3 К. Регистрируются обе круговые поляризации. Регулярные данные радиогелиографа – это наборы комплексных видностей, полученные на пяти частотах диапазона 4-8 ГГц с интервалом времени 5 с. Доступ к исходным данным возможен по адресу <ftp://badary.iszf.irk.ru/data/srh48>, к корреляционным кривым – по адресам <http://badary.iszf.irk.ru/srhCorrPlot.php>, <ftp://badary.iszf.irk.ru/data/srh48/lightcurve>.

ДОЛГОТНАЯ СТРУКТУРА ГЛОБАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА

Е.А. Гаврюсева

ИЯИ РАН, Россия, elena.gavryuseva@gmail.com

Будут представлены результаты тщательного изучения долготной структуры глобального магнитного поля Солнца, ее зависимости от широты и исследования асимметрии между северным и южным полушариями.

Проведен анализ устойчивости долготной структуры в течение каждого цикла и ее изменения от одного к другому циклу солнечной активности.

Определена глубина залегания слоя, генерирующего долготную структуру в недрах Солнца. Проведено сопоставление скорости вращения устойчивой долготной структуры с распределением дифференциальной скорости вращения плазмы Солнца.

На базе экспериментальных данных определено время существования долготной структуры глобального магнитного поля Солнца.

РЕКОНСТРУКЦИЯ СТОЛЕТНЕГО РЯДА ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОН ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЦА В ЛИНИИ Н_АЛЬФА

К.А. Тлатова, В.В. Васильева, А.Г. Тлатов

*Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, Россия
k.tlatova@mail.ru*

Представлен анализ свойств солнечных волокон по данным оцифровки столетнего ряда ежедневных наблюдений в линии Н-альфа обсерваторий: Кодайканал (1912-1999), Медон (1980-2015), Канцельхое (2000-2015), Сакраменто Пик (1962-2000), Кисловодск (1957-2016).

Для выделения границ солнечных волокон разработаны методы, основанные как на автоматических процедурах выделения слабоконтрастных объектов на солнечном диске, так и редактировании границ выделенных структур в полу-автоматическом режиме.

Всего нами выделено более 120 тыс. волокон на 13 тыс. изображениях обсерватории Кодайканал за период 1912-1985 гг. Также выделено ~46 000 волокон на ~5000 изображениях обсерватории Сакраменто Пик в период 1962-2002 гг.; ~ 36 тыс. волокон на 4200 изображениях обсерватории Канцельхое в период 2000-2015 гг., ~145 тыс. волокон на 8700 изображениях обсерватории Медон за период 1980-2015 гг.

Выполнен анализ характеристик солнечных волокон. В частности показано, что максимум распределения волокон по широте находится несколько выше ($\theta \sim 25-30^\circ$), чем максимум распределения солнечных пятен ($\theta \sim 14-17^\circ$). Распределение числа волокон в зависимости от площади и длины близко к логнормальному распределению. Построены широтные диаграммы распределения числа волокон в 15-24 циклах активности. Показано, что существует связь между широтой максимума распределений волокон в цикле и активностью солнечных пятен.

О ВКЛАДЕ БОЛЬШИХ ГРУПП ПЯТЕН В ФОРМИРОВАНИЕ КВАЗИ-ДВУХЛЕТНИХ ВАРИАЦИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

И.Г. Костюченко

НИФХИ им.Л.Я.Карпова, г. Москва, Россия, irkost46@gmail.com

Рассматривается пространственно-временная динамика нескольких категорий групп солнечных пятен, различающихся пороговыми значениями площади, а также характеристики спектров мощности соответствующих временных рядов. Используются данные каталога площадей солнечных пятен обсерватории Гринвич- научного центра Маршалла за 1874-2015 годы. Анализ проводился как для всего солнечного диска, так и отдельно для каждого из широтных полушарий.

Полученные результаты указывают на существование процесса, усиливающего магнитные потоки, генерируемые механизмом магнитного динамо, ответственного за формирование 11-летнего цикла СА. Этот гипотетический процесс развивается с нестабильной периодичностью порядка 1-3 года, переменной интенсивностью и приводит к увеличению количества преимущественно наиболее крупных групп пятен (с площадью больше 500-1000MSP), которые обеспечивают существенный вклад в формирование наблюдаемых квази-двухлетних вариаций солнечной активности. Обсуждаются другие свойства этого процесса.

НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД НАСТУПИВШЕЙ ЭПОХИ «ПОНИЖЕННОЙ» СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ: ТЕКУЩИЙ 24-И ЦИКЛ В РАЗВИТИИ

В.Н. Ишков

ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, ishkov@izmiran.ru

С апреля 2016 г. текущий 24 солнечный цикл (СЦ) формально вошёл в фазу минимума. Таким образом, фаза максимума формально заняла период с августа 2013 по ноябрь 2014 г. и стала самой короткой (16 мес.) фазой максимума на достоверном ряде относительных чисел солнечных пятен. Текущий СЦ (9 лет) развивается как цикл низкой величины с особенностями:

- ветвь роста стала рекордной по длительности (54 мес.);
- средняя максимальная величина магнитного поля в тенях пятен как отражение значимого уменьшения среднего магнитного поля Солнца заметно понизилась и вышла на характерный уровень для эпохи «пониженной» СА (~2200 Гс, что на ~600 Гс меньше, чем в начале 23 СЦ);
- вспышечная активность находится на самом низком уровне за всю историю наблюдений;
- основные закономерности появления больших вспышечных событий сохраняются, однако режим всплывания новых магнитных потоков значимых величин и их взаимодействие с уже существующим магнитным полем заметно сменился и промежуток времени между наблюдаемым всплыванием нового всплывающего магнитного потока и началом периода осуществления больших вспышек в отдельной активной области заметно уменьшился.

По данным на декабрь 2016 г. вспышечная активность в прошедшем году резко упала: за весь год осуществилось всего 14 вспышечных событий рентгеновского класса М, из которых три были большими.

С текущего 24 цикла СА, Солнце вошло во вторую эпоху «пониженной» СА, которая, учитывая устойчивый характер достоверного ряда солнечных пятен, должна продлиться 5 СЦ (~55 лет). В эту эпоху становятся маловероятными высокие СЦ. Внутри эпох на данной статистике всегда выполнялось правило Гневышева-Оля и, следовательно, следующий 25 цикл СА будет средней величины. Следствием низких значений среднего магнитного поля Солнца в эту эпоху стало значимое падение величины межпланетного магнитного поля, что в свою очередь привело к значительному росту (примерно на 20%) фоновых потоков галактических космических лучей во внутренней гелиосфере по сравнению с максимальными значениями эпохи «повышенной» СА 1944 – 1996 г. Этот факт с большой вероятностью закрывает возможность пилотируемых полётов к ближайшим планетам и ставит под сомнение строительство обитаемой базы на поверхности Луны до конца шестидесятых годов 21 века.

ТРЕХМАСШТАБНЫЙ ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ДОСТОВЕРНОГО РЯДА ЧИСЕЛ ВОЛЬФА И ВОЗМОЖНОСТЬ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

И.Г. Шибает

ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, ishib@izmiran.ru

Удачная интерполяция длиннопериодной компоненты достоверной части ряда чисел Вольфа W и экстраполяция её на внешний временной интервал даёт возможность для реконструкции или прогнозирования «вековой» компоненты ряда.

Многие исследователи отмечали определенную упорядоченность характеристик циклов достоверного ряда. Исключая из ряда W квазидвухлетки и более высокочастотные компоненты ($W \Rightarrow P13$) мы переходим к сглаженным, одновершинным циклам с сохранением их «энергетики» и средних значений. Можно говорить о группировке по два цикла, а для ряда характеристик — даже по четыре последовательных цикла, что позволит «связать» интервальные оценки прошедших $2 \div 4$ циклов и опираться на них в оценке будущих циклов.

Для достоверных циклов, в представлении $P13$, легко провести параметризацию ветвей роста, что подключает временные масштабы в $3 \div 5$ лет и дополнительные связи с параметрами циклов.

Имея такой «конструктор» можно оценивать разные сценарии прогнозирования. Данная работа следует базовым понятиям, изложенным в публикациях [1, 2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Шибает И.Г. Реконструкция восстановленной части ряда чисел Вольфа по 150-летней гармонике и характеристикам циклов достоверной части ряда чисел Вольфа / Труды Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца: Солнечная и солнечно-земная физика -- 2016, Пулково, Санкт –Петербург, 10 – 14 октября 2016 г., с. 349-352.
2. Shibaev I., Ishkov V. Investigation of the statistical characteristics of Wolf numbers reliable series: Signs of solar cycles likelihood // Proceedings of Seventh Scientific Conference with International Participation SES 2011, Sofia, Bulgaria, 29 November – 01 December 2011, p. 297–301, 2012

11-ЛЕТНЯЯ ЦИКЛИЧНОСТЬ - АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ РЕГУЛЯЦИИ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ СТАБИЛЬНОСТЬ ЕГО ТЕМПЕРАТУРЫ

В.И. Козлов

*Институт космофизических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера,
СО РАН, г. Якутск, Россия, cosmoprognoz@mail.ru*

Ранее было показано, что огибающие вариаций параметра флуктуаций космических лучей (<http://www.forshock.ru/docs/docsrus6.html>) и «показателя эффективности солнечного мультиполя» (*E. V. Ivanov, V. N. and Obridko, 2001*), а также флуктуирующей компоненты магнитного диполя Солнца (*V. Pipin, D. Moss, D. Sokoloff et al., 2014*) достигают максимума, практически, одновременно на фазе ИНВЕРСИИ поля в окрестности максимума солнечного цикла. Установлена *обратная* зависимость длительности процесса инверсии (в космических лучах) от амплитуды 11-летнего цикла. Полученная зависимость была положена в основу гипотезы об Инварианте 11-летнего цикла: «амплитуда – длительность», который описывает вариации амплитуды и длительности солнечного цикла в пределах *постоянства площади* (энергоемкости) его «фазового портрета» на комплексной фазовой плоскости, где энергоемкость – характеристика «избыточной» энергии стравливаемой в единичном цикле. В этом смысле, 11-летняя цикличность - есть *автоколебательный* механизм регуляции энергии динамической системы (Солнца), обеспечивающий стабильность его температуры.

Нарушение консервативности динамической системы, т.е. не сохранение энергоемкости (площади «фазового портрета») солнечного цикла, может служить предвестником сбоя 11-летней цикличности. В частности: увеличение площади 23 цикла явилось основанием для прогноза **сбоя** 11-летней цикличности в 23-24 циклах (<http://www.forshock.ru/predvlong.html>), что согласуется со значимым уменьшением площади «фазового портрета» текущего **24** цикла. Уменьшение площади есть, по определению, уменьшение его *энергоемкости*, что подтверждается значимым уменьшением *светимости* Солнца (<http://www.pmowrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant>): максимально достижимый уровень светимости в текущем 24 цикле снизился до уровня среднего значения трех предшествующих циклов, т.е. практически *вдвое*. В этой связи, до начала нового 25 цикла (с 2018-2021 гг.) прогнозируется многолетнее **повышение радиационного фона** галактического космического излучения. Впервые такого рода долгосрочный прогноз по космическим лучам был дан нами в 2006 г.: <http://www.forshock.ru/docs/docsrus8.html> (аномальное повышение радиационного фона было зарегистрировано через год, в **2007-2010** гг.).

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ХАРАКТЕРА СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК В ЦИКЛАХ 23 И 24

И.М. Черток, А.В. Белов

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, ichertok@izmiran.ru

Среди солнечных вспышек вообще и мягких рентгеновских вспышек, в частности, с точки зрения их временного профиля и длительности наблюдаются две крайние разновидности: постепенные, длительные (Long Duration Events, LDE) и кратковременные, импульсные вспышки. Последние на стандартных 3-дневных картинках GOES выглядят как спайки. Существуют и вспышки промежуточных типов, которые характеризуются как гибридные или комбинированные. Импульсные вспышки интерпретируются как результат кратковременного локального магнитного пересоединения в нижней короне, возникающего при взаимодействии низких магнитных петель, связанных с малыми пятнами. В противоположность этому LDE вспышки возникают в комбинации с крупными корональными выбросами (Coronal Mass Ejections, CMEs) и обусловленным ими длительным постэруптивным энерговыделением в обширной области короны, включая всю магнитосферу активной области, эволюционирующие протяженные и высокие системы петель, аркады.

Нами по данным GOES в канале 1–8 Å за 1997–2016 гг. обнаружены долговременные вариации частоты появления достаточно мощных импульсных и длительных вспышек в пределах циклов 23 и 24, а также при переходе от одного цикла к другому. Сопоставление времён нарастания, спада и длительности вспышек баллов C и $\geq M1.0$ показало, что в цикле 24 по сравнению с циклом 23 именно среди интенсивных вспышек балла $\geq M1.0$ на фазе максимума повышен процент импульсных событий по всем указанным временным параметрам, а на фазе роста активности также по времени спада интенсивности вспышек. Более детальный анализ показал, что у менее интенсивных вспышек балла C выявляется существенное повышение доли LDE-событий и понижение процента импульсных вспышек на фазе спада цикла 23. При переходе от конца 23-его к началу 24-ого циклов имеют место резкие изменения характера вспышек, состоящие в существенном повышении доли импульсных событий.

Другой важной особенностью являются характерные для обоих циклов отчётливые квазидвухлетние вариации (период 1,2–2 года) средних временных параметров и относительного количества импульсных вспышек, а также противофазные вариации доли LDE вспышек. Максимальная амплитуда таких вариаций наблюдается у мощных импульсных $\geq M1.0$ вспышек вблизи первого максимума цикла 24 и достигает 45%. Обнаруженные вариации характера вспышек соответствуют представлениям о том, что мелкие и крупные солнечные пятна ведут себя по-разному в течение циклов и формируют две различающиеся популяции, за которые ответственны свои динамо процессы, происходящие во внешних и внутренних слоях конвективной зоны.

О СВОЙСТВАХ КВАДРАТИЧНОЙ МАГНИТНОЙ СПИРАЛЬНОСТИ

П.М.Ахметьев, А.Ю.Смирнов

ИЗМИРАН, г.Москва, Россия, smirnoff.alexandr@gmail.com

В идеально проводящей плазме спиральность является инвариантом уравнений движения и совпадает с топологическим инвариантом Гаусса. Существует неравенство Арнольда, связывающее энергию магнитного поля и его спиральность.

Рассматривается такая характеристика магнитного поля, как квадратичная спиральность и проводится обобщение неравенства Арнольда на случай квадратичной спиральности и k -энергии поля.

Оказывается возможным выразить квадратичную спиральность с помощью набора локальных данных, а именно - значений поля, его потенциала и набора частных производных вдоль магнитной линии. Результаты для квадратичной спиральности обобщены для случая сжимаемой среды.

Рассмотрена токовая квадратичная спиральность, и показана её связь с магнитной спиральностью.

Полученные результаты иллюстрируются примерами.

ЦИКЛИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАЗНОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ

В.Н. Обридко, Д.Д. Соколов, И.М. Лившиц
ИЗМИРАН, г.Москва, Россия, obridko@izmiran.ru

По данным SOHO/MDI и SDO/HMI изучались вариации магнитного поля разных напряженностей в течение 23 и 24 циклов. В центральном круге радиусом 0.7 радиуса Солнца вводилась поправка за проекцию и движение Земли по орбите. Затем находились полный абсолютный поток и средние значения на пиксел при различных ограничениях по величине и компактности. Обнаружено, что самые слабые поля носят шумовой характер и не показывают заметной циклической вариации. Начиная с ограничения <100 Гс, поля показывают слабую циклическую вариацию. Их интегральный поток возрастают от минимума цикла к максимуму на 20%, тогда как полный поток за это время меняется в 2.1 раза. В то же время кривые по потоку чрезвычайно сходны и с точностью до масштаба повторяются во всех деталях. С другой стороны удельная на пиксел напряженность показывает циклическую вариацию уже начиная с полей <33 Гс. Удельная напряженность зависит также от степени однородности поля, в котором находится анализируемый пиксел. Поля, в пикселах, окруженных полями другого знака, очень слабы и мало меняются со временем. Окружение из пикселов того же знака резко повышает значения напряженности, и кривая зависимости напряженности от времени сразу напоминает кривую для интегрального потока. Таким образом, единый динамо механизм работает, начиная с самых слабых полей, близких к шумовому пределу. Однако в нем есть моды, зависящие от характерных размеров и степени компактности образований.

TILT, TWIST AND CURRENT HELICITY IN SOLAR ACTIVE REGIONS: THEORETICAL ESTIMATES AND OBSERVATIONAL MANIFESTATIONS

K. Kuzanyan, N.Kleeorin, I.Rogachevskii, A.Tlatov, D.Sokoloff

IZMIRAN, Russia, kuzanyan@izmiran.ru

Beer-Sheva, Israel

Kislovodsk mountain station of Main (Pulkovo) Observatory, Russia

Moscow University, Russia

Tilt of sunspots is believed to be an important driver of the solar dynamo mechanism. Its observational studies have a long history. Current helicity and twist of magnetic fields in solar active regions are proxies of magnetic helicity which is an inviscid invariant in MHD convection motions. These quantities are measurable in the Sun already for several cycles, and mean field dynamo models are developed in order to describe self-consistent evolution of helicity and magnetic fields.

In this work, using a basic model for convection on super-granulation scales below the solar photosphere we estimate the amount of tilt and twist (current helicity) of bipolar active regions on their rising phase due to Coriolis force, and compare these results with intrinsic twist (and helicity) of magnetic field from mean-field dynamo models. We also compare the results with available observations of tilt and current helicity from statistical studies of magnetograms of the solar photosphere.

The results show that the both amounts of twist produced by Coriolis force and by dynamo models are of comparable order but different in sign. Therefore, they may compete, yielding in smaller active regions mainly the sign of helicity in accord with hemispheric sign rule (helicity and twist in Northern/Southern hemispheres of the Sun are predominantly negative/positive). For larger active regions the overall sign is probably reversed, so the same is expected for average tilts of bipolar groups. The helicity and tilt in sunspots also varies with the magnitude of the solar cycle. For tilt, the most important property found is that it appears odd with latitude dependence with a small additional fraction which is even with latitude, so it is systematically different from zero level at the equator. We compare these theoretical estimates with available observations of tilt of bipolar active groups in solar photosphere.

РАСЩЕПЛЕНИЕ МАСШТАБОВ КОНВЕКЦИИ, ВЫЗВАННОЕ ПЕРЕМЕННОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ

О.В. Щерица¹, А.В. Гетлинг², О.С. Мажорова¹

¹ИПМ имени М.В. Келдыша РАН, г.Москва, Россия, shchery@mail.ru

²НИИЯФ МГУ, г.Москва, Россия, A.Getling@mail.ru

Физические факторы, ответственные за сосуществование течений различных масштабов в солнечной конвективной зоне Солнца, на сей день остаются невыясненными. Между тем, структурную организацию солнечной конвекции понять необходимо, поскольку она контролирует процессы структурирования магнитных полей и, следовательно, влияет на характер активных процессов. В конечном счете, данное исследование нацелено на отыскание факторов, ответственных за расщепление масштабов солнечной конвекции – сосуществование ячеечных течений, сильно различающихся по характерным размерам. Среди этих факторов – переменное состояние ионизации, переменные коэффициенты переноса, плотностная стратификация и т.д. Их сложность и разнообразие заставляют начинать анализ с простых случаев, рассматривая различные факторы по отдельности.

В работе выполнено трехмерное численное моделирование тепловой конвекции в горизонтальном слое жидкости с температуропроводностью χ , зависящей от температуры T . Используется расширенное приближение Буссинеска, допускающее вариации χ . Рассматривается такой характер зависимости $\chi(T)$, при котором вблизи верхней поверхности слоя статический градиент температуры значительно больше по абсолютной величине, чем в остальной части слоя; при этом весь слой сверху донизу конвективно неустойчив. Верхняя поверхность слоя считается свободной, нижняя – жесткой. Для исследования рассчитанных полей скорости и температуры используются фурье-анализ и методы вычислительной гомологии (определяются числа Бетти, характеризующие связность картины восходящих и нисходящих течений).

Как и в варианте задачи с двумя жесткими горизонтальными границами [1], развитое течение выглядит как суперпозиция ячейечных конвективных движений трех масштабов. В отличие от самых крупных ячеек, заполняющих всю толщину слоя, более мелкие ячейки локализованы вблизи верхней его границы и переносятся течениями больших масштабов. В целом картина течения качественно схожа с картиной солнечной конвекции, образованной супергранулами, мезогранулами и гранулами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shcheritsa O.V., Getling A.V., Mazhorova O.S. // Adv. Space Res., 2015, v. 55, p. 927.

ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОРОНАЛЬНЫХ ПЕТЕЛЬ

А.А. Соловьев

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
г. Санкт-Петербург, Россия, solov@gao.spb.ru*

Корональные петли – основной долгоживущий структурный элемент солнечной короны. Обычно при теоретическом анализе корональных петель основное внимание уделяют проблеме их нагрева, анализируя уравнение теплопереноса, а проблема магнитогидростатического равновесия петли вообще не рассматривается, оно произвольно постулируется как очевидное для любой геометрической формы петли. Между тем, проблема равновесия из-за нелинейного характера магнитной силы, наличия гравитации и кривизны петли, а также из-за отсутствия в такой системе трансляционной или осевой симметрии весьма нетривиальна и до сих пор не имеет решения. Вопрос о механическом равновесии магнитной корональной петли той или иной геометрической формы должен рассматриваться в первую очередь: при отсутствии его система петель развалится и перестанет существовать в течение нескольких секунд, поскольку альвеновская скорость в корональных магнитных структурах очень высока, более 10^8 см/с.

В докладе изложена процедура построения 3D уединенной корональной петли, вписанной в потенциальную магнитную аркаду. Радиус сечения петли остается неизменной вдоль ее длины. Показано, что равновесие возможно лишь для очень тонкой петли, в толстых петлях остается малая нескомпенсированная сила магнитного натяжения, которая приводит к их вытягиванию вверх и/или расщеплению на ряд тонких петель.

МЕДЛЕННЫЕ МАГНИТОЗВУКОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ В КОРОНАХ СОЛНЦА И ЗВЕЗД

В.М. Накаряков

University of Warwick, UK, V.Nakariakov@warwick.ac.uk

“Качающиеся” продольные быстро-затухающие колебания интенсивности КУФ излучения в плазменной петле короны Солнца, с периодами 409 и 1121 с, исследованы с высоким пространственным разрешением с помощью изображающего телескопа SDO/AIA. Характерная фазовая скорость оценивается как 560 км/с, что, для петли длиной 115 Мм, приблизительно соответствует скорости звука в плазме с температурой 10–16 МК. Наблюдаемые колебания напоминают хорошо известные колебания доплеровского смещения, часто регистрируемые в “горячих” линиях излучения короны Солнца (SUMER oscillations), что позволяет интерпретировать их как медленные магнитозвуковые колебания. Колебания с аналогичными свойствами зарегистрированы в интенсивности интегрального мягкого рентгеновского излучения в 42 солнечных вспышках с помощью RHESSI и в 36 звездных вспышках с помощью XMM-Newton. Анализ колебаний проводился с помощью выделения аperiodического тренда методом разложения на эмпирические моды. Установлено, что и в солнечных, и в звездных вспышках время затухания колебаний линейно пропорционально их периоду, что так же соответствует типичным свойствам SUMER oscillations. Данный результат указывает на аналогичность физических процессов ответственных за вспышечное энерговыделение на Солнце и на звездах.

ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МНОГОПОЛЯРНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА СОЛНЦЕ

Е.В. Жужома¹, В.С. Медведев¹, Ю.В. Думин^{2,3}

¹НИУ ВШЭ, г. Нижний Новгород, Россия, zhuzhoma@mail.ru

²ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, dumin@yahoo.com

³ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Топологический анализ солнечных магнитных полей, впервые предложенный в работе [1], зарекомендовал себя как ценный инструмент для предсказания наиболее благоприятных мест развития магнитного пересоединения и возникающих в результате него солнечных вспышек [2]. В частности, было показано, что существуют такие конфигурации источников (например, на поверхности фотосферы), при которых их малое смещение приводит к зарождению и быстрому перемещению в пространстве дополнительной нулевой точки высоко над плоскостью источников (т.е., в короне), что создает возможность быстрого развития магнитного пересоединения в больших областях пространства. Это явление получило название “топологического триггера” [1].

К сожалению, использовавшиеся в вышеупомянутых работах топологические индексы в формуле Эйлера-Пуанкаре могут быть эффективно применены лишь в системах с небольшим числом источников. (Фактически, почти все содержательные результаты были получены для конфигураций с четырьмя магнитными полюсами.) В докладе будут представлены и проиллюстрированы несколько общих теорем, связывающих количество и тип магнитных полюсов с количеством и типом возникающих в таком поле нулевых точек для магнитного поля, создаваемого произвольным числом источников.

Работа выполнена при финансовой поддержке фондов РФФИ, гранты 15-01-03689-а, 16-51-10005-Ко\а и РНФ, грант 14-41-00044. Исследование осуществлялось в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2017 году.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.С. Горбачев, С.Р. Кельнер, Б.В. Сомов, А.С. Шварц. Астрон. журн., т.65, с.601 (1988).
2. A.V. Oreshina, I.V. Oreshina, B.V. Somov. Astron. & Astrophys., v.538, p.A138 (2012).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТОКИ В АТМОСФЕРЕ СОЛНЦА

Г.Д. Флейшман

NJIT, Newark, USA, gfleishm@njit.edu

В докладе предполагается дать обзор фундаментальных вопросов, связанных с измерением электрического тока в солнечной атмосфере и его влиянием на свойства солнечной плазмы и ее диагностику. Этот обзор включает в себя как изложение самых первых работ, в которых в начале 1960х годов была измерена вертикальная компонента электрического тока на уровне фотосферы, так и результаты самых свежих исследований, описывающих трехмерные конфигурации вектора электрического тока в солнечной атмосфере. Мы остановимся на описании наблюдаемой в фотосфере и хромосфере и моделируемой в короне трехмерной структуры токов и обсудим их возможную роль в нагреве хромосферной и корональной плазмы, а также рассмотрим возможное влияние сильных токов в короне на диагностику ее тепловой структуры. Затем, на примере Альфвеновской волны, будет рассмотрено влияние электрического тока на свойства собственных мод замагниченной плазмы такие как появление ненулевой составляющей постоянного электрического поля и ненулевой кинематической спиральности в Альфвеновской волне, что может быть крайне важно для ускорения заряженных частиц; в частности, для преимущественного ускорения редких ионов (например, He-3). В этой связи будет рассмотрена микроскопическая структура электрического тока в горячей многокомпонентной плазме. В заключение, мы обсудим электрические токи, связанные с солнечными вспышками: в закрученных петлях, в токовых слоях, а также – обратные токи в основаниях вспышечных петель.

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ, НЕЛИНЕЙНОЕ ДИНАМО И ВОЗМОЖНОСТЬ 1-2 МЕСЯЧНОГО ПРОГНОЗА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ (ЧИСЕЛ ВОЛЬФА)

Я. Клиорин¹, Н.Т. Сафиуллин², Н. Клиорин¹, С.В. Поршневу²,
И. Рогачевский¹, и Д.Д. Соколов³

¹BGU of the NEGEV, г. Беер-Шева, Израиль, nat@bgu.ac.il.

²УрФУ, г. Екатеринбург, Россия,

³МГУ, г. Москва, Россия,

Прогноз солнечной активности (чисел Вольфа и других крупномасштабных параметров) на различных временных интервалах: месяцы, годы, десятилетия находится в центре внимания гео-гелиофизики по крайней мере последние 100 лет. Тем не менее эти прогнозы все еще крайне несовершенны. Ярким примером подобного неудачного прогноза являются предсказания уровня солнечной активности в последнем цикле: все прогнозы оказались существенно завышены! С целью улучшения прогноза мы построили серию моделей среднего магнитного поля Солнца, основанных на теории нелинейного динамо среднего поля. На то, что это в принципе возможно, указывает недавний результат (Kleeorin & all, 2016, MNRAS, 2016, v. 460, 3960-3967). В этой работе впервые на основе теории спирального динамо и неустойчивости, связанной с эффектом отрицательного магнитного давления, рассчитан с приемлемой точностью весь ряд Вольфа (1745 – 2016) (коэффициент корреляции между рассчитанным рядом и наблюдаемым порядком 70%). Солнечная активность, по-видимому, влияет на земной климат и погоду через рост ледяных гидрометеоров в высотных облаках атмосферы Земли, поскольку альбедо играет существенную роль в переносе излучения в этих облаках. В докладе обсуждаются возможные механизмы этого явления.

Сама модель представляет собой систему уравнений в частных производных одномерных в пространстве, - так называемая “no-z model”. Усовершенствование существующей одномерной модели солнечной активности позволило получить вполне реалистическую баттерфляй – диаграмму воспроизводящие наблюдаемую баттерфляй – диаграмму солнечной активности, на отрезке 1950-2016 г. - с точностью лучше порядка 70% описывающие наблюдения для пятен (в том числе полярную ветвь активности)

В результате на отрезке 1950-2016 г. г. точность воспроизведения ряда Вольфа достигла 85-90%

Обсуждается возможность 1-2 месячного прогноза солнечной активности на основе теории динамо, теории отрицательного магнитного давления и теории нейронных цепей. Приводятся первые результаты 2 месячного прогноза на отрезке октябрь 2016 - февраль 2017.

секция ИОНОСФЕРА

ПОВЕДЕНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ ИОНОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ КВАЗИНЕПРЕРЫВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЛНЫ НАКАЧКИ К ИМПУЛЬСНОМУ ПРИ БОЛЬШИХ МОЩНОСТЯХ (СТЕНД НААРР 2011 г.)

С.М. Грач, Е.Н. Сергеев, А.В. Шиндин, В.П. Смолина
ННГУ, г. Нижний Новгород, Россия, sgrach@rf.unn.ru

Представлены результаты анализа эксперимента по воздействию радиоизлучением стенда НААРР на ионосферу, выполненные 28.03.2011 в послеполуденные часы. Использовался режим чередования квазинепрерывного (длительность импульса $\tau=160$ мс, период повторения импульсов $T=200$ мс, длительность посылки – 1 минута) и импульсного воздействия ($\tau=20$ мс, $T=1$ с, длительность посылки – 30 с до перевода в квазинепрерывный режим и 3 минуты – после перевода из квазинепрерывного режима) на частотах $f_0=5730, 5760, 5790, 5820, 5850$ и 5880 кГц, близких к 4-й электронной гирогармонике ($4f_{ce} \sim 5750$ кГц). Перед переключением частоты стенда его передатчики выключались на 30 с. Средняя эффективная мощность излучения составляла $P_{ef} \approx 1,36$ ГВт во время квазинепрерывного воздействия и ≈ 34 МВт – во время импульсного. Было выполнено 2 цикла: сначала волна накачки (ВН) излучалась вертикально вверх, затем – в направлении магнитного зенита. Во время излучения в магнитный зенит на частотах 5790, 5820, 5850 и 5880 кГц наблюдались спускающиеся слои искусственной ионизации [1]. При отсутствии спускающегося слоя ионизации во время импульсного воздействия область взаимодействия волны накачки с ионосферной плазмой сосредоточена вблизи точки отражения ВН, а сигнал искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) содержит только компоненту Narrow Continuum (NC). Во время квазинепрерывного воздействия область взаимодействия расположена вблизи верхнего гибридного (ВГ) резонанса ВН, возбуждаются магнитоориентированные мелкомасштабные неоднородности (ММН) плотности плазмы, а спектр ИРИ обладает богатой спектральной структурой, в частности, кроме NC содержит компоненты DM с частотой $f_{DM} \sim f_0 - 10$ кГц (при $f_{DM} \neq 4f_{ce}$) и BUM с $f_{BUM} > f_0$ (при $f_0 > 4f_{ce}$) [2].

Целью настоящего анализа является исследование поведения ИРИ при переходе от непрерывного воздействия к импульсному, которое осталось за пределами работы [1]. В частности установлено, что временное поведение компонент ИРИ NC, DM и BUM во времени при $f_0 > 4f_{ce}$ подобно поведению этих компонент при меньших мощностях воздействия ($\sim 100-150$ МВт, стенд «Сура»): DM и NC испытывают overshoot-эффект (увеличение интенсивности после перехода и дальнейшая релаксация), тогда как BUM достаточно быстро релаксирует. Однако через некоторый период времени интенсивность этих компонент начинает снова нарастать и достигает нового максимума. При этом интенсивность DM достигает примерно прежних значений, тогда как BUM имеет существенно меньшую интенсивность и спектральные свойства, несколько отличные от наблюдавшихся для BUM при квазинепрерывном нагреве. По-видимому, речь идет о возбуждении «дополнительной» порции ВГ турбулентности в «приготовленной» ионосфере. Время достижения минимума интенсивности ВГ компонент ИРИ, вызванного импульсной накачкой, после перевода ВН из квазинепрерывного режима оказывается заметно меньшим для вертикального нагрева, чем для нагрева в магнитный зенит, тогда как интенсивность этих компонент, наоборот, выше в магнитном зените. Отметим также, что импульсный нагрев при после 30-секундной паузы приводит к слабой генерации ВГ компонент ИРИ только к концу 30-секундного импульсного воздействия, несмотря на достаточную среднюю мощность, превышающую порог возбуждения ВГ турбулентности.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 16-02-00798, 16-32-60176.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sergeev et al. Phys. Rev. Lett. 110, 065002 (2013), DOI: 10.1103/PhysRevLett.110.065002
2. Грач С.М. и др. УФН, 186 (11) 1189 - 1228 (2016) DOI: 10.3367/UFNr.2016.07.037868

ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛНОВЫХ СТРУКТУР В ИОНОСФЕРЕ, СТИМУЛИРОВАННЫХ СОЛНЕЧНЫМ ТЕРМИНАТОРОМ И МОЩНЫМ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕМ СТЕНДА «СУРА»

И.А. Насыров¹, Д.А. Когогин¹, А.В. Шиндин², В.Ю. Белашов¹, С.М. Грач², М.А. Шербоев¹

¹ФГАОУ ВПО К(П)ФУ, г. Казань, Россия, Igor.Nasyrov@kpfu.ru

²ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия, sgrach@rf.unn.ru

В работе [1] теоретически и численно исследовалась генерация и эволюция солитоноподобной ВГВ и ПИВ на переднем фронте солнечного терминатора (СТ) для условий, близких к реальным для F-слоя ионосферы. В частности было показано, что при определенных условиях в утреннем и вечернем секторах СТ могут быть сгенерированы солитоноподобные «предвестники» с периодами порядка 40–60 мин. Представленные в докладе результаты измерений полного электронного содержания (ПЭС) в двух пространственно-разделенных пунктах (п. КФУ и п. АОЭ) во время прохождения СТ в утренние и вечерние часы дают хорошее качественное соответствие с результатами теоретических и численных расчётов, представленных в [1].

В настоящее время можно считать, что экспериментально надёжно установлен факт генерации ПИВ при воздействии на ионосферу мощным наземным радиоизлучением стенда «Сура» (см. например [2]). В данном случае ПИВ могут распространяться на значительные (до 1000 км) расстояния как вдоль, так и поперёк силовых линий магнитного поля Земли. С другой стороны хорошо известно [3], что развитие ионосферных неоднородностей в поле мощной радиоволны происходит вдоль силовых линий магнитного поля Земли, то есть вдоль геомагнитной долготы. Однако, представленные в докладе результаты, полученные на сети ГНСС-станций, расположенных вдоль геомагнитной широты стенда «Сура» (п. Васильсурск, п. Зеленодольск, п. КФУ), позволяют говорить о развитии крупномасштабных ионосферных неоднородностей, стимулированных мощным радиоизлучением стенда «Сура», которые распространяются поперек силовых линий магнитного поля Земли.

Одним из возможных механизмов, объясняющих наблюдаемый эффект, может быть следующий. В работе [4] показано, что в пределах диаграммы направленности нагревного стенда «Сура» (ДН) на высотах F-слоя ионосферы формируется область с пониженным содержанием электронной концентрации, в то время как за пределами главного лепестка ДН формируются области с повышенной электронной концентрацией. Таким образом, на границах ДН, во время воздействия на ионосферу мощным радиоизлучением стенда «Сура», в F-области возникает градиент электронной концентрации в несколько десятков процентов, что может служить причиной генерации солитоноподобных ПИВ, как это обсуждалось в работе [1]. В свою очередь, солитоноподобная волна в заряженной компоненте ионосферы может вызвать генерацию ВГВ. Как известно, солитоноподобная ВГВ может распространяться на значительные расстояния при определённых условиях, при этом магнитное поле Земли не оказывает на неё никакого влияния.

Экспериментальные исследования на стенде «Сура» выполнялись при финансовой поддержке РНФ (№ 14–12–00706). Обработка и анализ данных вариаций ПЭС выполнены за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Belashov V.Yu., Belashova E.S. // *Advances in Space Research*, 2015, 56, p. 333–340.
2. Nasyrov I. A. et al. // *Advances in Space Research*, 2016, 57, p. 1015–1020.
3. Гуревич А.В. // *УФН*, 2007, 50(11), с. 1091–1121.
4. Tereshchenko E.D. et al. // *Physics Letters A*, 2004, 325 (5–6), p. 381–388.

ВОЗДЕЙСТВИЕ МОЩНОГО КВ-РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НАГРЕВНОГО КОМПЛЕКСА EISCAT/HEATING НА ВЫСОКОШИРОТНУЮ F-ОБЛАСТЬ ИОНОСФЕРЫ

Н.Ф. Благовещенская, Т.Д. Борисова, А.С. Калишин

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия, nataly@aari.nw.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований эффектов воздействия мощных КВ радиоволн на высокоширотную F-область ионосферы, выполненных специалистами ААНИИ в 2009 – 2016 г.г. на нагревном комплексе EISCAT/Heating (69.6° N, 19.2° E, L=6.2, I=78°), расположенном в г. Тромсе, северная Норвегия. Эксперименты выполнялись в рамках Соглашения между Европейской ассоциацией EISCAT и ААНИИ. Отклик ионосферной плазмы на воздействие мощной КВ радиоволны обыкновенной (О-мода) или необыкновенной (Х-мода) поляризации контролировался с помощью радара некогерентного рассеяния радиоволн (НР) на частоте 930 МГц в Тромсе, системы когерентных КВ радаров CUTLASS в Ханкасаля, Финляндия и приемного комплекса для регистрации узкополосного искусственного радиоизлучения ионосферы (ИПИ) в полосе 3 кГц вблизи г. С. Петербург. Основное внимание было уделено исследованию экстремально сильных искусственных ионосферных возмущений, возбуждаемых в высокоширотной ионосферной плазме мощными КВ радиоволнами Х-поляризации.

Суммируя результаты исследований на нагревном комплексе EISCAT/Heating, следует выделить следующее. Показана возможность создания интенсивных возмущений в высокоширотной F-области ионосферы при Х-нагреве на частотах в диапазоне $f_{\text{H}} = 4.0 - 8.0$ МГц как выше, так и ниже критической частоты слоя F2 ($f_{\text{H}} / foF2 > 1$ и $f_{\text{H}} / foF2 \leq 1$), включая генерацию искусственных ионосферных неоднородностей (МИИН), возбуждение параметрической распадной неустойчивости (генерация Лэнгмюровских и ионно-акустических плазменных волн), создание каналов повышенной электронной концентрации в широком диапазоне высот вдоль направления магнитного поля. Установлено, что при Х-нагреве на высоких частотах интенсивные усиленные нагревом плазменные и ионно-акустические линии в спектре сигналов радара НР (HFPLs and HFILs) существуют одновременно с мелкомасштабными искусственными неоднородностями в течение всего цикла нагрева. Обнаружен эффект магнитного зенита при Х-нагреве, когда наиболее интенсивные возмущения в ионосферной плазме создаются вдоль направления магнитного поля. Выявлены и исследованы явления, возникающие при нагреве ионосферы мощной КВ радиоволной Х-поляризации вблизи гармоник электронного гирорезонанса. Выполнено сравнение явлений, возбуждаемых воздействием мощных КВ радиоволн обыкновенной (О-мода) и необыкновенной (Х-мода) поляризации. Обнаружено, что только при Х-нагреве в направлении магнитного зенита происходит возбуждение разнообразных узкополосных спектральных компонент в спектре искусственного радиоизлучения ионосферы, таких как ионно-акустические, электростатические ионно-циклотронные и ионные Бернштейновские волны, регистрировавшиеся на значительном (более 1000 км) расстоянии от КВ нагревного комплекса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ СРЕДНИХ И ВЫСОКИХ ШИРОТ МЕТОДОМ РЕЗОНАНСНОГО РАССЕЯНИЯ РАДИОВОЛН НА ИСКУССТВЕННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЯХ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Н.В. Бахметьева, В.Д. Вяхирев, Е.Е. Калинина, С.М. Грач, Е.Н. Сергеев, А.В. Шиндин
НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия,
nv_bakhm@nirfi.unn.ru

В работе представлены и обсуждаются результаты экспериментов по воздействию на ионосферу мощным высокочастотным радиоизлучением нагревных стенов и возмущению нижней ионосферы с созданием искусственных периодических неоднородностей (ИПН) ионосферной плазмы. Задачей экспериментов на высокоширотном стенде являлось исследование процессов развития и релаксации периодических неоднородностей с дальнейшим определением параметров нейтральной и плазменной составляющих областей D и E ионосферы и сопоставление с результатами, полученными в средних широтах. Эксперименты проводились в мае-июне 2014 г. на высокоширотном стенде HAARP (62.65 N; 145.25 W) и в сентябре 2014 г. на среднеширотном стенде СУРА (56.15 N; 46.11 E). Возмущение в виде искусственной периодической структуры ионосферной плазмы создавалось излучением в зенит мощной радиоволны необыкновенной поляризации на частотах от 4 до 6 МГц в квазинепрерывном режиме с «врезками», что позволяло проводить диагностику состояния нижней ионосферы во время развития ИПН и их релаксации после окончания воздействия на ионосферу. Эффективные мощности излучения нагревных стенов отличались более чем на порядок. Зондирование ИПН на стадии их релаксации осуществлялось переводом нагревного стенда в импульсный режим с излучением импульсов длительностью 20-30 мкс той же частоты и поляризации, приеме обратно рассеянных сигналов и регистрации их квадратурных компонент с помощью быстродействующего АЦП. По изменению во времени амплитуды и фазы сигнала, обратно рассеянного искусственными неоднородностями, определялись его время релаксации и скорость вертикального движения плазмы в интервале высот 50-120 км. В свою очередь, время релаксации рассеянного сигнала служит основой для определения целого ряда характеристик областей D и E ионосферы [1]. В целом процессы развития и релаксации неоднородностей, создаваемых радиоизлучением обоих стенов, были аналогичны. В ходе эксперимента на стенде HAARP ИПН наблюдались на частотах 4,1, 5,1 и 5,925 МГц в E- и F-слоях и эпизодически в D-области. Было зарегистрировано слабое рассеяние на ИПН в спорадическом слое E. Характерные времена развития и релаксации рассеянного сигнала в E-слое составили 0.5-1,5 с, что соответствует теории образования ИПН, согласно которой неоднородности в E-слое образуются за счет перераспределения неравномерно нагретой плазмы, и процесс их релаксации обусловлен амбиполярной диффузией [1]. На стенде HAARP рассеянный сигнал в области D наблюдался, начиная с высоты 50 км, что для среднеширотного стенда является редким событием – обычно наименьшая высота регистрации ИПН составляет 60-65 км. Наблюдалось «расслоение» области D, которое впервые было зарегистрировано в экспериментах на стенде СУРА в весенние и осенние месяцы и вначале его объясняли особенностями сезонной перестройки. В дальнейшем оказалось, что подобное «расслоение» наблюдается и в летние месяцы, в том числе, оно было ярко выражено в высотно-временных зависимостях рассеянного сигнала, полученных в эксперименте на стенде HAARP [2]. Возможно, это расслоение представляет собой проявление гипотетического слоя C.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беликович В.В., Бенедиктов Е.А., Толмачева А.В., Бахметьева Н.В. Исследование ионосферы с помощью ИПН – Н. Новгород: ИПФ РАН. 1999. 156 с.
2. Bakhmetieva N. V., S. M. Grach, E. N. Sergeev, A. V. Shindin, G. M. Milikh, C. L. Siefiring, P.A. Bernhardt, and M. McCarrick. Artificial periodic irregularities in the high-latitude ionosphere excited by the HAARP facility // Radio Sci., 2016, 51, 999–1009, doi:10.1002/2015RS005938.

СУББУРЕВЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ИСКУССТВЕННАЯ АВРОРА, ВЫЗВАННЫЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕМ НАГРЕВНОГО СТЕНДА СУРА

Ю.Я. Ружин¹, В.Д. Кузнецов¹, Ю.А.Пластинин², Г.Ф. Карабаджак²

¹ИЗМИРАН, г.Москва, Россия, ruzhin@izmiran.ru

²ЦНИИМАШ, г.Королев, Московской области, Россия

В работе приведены результаты новых экспериментов по модификации ионосферы мощным КВ радиоизлучением нагревного стенда СУРА. Отметим, что из серии наземно – космических экспериментов СУРА – МКС, проведенных с модулированным нагревом ионосферы в 2007-2016 гг., по крайней мере в четырех из них зарегистрированы идентичные возмущения в магнитном поле, которые интерпретируются как признак суббурь, искусственно вызванных нагревным стендом. Первый успешный комплексный эксперимент по модификации ионосферы мощным КВ излучением стенда СУРА проведен 2 октября 2007г. В результате получено более 1000 изображений яркого локального свечения, появившегося в поле зрения камеры на борту МКС при ее пролете в окрестности стенда СУРА. Область свечения появилась северо-восточнее стенда (200-300 km) и перемещалась на восток в плоскости изображения со скоростью около 5 км/сек.

Используя данные спутников GPS и ДЕМЕТЕР, которые выявили положение плазмопаузы в окрестности стенда СУРА во время первого эксперимента 02.10.2007г., а также геомагнитные данные, определившие момент завершения восстановительной фазы геомагнитной бури, привели к заключению, что эти условия способствовали триггерированию суббури в первом эксперименте с яркой локальной авророй, зарегистрированной на борту МКС в момент активизации искусственной суббури.

Анализ радиотрассирования показал, что падение плотности плазмы в ионосфере на широтах севернее стенда СУРА может, за счет рефракции, перенаправить и перефокусировать излучение мощного пучка в направлении на север от оси исходного пучка. Благодаря этому появился шанс нагревом ионосферы принять участие в авроральных и субавроральных процессах.

Повторение суббуревой активности в четырех успешных экспериментах как по форме (структуре), амплитуде и длительности явления, так и по привязке к периоду нагрева с точностью до секунд получено только в октябре месяце 2007, 2010 и 2012 гг. Точное подобие этим событиям в природе не наблюдалось в течении нескольких лет. Для достоверности выводов использован комплекс данных наземной сети магнитометров (ИНТЕРМАГНЕТ), ионозондов (ИЗМИРАН, СУРА и т.д.), спутников ДЕМЕТЕР, GPS и измерений на борту МКС. На основе полученных результатов предложены модель и механизм наблюдавшихся явлений, которые основаны на появлении в результате нагрева энергичных электронов в магнитной трубке, опирающейся на область нагрева. В результате в этой трубке происходит резонансная раскачка колебаний альвеновского типа, приводящая к высыпанию магнитосферных электронов и изменению локальной проводимости плазмы, и, как следствие, к локальной перестройке магнитосферно-ионосферной цепи.

МОДЕЛЬ МЕДИАНЫ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ Е-СЛОЯ ИОНОСФЕРЫ ДЛЯ АВРОРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ

М.Г. Деминов

ИЗМИРАН, г.Москва (г. Троицк), Россия, deminov@izmiran.ru

Считают, что медиана критической частоты Е-слоя ионосферы f_oE дает оптимальную оценку этой частоты в задачах долгосрочного прогноза ионосферы, когда уровень геомагнитной активности заранее неизвестен. Нами была создана модель медианы f_oE , в которой косвенно учтены солнечный и авроральный источники ионизации атмосферы через простую зависимость $(f_oE)^4 = (f_oE_{sol})^4 + (f_oE_{avr})^4$. Даже в таком упрощенном варианте она точнее, например, международной модели IRI.

Тем не менее, в приведенной выше зависимости f_oE от f_oE_{sol} и f_oE_{avr} косвенно предположено, что высоты максимумов скорости ионизации атмосферы солнечным и авроральным источниками совпадают. Это предположение может нарушаться и приводить к существенным ошибкам в вычислениях f_oE по данной модели для определенных условий.

Целью данной работы было устранение этого недостатка модели медианы f_oE и, тем самым, создание нового варианта такой модели. Для этого была введена поправка в приведенную выше зависимость f_oE от f_oE_{sol} и f_oE_{avr} , которая определялась на основе сопоставления модели с экспериментальными данными медианы f_oE для авроральной области. Кроме того, некоторые детали этой поправки оценивались на основе сопоставления модели с результатами численного моделирования для типичных условий низкой геомагнитной активности, которые характерны для медианы f_oE авроральной области.

Даны предварительные оценки точности нового варианта модели медианы f_oE для авроральной области. Получено, что новый и предыдущий варианты модели практически совпадают для условий, когда f_oE_{sol} существенно отличается от f_oE_{avr} , т.е. когда один из источников ионизации атмосферы становится основным. Преимущество нового варианта модели становится отчетливым для условий, когда солнечный и авроральный источники ионизации атмосферы в области Е ионосферы сопоставимы по величине.

Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 14-05-00179) и Программой 1.7 Президиума РАН.

СТРУКТУРА ВЕРХНЕЙ ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ SWARM

Р.Ю. Лукьянова^{1,2}, П. Койсон³

¹ГЦ РАН, г. Москва, Россия, r.lukianova@gcras.ru

²ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

³Парижский Институт Физики Земли, Париж, Франция

Группировка спутников SWARM (ЕКА, 2014 г.), состоит из трех близко летящих идентичных спутников на высотах 450-550 км. Спутники оснащены идентичной аппаратурой для измерения плотности плазмы и магнитного поля. Постепенно смещаясь по долготе орбиты покрывают все долготные сектора земного шара и обеспечивают плотное географическое покрытие высокоширотных областей. Результаты измерений показывают общее увеличение электронной концентрации в полярных областях, на фоне которого наблюдаются значительные мелкомасштабные вариации. Поскольку одновременно измеряются возмущения магнитного поля, в ряде случаев можно соотнести увеличение (уменьшение) концентрации с вытекающим из ионосферы (втекающим в нее) продольным током. Одновременные измерения концентрации в E и F слоях радаром EISCAT на Шпицбергене позволяют дать количественные оценки предельной плотности продольного тока. В зимних условиях основной крупномасштабной неоднородностью, проявляющейся в усредненных спутниковых данных, является язык ионизации, вытягивающийся через полярную шапку. При достаточно большой азимутальной (V_y) компоненте ММП в зависимости от знака V_y язык смещается на утреннюю или вечернюю сторону под действием электрических полей конвекции.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕРМО-АНОМАЛИИ ДИНАМО СЛОЯ АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЫ ОТ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И ПЛОТНОСТИ ЭЛЕКТРОНОВ

Е.Е. Тимофеев¹, С.Л. Шалимов^{2,3}, М.К. Валлинкоски⁴, Й. Кангас⁴

¹Государственный Университет Морского и Речного Флота
имени адмирала. С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург, Россия

²Институт физики земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

³ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия

⁴Отдел космофизики Университета г. Оулу, Финляндия

В работе выполнен анализ параметров плазмы динамо слоя (ДС) ионосферы, диагностированных радаром EISCAT в зените авроральной обсерватории Тромсё, в рамках международного эксперимента ERRIS: (E-Region Rocket Radar Instability Study). Используемый банк данных включает 19 ночей наблюдений в объёме ~ 2000 одновременных измерений 5-ти параметров плазмы ДС слоя на каждом из 4-ёх высотных уровней: ~ 100, 105, 110 и 115 км. А именно: температур ионов (T_i) и электронов (T_e), плотности электронов (N_e), модуля и азимута вектора ионосферного электрического поля (E-поля).

Показано, что: 1) Вершина 3-D диаграммы со средней величиной Т.А. ~120 К, иллюстрирующей зависимость термо-аномалии $T.A. = (T_i - T_e)$ от напряжённости ионосферного электрического поля (E-поля) и величины электронной плотности (N_e), располагается в квадрате с величинами E-поля ~ (15-20) мВ/м и электронной плотности (~5-15)*10⁴/см³. Глубокая впадина в рельефе диаграммы, соответствующая классическому ФБ-перегреву электронов, с величинами ($T_e - T_i$) от 150 до 500 К, располагается в квадратах, покрывающих интервалы (35-70) мВ/м и (~1-5)*10⁴/см³ величин E-поля и N_e , соответственно. 2) На высотах максимума термо-аномалии (106 ± 2.5км) средняя величина ($T_i - T_e$) монотонно растёт, а величина её стандартного отклонения монотонно убывает в процессе усреднения по 6-ти интервалам величин E-поля от (0-5)-ти до (20-25)-ти мВ/м. При этом плавно растёт и средняя величина N_e . Картина полностью меняется, начиная с интервала (30-35) мВ/м и далее до 50-60 мВ/м. А именно величина Т.А. убывает, её (STD) быстро растёт, а величина N_e стремительно падает. 3) Размах колебаний величины термо-аномалии (от минимума до максимума) монотонно убывает на высотах (106 ± 2.5км) с ростом величин N_e примерно на порядок от 300 К при $N_e = 5 \cdot 10^4 / \text{см}^3$ до 30 при $N_e \sim 25 \cdot 10^4 / \text{см}^3$. На высотах (110 ± 2.5км) подобное падение размаха колебаний имеет место уже при $N_e \sim 35 \cdot 10^4 / \text{см}^3$. 4) Высокий коэффициент корреляции (~0.9) вариаций электронной плотности (dN_e) и температур электронов (dT_e), выявленный в суббурях 09 и 10 апреля 1988, соответствует эффекту охлаждения электронов на частицах металлической пыли. 5) При величинах E-поля менее ~25 мВ/м средняя величина ($T_i - T_e$) достигает максимума от 60-ти до 120 К на высоте слоя (106 ± 2.5км), спадая до 0 на верхней границе динамо-слоя ~115км. 6) Вариации величины термо-аномалии определяются двумя гармониками: полусуточной - ветровой (циклональной) и временным масштабом авроральной суббури - порядка часа.

Физическая природа термо-аномалии интерпретируется в рамках модели трёх-компонентной плазмы ионосферы: (макро-частицы пыли, ионы и электроны) на основе известного из теории (Fortov et al., 2010), а также из экспериментов в неидеальной лабораторной плазме (Olevanov et al., 2004) эффекта охлаждения электронов за счёт осаждения «горячего хвоста функции распределения» на частицах металлической пыли. Тесная корреляция временных вариаций температур электронов (ΔT_e) и ионов (ΔT_i) в условиях малых E-полей интерпретируется как свидетельство образования плазменно-пылевых структур. Развитие ФБ-неустойчивости при дальнейшем росте E-поля обеспечивает турбулизацию плазмы, в результате чего происходит сильный нагрев электронов и исчезновение температурной аномалии.

ВАРИАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ИОНОСФЕРНОГО ПРОВАЛА С ДОЛГОТОЙ

А.Т. Карпачев¹, М.В. Клименко², В.В. Клименко², Н.В. Чирик²

¹*ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, karp@izmiran.ru*

²*КФ ИЗМИРАН, г.Калининград, Россия*

Впервые выделены и исследованы долготные вариации положения главного ионосферного провала (ГИП) в терминах геомагнитной широты в северном и южном полушариях, для высокой и низкой солнечной активности, для всех часов местного времени. Для этого использованы данные спутников Космос-900, Интеркосмос-19 и СНАМР для спокойных геомагнитных условий $K_p=2$. Амплитуда долготного эффекта больше днем, чем ночью, типичные значения, полученные статистической обработкой данных, составляют $6-8^\circ$

АЭРОНОМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОБЛАСТИ РАЗВИТИЯ SAR – ДУГ И ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ДЖЕТА ПО ОПТИЧЕСКИМ И ИОНОСФЕРНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

В.Л. Халипов¹, А.Е. Степанов², В.Н. Алексеев², И.Б. Иевенко²

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия, khalipov@iki.rssi.ru

²ИКФИА СО РАН, Якутск, Россия

Анализируются комплексные оптические и ионосферные измерения в области слабых SAR – дуг сопутствующих развитию поляризационного джета. Такие SAR возникают в ходе умеренных и сильных суббуриевых возмущений. Они могут иметь мультиплетную структуру и менять интенсивность в диапазоне 100-500 Релей при развитии геомагнитной активности. Оптические и ионосферные измерения были проведены на субавроральных станциях Маймага, Якутск и Жиганск. Пространственное положение и интенсивность SAR-дуги определялась меридиональным сканирующим фотометром. Температура нейтральной атмосферы регистрировалась интерферометром Фабри-Перо. Результаты измерений показывают, что температура нейтральной атмосферы увеличивается в области SAR-дуги, следуя за вариациями свечения в дуге. Так по измерениям 02.12.1989 г., температура нейтралов в области SAR-дуги возросла на 500 °K относительно невозмущенного уровня, определенного за месяц по спокойным дням, что свидетельствует о процессе сильного разогрева в области SAR-дуги. По ионосферным данным синхронно с возникновением SAR-дуги вблизи зенита станции зондирования возникли F3s отражения, характерные для развития поляризационного джета и возникновения быстрого дрейфа ионосферной плазмы к западу под воздействием электрического поля северного направления. Величина этого поля в среднем составляет 50-80 мВ/м. Из-за фрикционного взаимодействия ионов и нейтралов происходит взаимный разогрев ионов до 5000-6000° и нейтралов на сотни градусов. Оценки показывают, что поступление энергии составляет более 10 эрг/см²сек и на несколько порядков превышает диссипацию энергии в SAR-дуге интенсивностью несколько кР за счет высвечивания в линии 630.0 нм.

Работа выполнена при частичной поддержке программ РАН П7.

ВОЗМОЖНОСТИ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ С ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «АРКТИКА-М»

**Н.П. Данилкин, Г.А. Жбанков, С.В. Журавлев, Н.Г. Котонаева, Е.Н. Хотенко,
В.Б. Лапшин, И.В. Романов, М.Ю. Филиппов**
ИПГ им. академика Е.К. Фёдорова, г. Москва, Россия, nickdaniilkin8@yandex.ru

Рассматривается возможность ведения непрерывного мониторинга высокоширотной ионосферы с ИСЗ, находящихся на планируемых к запуску космических аппаратах гидрометеорологического комплекса «Арктика-М». Приведены результаты численного моделирования радиозондирования ионосферы для двух различных схем работы технических средств зондирования: схемы для проведения только трансionoсферного зондирования и схемы внешнего зондирования на основе применения фазо-кодо-манипулированных сигналов. В первом случае рассматриваются только электромагнитные сигналы, прошедшие ионосферу насквозь сразу за граничной частотой прозрачности ионосферы. Во втором случае будут изучаться отраженные от внешней ионосферы сигналы, пришедшие на частотах ниже граничной частоты прозрачности ионосферы. Описана модель непрерывного мониторинга с учетом параметров обоих космических аппаратов комплекса «Арктика –М», находящихся на высоко-эллиптических орбитах: наклонение 63 град, высота в апогее 40 000 км, в перигее 1000 км и период обращения 12 часов. Взаимное расположение орбит КА, с совпадением восходящего узла КА №1 и нисходящего узла КА №2. При этом рабочие участки орбит начинаются за 3,2 часа до прохождения апогея и заканчиваются через 3,2 часа после прохождения апогея. Относительное смещение начала рабочих участков орбит КА №1 и КА №2 составляет 6 часов. При планировании мониторинга учтен опыт получения плазмограмм спутника «Image» на дальностях вплоть до 30000 км. Проведенные модельные расчеты трансionoграмм и ионограмм внешнего зондирования на максимальных дальностях на основе модели SIMP-1 над Арктикой показали возможность непрерывного определения величин и деталей высотного хода электронной концентрации этого региона.

ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ВНЕШНЕГО РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ИОНОСФЕРЫ С ВЫСОКОЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ИСЗ

**Н.П. Данилкин, С.В. Журавлев, В.Б. Лапшин, И.В. Романов,
М.Ю. Филиппов**

ФГБУ «ИПГ», г. Москва, Россия, drsuvar@gmail.com

Рассматриваются базовые принципы организации внешнего радиозондирования ионосферы и устройства ионозондов для космических аппаратов на высокоэллиптической орбите. Предложена структура и энергетика исследующих радиосигналов для получения ионограмм с существенно изменяющейся высоты (апогей 40000 км, перигей 1000) ИЗС на высокоэллиптической орбите, произведена оценка шумов. Отталкиваясь от выбранного значения сигнал/шум, применительно к аппаратуре внешнего зондирования рассмотрены способы обеспечения необходимой дальности. Определены критерии выбора оптимальных параметров режима накопления, фазово-кодированной модуляции, частотной сетки, усиления антенны. Предложена функциональная схема приемника ионозонда внешнего радиозондирования.

СПУТНИКОВАЯ РАДИОГОЛОГРАФИЯ И ГЛОБАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ ИОНОСФЕРЫ

А.Г. Павельев¹, С.С. Матюгов¹, О.И. Яковлев¹, А.А. Павельев¹, Й. Лиу², В.Н. Губенко¹

¹ФирЭ им. В.А. Котельникова РАН, Московская обл., Россия, alxndr@mail.ru

²Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University, Jhongli, Taiwan, yueian@csrsr.ncu.edu.tw

Изучение трехмерной структуры ионосферы требует высокого разрешения и точности вследствие конкуренции со стороны наземных и космических измерительных средств. Применение высокостабильных, синхронизированных атомными часами, сигналов, излучаемых навигационными спутниковыми системами (ГНСС) ГЛОНАСС, GPS, GALILEO и др., позволяет разрабатывать и создавать новые радиоголографические подходы с целью изучения структуры ионосферы, изменений космической погоды, условий радиосвязи, радиоуправления, радионавигации в околоземном пространстве и решения других задач.

В данном обзорном докладе рассмотрены основные результаты, полученные в ходе развития радиоголографии на трассе навигационный-низкоорбитальный спутники на основе измерений, проведенных радиозатменным методом. Была обобщена на случай неоднородной среды интегральная векторная формула Стрэттона-Чу, которая применяется для обращения волнового поля, для описания эффектов дифракции, а также для анализа поляризационных эффектов при прохождении радиоволн через ионосферу. Выявлена фундаментальная связь между вариациями интенсивности и производными фазы и доплеровской частоты от времени радиоволн, прошедших через ионосферу (атмосферу), которая существенно расширяет область применимости радиозатменного метода. На основе указанной связи предложены новые области и способы применения радиозатменного зондирования. 1. Создан метод, позволяющий раздельно измерять характеристики турбулентных и слоистых образований. 2. Разработан одночастотный способ измерения интегрального поглощения, основанный на исключении рефракционного ослабления (определенного по фазовым данным) из измерений интенсивности радиоволн, прошедших через слоистую среду (ионосферу и/или атмосферу). 3. Развита методология определения высоты и угла наклона плазменных слоев, а также их смещения от перигея лучевой траектории радиоволн. Это позволяет определять ориентацию фронтов внутренних волн в ионосфере (атмосфере). Показана возможность измерений величины вертикального потока горизонтального кинетического момента и энергии, исходя из информации об ориентации фронтов внутренних волн.

Применение методов спутниковой радиоголографии открывает новые направления геофизических применений дистанционного радиозондирования для исследования слоистых структур и волновых процессов в ионосферах и атмосферах Земли и планет.

НОЧНАЯ ИОНОСФЕРА ВЕНЕРЫ ПО ДАННЫМ РАДИОПРОСВЕЧЕНИЯ

А.Л. Гаврик, Т.Ф. Копнина, А.А. Смыслов, М.И. Бондаренко, Ю.А. Гаврик
ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, Россия, alg248@hotmail.com

Достоинством экспериментов радиопросвещения ночной ионосферы Венеры является возможность получения долговременных однородных измерений ее параметров. В течение года наблюдений за сигналами спутников ВЕНЕРА-15,-16 накоплен массив данных, анализ которых позволяет, с одной стороны, сделать заключение о существовании связи между характеристиками ионосферных аномалий и солнечного ветра, с другой стороны, выбрать информацию для детального физического анализа ионосферных возмущений. В докладе представлены результаты анализа радиозатменных данных, полученных во всех миссиях к Венере: MARINER-5,-10, ВЕНЕРА-9,-10, PIONEER-VENUS, ВЕНЕРА-15,-16, MAGELLAN, VENUS-EXPRESS. Обсуждается эволюция параметров вертикальных профилей электронной концентрации в ночной ионосфере Венеры. Численное моделирование эксперимента позволило выявить характер влияния различных искажающих факторов на достоверность обнаружения многослойных плазменных структур в ионосфере Венеры по радиозатменным данным. Показано, что в ночной ионосфере Венеры вертикальная структура электронной концентрации на высотах 110...180 км может сохраняться в течение 24 часов, что указывает на существование долговременной стабильности источников ее ионизации при отсутствии солнечного излучения. В докладе представлены сведения о волновых явлениях и их влиянии на обнаружение и локализацию стратифицированных слоистых структур с использованием выявленного инварианта радиозатменного эксперимента.

Работа выполнена при частичной поддержке программы № 1.7П Президиума РАН и гранта РФФИ № 15-45-03266.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАБОЧИЕ ЧАСТОТЫ КВ- РАДИОЛИНИЙ

А.В. Черменин, А.Н. Ляхов, А.В. Тащилин, С.Н. Пономарчук, М.С. Пензин, Е.Б. Романова

ИДГ РАН, г. Москва, Россия, aleksey.chem@yandex.ru

ИСЗФ СОРАН, г.Иркутск, Россия

Наблюдаемое изменение геомагнитного поля Земли должно приводить к модификации структуры ионосферы, вызванному фазовым сдвигом между магнитным локальным временем, определяющим авроральные структуры высоких широт и солнечным локальным временем, определяющим фоновую ионизацию и основную динамику нейтральной атмосферы средних широт. Представленные расчетные изменения паттернов высыпаний по модели Hardy-2008 для периода 1980-2014 гг. подтверждают это положение.

Численное трехмерное моделирование, выполненное с помощью модели NCAR TIEGCM на период 1980-2014 годы с использованием модели IGRF2012 показало возможность вариаций NmF2 до 10%. В докладе представлены результаты моделирования КВ радиолиний Магадан-Иркутск, Норильск-Иркутск и Анкоридж-Иркутск на те же годы для умеренной ($K_p=4$) и высокой ($K_p=7$) геомагнитной активности.

Расчеты выполнялись с использованием двух моделей ионосферы: глобальной самосогласованной модели термосферы-ионосферы NCAR TIEGCM и полуэмпирической прогностической плазмосферно-ионосферной модели ИСЗФ СОРАН. Обе модели используют IGRF2012. Расчеты МПЧ КВ радиотрасс выполнены с использованием программы расчета распространения КВ радиоволн методом нормальных волн (ИСЗФ СОРАН).

Для умеренной геомагнитной активности и в рамках модели ИСЗФ СОРАН изменения МПЧ на трассах Норильск-Иркутск и Магадан-Иркутск не превышают 2 МГц.

Для высокой геомагнитной активности на трассе Анкоридж-Иркутск расхождения МПЧ достигают 6 МГц.

Использование прогнозных карт частот КВ радиолиний в Арктическом секторе, построенных без учета наблюдаемого изменения геомагнитного поля, может привести к значительным ошибкам в выборе рабочих частот.

ГЕОМАГНИТНЫЙ И ИОНОСФЕРНЫЙ ОТКЛИК НА ПРИХОД МЕЖПЛАНЕТНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

**В.Б. Белаховский¹, В.А. Пилипенко², О.В. Козырева², Я.А. Сахаров¹,
Л. Бэдли³, С.Н. Самсонов⁴**

¹Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия, belakhov@mail.ru

²ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

³UNIS, Шпицберген, Норвегия

⁴Институт космофизических исследований и астрономии, Якутск, Россия

В работе исследован магнитосферный и ионосферный отклик на SSC событие 24 января 2012г. с использованием комплекса спутниковых и наземных наблюдений. По данным спутников GOES, THEMIS SSC импульс вызвал резкое увеличение плотности, температуры плазмы, потоков заряженных частиц в магнитосфере в диапазоне энергий от 40 кВ до > 2 МэВ. Межпланетная ударная волна, вызвавшая SSC импульс, уже не является ударной во внешней магнитосфере (магнитозвуковое число Маха $M_f \approx 0.4$), как показано по данным спутников THEMIS. SSC импульс вызвал развитие суббури в ночном секторе (станция Певек) при длительной положительной B_z -компоненте ММП и генерацию Pc4-5 пульсаций в утреннем секторе (сеть CARISMA). В вечернем секторе в момент SSC наблюдается увеличение ПЭС ионосферы (Δ ПЭС \approx 8-9%), определяемого по данным GPS приемников в Скандинавии. Данный отклик сопровождался увеличением концентрации ионосферной плазмы, определяемой по данным радара VHF EISCAT в Тромсё, в диапазоне высот 100-200 км. Поэтому основной вклад в увеличение ПЭС вносит нижняя ионосфера. По-видимому, скачок в ПЭС связан с высыпанием заряженных частиц в ионосферу. Это подтверждается данными риометров в Скандинавии, где в момент SSC наблюдался резкий скачок поглощения. Сильное увеличение интенсивности полярных сияний было зарегистрировано гиперспектральной камерой NORUSCA II Полярного геофизического института на архипелаге Шпицберген. SSC импульс вызвал резкое увеличение величины ГИТ (геомагнитно-индуцированных токов) в линиях электропередач на Кольском полуострове и в Карелии (~30 А).

РАЗНОМАСШТАБНЫЕ ВАРИАЦИИ ИОНОСФЕРНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ РАДИОВОЛН КВ-ДИАПАЗОНА ПО ДАННЫМ ИОНОЗОНДА ВЗ

М.Ю.Филиппов

ИПГ им. академика Е.К. Фёдорова, г. Москва, Россия, mm.grif@gmail.com

В работе на основе данных 15-минутных ионограмм московской ионосферной станции с 2011 по 2016 год и оригинального метода расчета поглощения радиоволн получены величины поглощения радиоволн. Произведен статистический анализ полученного ряда наблюдений с целью выявления периодических и непериодических вариаций. Выделенные характерные вариации ионосферного поглощения радиоволн качественно согласуются с литературными примерами и модельными данными. Выделен вклад основных причин изменения поглощения – изменения солнечного ионизирующего агента, т.е. зенитного угла Солнца (суточно-сезонные вариации), интегральной солнечной активности, вспышечной активности (явления SID, SWF). Выделяются явления зимней аномалии (ЗА) и внезапные стратосферные потепления. В результате регрессионного анализа получены зависимости поглощения от угла Солнца для различных сезонов. Характерный параметр - множитель при аргументе в третьей степени, в месяцы ЗА на порядок превосходит аналогичный в месяцы без ЗА. Для небольших углов Солнца (<13 град), для месяцев без ЗА, для слабой геомагнитной активности ($Kp < 3$) показана линейная зависимость поглощения от индекса F10,7. Рассмотрены некоторые вспышки рентгена (класса C2 и ниже), вызвавшие всплески поглощения (SWF), сопровождавшиеся всплесками в f_{min} . Для локального полудня показано качественное и количественное согласие наблюдаемых и модельных величин поглощения, рассчитанных по данным модели IRI-2012.

ПОСЛЕДСТВИЯ ПЕРЕОЦЕНКИ МАССИВА СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН ДЛЯ ИОНОСФЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

Т.Л. Гуляева

ИЗМИРАН, г.Москва (г.Троицк), Россия

В настоящее время возникла необходимость переоценки солнечных и ионосферных индексов в ионосферных моделях в связи с переходом с 1 июля 2015 г. на обновленный расчет ряда солнечных пятен, *SSN2* [Clette et al., 2014]. Результаты модельных расчетов зависят от задания солнечных и ионосферных управляющих параметров в ионосферных моделях, таких как эмпирическая Международная справочная модель ионосферы IRI и ее расширение на высоты плазмосферы IRI-Plas, Российская стандартная модель ионосферы SMI, эмпирическая модель для расчетов транс-ионосферного распространения радиоволн NeQuick, модели для прогноза глобальных карт ITU-R (foF2, M3000F2) и другие. Международная справочная модель ионосферы IRI использует в качестве показателя уровня солнечной активности эффективный ионосферный индекс IG_{12} , выведенный по измерениям критической частоты foF2 сетью ионозондов. В модели ионосферы и плазмосферы IRI-Plas в качестве эффективного показателя уровня солнечной активности используется глобальное электронное содержание (*GEC*, global electron content), сглаженное скользящим 12-месячным фильтром, GEC_{12} . Расчеты *GEC* основаны на глобальных картах полного электронного содержания (TEC, total electron content) с 1998 г., а реконструкция его за предыдущие годы и прогноз на будущее выполнены по эмпирической модели линейной зависимости *GEC* от солнечной активности. Использование *SSN2* вместо прежнего ряда *SSN1* приводит к увеличению погрешности результатов прогноза по ионосферной модели [Гуляева, 2016, <http://www.izmiran.ru/services/iweather/art1.pdf>]. Сравнение расчетов по моделям IRI-Plas и IRI с данными наблюдений и прогноза по Москве в 23-м и 24-м циклах солнечной активности показывает ухудшение качества модельных расчетов при некритичном применении обновленного ряда солнечных пятен. Вследствие этого изменение метрики чисел солнечных пятен, принятое специалистами по физике Солнца, представляет информационную опасность для пользователей ионосферных моделей, а перед разработчиками ионосферных моделей ставит задачи их адаптации к принятым в этих моделях управляющим параметрам, или перенастройке моделей на другие базовые индексы солнечной активности. Предлагается формула для преобразования сглаженного 12-месячным скользящим фильтром ряда $SSN2_{12}$ в эквивалент ранее принятого базового индекса $SSN1_{12} = R_{12}$, используемого для долгосрочного прогнозирования в моделях IRI, IRI-Plas, SMI, NeQuick, ITU-R. Выведены регрессионные соотношения между GEC_{12} , индексом солнечных пятен R_{12} и индексом потока солнечного радиоизлучения на волне 10.7 см, $F10.7_{12}$. Обсуждаются возможные альтернативные индексы солнечной активности для ионосферных моделей.

КИНЕТИКА МЕТАСТАБИЛЬНОГО МОЛЕКУЛЯРНОГО АЗОТА В АТМОСФЕРАХ ТИТАНА И ЗЕМЛИ

А.С.Кириллов

Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия, kirillov@pgia.ru

Молекулярный азот является основной составляющей атмосфер Земли, Титана, Тритона, Плутона. При взаимодействии солнечных фотонов, высокоэнергичных электронов и протонов, фотоэлектронов с атмосферами указанных планет значительная доля вносимой энергии трансформируется в энергию электронного возбуждения молекул N_2 . В рамках квантово-химических приближений проведен расчет скоростей гашения электронно-возбужденного молекулярного азота при неупругих взаимодействиях с молекулами N_2 , CO, O_2 [Kirillov, 2010, 2011, 2016]. Исследованы процессы электронно-электронного обмена энергией при столкновениях возбужденных молекул N_2 с различными газами. Используя спектры фотоэлектронов в верхней атмосфере Титана из [Campbell et al., 2010], проведен расчет колебательной населенности триплетных состояний молекулярного азота на различных высотах атмосферы Титана. Аналогичные расчеты проведены для высокоширотной атмосферы Земли во время авроральных электронных высыпаний. Исследовано влияние столкновительных процессов на колебательное распределение метастабильного молекулярного азота. Показана важная роль межмолекулярных процессов переноса электронного возбуждения при столкновениях возбужденных молекул азота в смеси с газами CO и O_2 .

Работа поддержана Программой Президиума РАН №7.

ЛИТЕРАТУРА

1. Campbell L., Kato H., Brunger M.J., Bradshaw M.D. Electron-impact heating rates in the atmosphere of Titan. // *J. Geophys. Res.*, 2010, v.115, A09320.
2. Kirillov A.S. Electronic kinetics of main atmospheric components in high-latitude lower thermosphere and mesosphere. // *Ann. Geophys.*, 2010, v.28, №1, p.181-192.
3. Kirillov A.S. Excitation and quenching of ultraviolet nitrogen bands in the mixture of N_2 and O_2 molecules. // *J. Quan. Spect. Rad. Trans.*, 2011, v.112, №13, p.2164-2174.
4. Kirillov A.S. Intermolecular electron energy transfer processes in the collisions of $N_2(A^3\Sigma_u^+, v=0-10)$ with CO and N_2 molecules. // *Chem. Phys. Lett.*, 2016, v.643, p.131-136.

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ МЕЖДУНАРОДНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «ОБСТАНОВКА (1-И ЭТАП)» НА БОРТУ РС МКС

**В.А. Грушин¹, С.И. Климов¹, Б. Киров², В.Е. Корепанов³, Ш. Салаи⁴,
П. Сегеди⁵, И.Э. Белова¹, Л.Д. Белякова¹, Т.В. Гречко¹, О.В. Лапшинова⁶,
Д.И. Новиков¹**

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), Москва, Россия, vgrushin@iki.rssi.ru

²ИКИТ Болгарской академии наук

³Львовский филиал ИКИ академии наук Украины

⁴Вигнеровский научный центр Венгерской академии наук

⁵Университет Этвёша, Будапешт, Венгрия

⁶Корпорация «Энергия», Россия

Международный эксперимент «Обстановка (1-й этап)» [1] проводился на Российском сегменте МКС в период с 23 апреля 2013 г. по 9 мая 2015 г. Одной из главных задач эксперимента было - определить, насколько электромагнитные и плазменные измерения в ближней окрестности Станции могут служить для решения геофизических задач. В связи с этим интересным представилось сравнить данные эксперимента с традиционными данными мониторинга Солнца и мониторинга магнитного поля Земли [2]. Ещё одной задачей, неоднократно обсуждавшейся по итогам измерений параметров ионосферной плазмы зондом Ленгмюра, является оценка влияния направления вектора магнитного поля по отношению к ориентации цилиндрического зонда на форму вольтамперной характеристики. Интересной также представилась задача сравнения синхронных измерений параметров плазмы двумя зондами Ленгмюра в двух различных точках МКС.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Климов С.И., В.А. Грушин, и др. Исследования в ионосфере электромагнитных параметров космической погоды в эксперименте «Обстановка (1-этап)» на Российском сегменте МКС. Часть I. Научно-методические аспекты эксперимента (статья принята в журнале «Космические исследования»).
- 2.Klimov S., Grushin V., Novikov D., et al. Monitoring of Space Weather Electromagnetic Parameters in the Ionosphere. Project's: "Chibis-M", "Obstanovka (1 stage)", "Vernov". ISSN 2367-7570 Workshop "Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere" Book of Proceedings Eighth Workshop, Sunny Beach, Bulgaria, May 30 - June 3, 2016, p. 74-81. <http://ws-sozopol.stil.bas.bg/2016Sunny/Proceedings2016.pdf>.

ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ НА ИОНОСФЕРУ ПОСЛЕ ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНОВ PINATUBO И HUDSON ПО ДАННЫМ СПУТНИКА КОСМОС-1809

В.М. Костин, Г.Г. Беляев, Е.П. Трушкина, О.Я. Овчаренко
ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, kostin@izmiran.ru

Показано, что, на фоне среднего понижения плотности плазмы в верхней ионосфере из-за значительного выброса аэрозолей в стратосферу при мощных извержениях вулканов в 1991, в зонах развития тропических циклонов (ТЦ) наблюдались следующие эффекты:

1. Вертикальное перемешивание атмосферы на высотах до 1000 км, которое определялось по изменению частоты нижнего гибридного резонанса.
2. Значительное усиление меридионального переноса плазмы, что определялось по росту давления электронного газа (произведения N_e и T_e) в области геомагнитного экватора и аномальным компонентам электрического поля.
3. Вынос легких компонент нейтральной атмосферы из центра ТЦ в верхнюю ионосферу, дополнительная ионизация которых происходила при прохождении терминатора через ТЦ, что определялось по резкому изменению интенсивности электростатических колебаний в окрестностях циклотронных частот водорода и гелия.

Данные эффекты соответствуют модели инжекции струи нейтрального газа из центра ТЦ, предложенной ранее авторами. Устойчивая вертикальная структура развитого ТЦ, достигает 1000 км и поддерживается поверхностными колебаниями, распространяющимися вдоль струи. Внутри струи развиваются инфразвуковые колебания, распространяющиеся к поверхности океана и способствующие усилению теплопередачи, соответственно, интенсификации ТЦ. Стратосферное возмущение после извержения вулканов, по-видимому, вызывает перераспределение инфразвука вдоль следа ТЦ и за ним возникает взаимодействующий с ним новый ТЦ.

Представленные выводы подтверждены результатами регистрации параметров плазмы ионосферы в июле-августе 1991 и июне 1992 со спутника Космос-1809. Выбранные интервалы соответствуют следующим событиям:

- А) После извержения PINATUBO 12.06.91 с июля по декабрь 1991 в западной части Тихого океана наблюдалась непрерывная последовательность тайфунов.
- В) Извержение вулкана HUDSON (Чили) вызвало редкие траектории ураганов в восточной части Тихого океана и северной части Атлантического океана.
- С) Усиленная циклоническая активность наблюдалась также и в 1992.

Отмечено, что среднее похолодание Земли на 0,5 градуса в течение нескольких лет после извержения вулканов имеет пятнистую структуру. Аномальное охлаждение достигало 2 градусов в районах, где не проходили траектории ТЦ. В районах с активным циклогенезом, сильного понижения температуры не наблюдалось.

секция МАГНИТОСФЕРА

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ ИЗОТРОПНОЙ И АНИЗОТРОПНОЙ МГД МОДЕЛЕЙ

А.А. Самсонов

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, a.samsonov@spbu.ru

Глобальные численные магнитогидродинамические (МГД) модели воспроизводят основные особенности конфигурации магнитосферы, такие как формирование отошедшей ударной волны, магнитопаузы, хвоста магнитосферы. В докладе представлена глобальная численная МГД модель SPSU-16 и показаны результаты моделирования. В последней версии в модель добавлен ионосферный блок, позволяющий учитывать магнитосферно-ионосферные токи и магнитосферную конвекцию. Модель существует в изотропной и анизотропной версиях. В анизотропной версии использованы модифицированные двух-адиабатические уравнения, в которых величина температурной анизотропии (отношение перпендикулярного теплового давления к параллельному) ограничивается сверху порогами ионно-циклотронной и зеркальной неустойчивостей, а снизу порогом шланговой неустойчивости. Использование анизотропных уравнений приводит к отличиям в распределении теплового давления внутри магнитосферы и к увеличению ширины магнитослоя. В работе исследована динамика ключевых магнитосферных параметров при повороте межпланетного магнитного поля с севера на юг и показано хорошее соответствие полученных результатов с результатами других моделей.

ЗАВИСИМОСТЬ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ МАГНИТОПАУЗЫ ОТ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА – R_V^2 , Ma , Ms , B_Y , B_Z : СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С НАБЛЮДЕНИЯМИ И 3-D МГД РАСЧЕТАМИ

М.И. Веригин, Г.А. Котова, В.В. Безруких

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, verigin@iki.rssi.ru

Хорошо известно уменьшение размеров магнитопаузы при увеличении динамического давления солнечного ветра ρV^2 при различных значениях звукового числа Маха Ms и достаточно больших значениях Альвеновского числа Маха $Ma \rightarrow \infty$. С уменьшением Ma поперечные компоненты межпланетного магнитного поля (ММП) начинают влиять на положение и форму магнитопаузы двояким образом: (i) увеличение $\sqrt{B_Y^2 + B_Z^2}$ приводит к увеличению давления в магнитошите около подсолнечной точки, а (ii) изменение B_Z компоненты ММП приводит дополнительно к изменению ее формы. Все вышеуказанные факторы включены в количественную аналитическую модель магнитопаузы, представленную в докладе. Результаты аналитического моделирования сравниваются с 3-D МГД расчетами положения магнитопаузы и с ее наблюдениями спутниками ПРОГНОЗ и ИНТЕРБОЛ.

Работа выполнена при частичной поддержке программы РАН 1.7 П.

ЭВОЛЮЦИЯ МАГНИТОСФЕРНОЙ КОНФИГУРАЦИИ НА ФАЗЕ РОСТА СУББУРИ: РОЛЬ АЗИМУТАЛЬНОЙ КОНВЕКЦИИ ПО ДАННЫМ ГЛОБАЛЬНОГО МГД МОДЕЛИРОВАНИЯ

Е.И. Гордеев, В.А. Сергеев

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, evgeny.i.gordeev@spbu.ru

На фазе роста суббури происходит значительное перераспределение магнитных потоков в ближней и средней части хвоста магнитосферы. Известно, что открытый поток долей растёт, в то время как замкнутый поток, пронизывающий нейтральный слой хвоста, уменьшается, формируя вытянутую конфигурацию магнитного хвоста. На сегодняшний день, основная концепция перестройки магнитной конфигурации хвоста на фазе роста связана с адиабатическим сжатием плазменного слоя за счет загрузки магнитного потока в доли. Такая физическая картина сформирована в процессе исследования эволюции двумерных квази-равновесных конфигураций. Качественное сходство наблюдаемых изменений в магнитосфере с результатами таких моделей привело к тому, что из поля зрения выпали существенно трёхмерные процессы, которые потенциально могут быть важными для изменения магнитосферной конфигурации. Данные глобального МГД моделирования показывают, что существенную роль в формировании вытянутой неустойчивой конфигурации ближнего хвоста на фазе роста суббури играет азимутальная конвекция магнитных трубок в области внутренней магнитосферы. Наиболее интенсивный перенос магнитного потока происходит на квази-дипольных линиях и направлен из ночной области в область дневного пересоединения. Количество потока, переносимого во внутренней магнитосфере, пропорционально интенсивности пересоединения на дневной магнитопаузе и в несколько раз превосходит транспорт потока в хвосте магнитосферы. Существенно неравномерная конвекция вдоль хвоста приводит к эффективному вытягиванию магнитных трубок, особенно в области перехода магнитной конфигурации из дипольной в вытянутую, и одновременному перемещению этой пограничной области ближе к Земле.

НАСЫЩЕНИЕ ПОЛЯРНОЙ ШАПКИ ВО ВРЕМЯ СУПЕРБУРЬ – РЕЗУЛЬТАТ КОНЕЧНОЙ СЖИМАЕМОСТИ МАГНИТОСФЕРЫ?

В.В. Мишин, Ю.А. Карavaев

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия vladm@iszf.irk.ru

Исследуются особенности насыщения роста площади полярной шапки при усилении солнечного ветра (СВ) по данным нескольких супербурь. Показано, что насыщение полярной шапки наблюдается при нарастании как динамического давления СВ, так и вертикального ММП обоих знаков. Насыщение реализуется не только во время прохождения межпланетного магнитного облака, но и при значительном усилении плотности СВ, когда тепловое давление сравнимо с давлением межпланетного магнитного поля. Мы предполагаем, что при таких внешних условиях насыщение обусловлено в первую очередь не процессами во внешней магнитосфере — уменьшением эффективности пересоединения на дневной магнитопаузе, а конечной сжимаемостью магнитосферы — торможением сжатия магнитопаузы вследствие быстрого роста геомагнитного поля при приближении к Земле, т.е. внутримангнитосферной структурой геомагнитного поля.

ВЫСОКОШИРОТНЫЕ ГЕОМАГНИТНЫЕ ЭФФЕКТЫ ИНТЕНСИВНОЙ МАГНИТНОЙ БУРИ 22-23 ИЮНЯ 2015 г.

**Л.И. Громова¹, С.В. Громов¹, А.Е. Левитин¹, Л.А. Дремухина¹,
Н.Г. Клейменова^{2,3}**

¹ИЗМИРАН, г. Москва (Троицк), Россия, gromova@izmiran.ru

²ИФЗ РАН, г. Москва, Россия

³ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

Исследуется одна из сильнейших магнитных бурь 24-го цикла солнечной активности. Обсуждаются геомагнитные возмущения во время этой бури на скандинавском профиле магнитометров IMAGE и обсерваториях в антиподном полушарии на основе анализа разностных магнитограмм, построенных относительно спокойного уровня 2009 г. Рассматриваются геомагнитные эффекты и при северном и южном направлениях межпланетного магнитного поля (ММП), обсуждается роль динамического давления солнечного ветра в наблюдаемых эффектах. Показано, что пространственно-временное распределение геомагнитных возмущений во время магнитной бури определяется направлением ММП (знаком B_z ММП). При южном направлении ММП основные геомагнитные возмущения наблюдаются в ночном-ранне-утреннем секторе авроральных широт, их экваториальная граница во многом определяется величиной динамического давления солнечного ветра. При изменении направления ММП на северное геомагнитная активность смещается в дневной сектор полярных широт. Полученные результаты сопоставляются с положением аврорального овала (по данным OVATION) и особенностями высокоширотной ионосферной конвекции. Приводится пространственно-временное распределение продольных электрических токов в Северном полушарии, полученное на основе модели ИЗМИРАН. Показано хорошее соответствие модельных результатов с данными наблюдений системы низко-апогейных спутников AMPERE.

ЭМПИРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ГЕОСИНХРОННОЙ ОРБИТЕ

В.А. Андреева, Н.А. Цыганенко

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, varandreeva@gmail.com

На основе многолетних данных измерений на спутниках серии GOES, мониторинга состояния межпланетной среды (OMNI), временных рядов индексов геомагнитной активности и современных методов эмпирического моделирования магнитосферы исследуется динамика вариаций магнитного поля на геостационарной орбите и возможность использования полученных результатов для построения оптимальных методов параметризации моделей, учитывающих разнообразие мод отклика околоземных токовых систем на состояние солнечного ветра. Уникальность геосинхронной орбиты заключается в том, что именно в этой области максимальны перестройки магнитной конфигурации во время бурь. Моделирование магнитного поля в ее окрестности позволяет извлечь максимальную информацию о характере связи основных геоэффективных параметров солнечного ветра с динамикой магнитосферы. В основе выбранного нами метода лежит представление компонент магнитного поля, измеряемых на геостационарной орбите, в виде разложений по набору базисных функций, с возможностью варьирования разрешения модели по солнечно-магнитной долготе. Коэффициенты разложений параметризуются динамическими управляющими переменными, отражающими конкуренцию между процессами внешнего воздействия (накачкой энергии, магнитного потока и т.д.) и внутренней диссипацией – как плавной, так и взрывной. Результаты моделирования сравниваются с расчётами по современным эмпирическим моделям, основанным на независимых спутниковых данных (Themis, Polar, Cluster).

УТЕЧКА МАГНИТОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ ЧЕРЕЗ МАГНИТОПАУЗУ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ КАППА-РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

И.П. Кирпичев ¹, Е.Е. Антонова ^{2,1}

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

²Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия
ikir@iki.rssu.ru

На основе отобранных событий пересечения спутниками THEMIS дневной магнитопаузы проведен анализ пространственного распределения высокоэнергичных (>10 кэВ) протонов. События классифицировались по типу изменения вектора магнитного поля при движении из магнитосферы в магнитослой (Phan et al). Угол поворота (сдвиговый угол) магнитного поля в плоскости LM-LMN-системы координат являлся количественной характеристикой, дающей название типу пересечения (< 30 low shear, > 60 - high shear). Магнитосферная плазма аппроксимировалась каппа-распределением. Наблюдаемая плазма магнитослоя позволяла явно выделить две существенно разных популяции - высоко и низко энергичную. Полное распределение этой плазмы удастся хорошо аппроксимировать би-каппа распределением. Показано, что для всех типов пересечения k-параметр и средняя энергия высокоэнергичной популяции имеют сопоставимые значения перед и под магнитопаузой. Концентрация сильно зависит от типа пересечения: high shear - небольшое падение, low shear - резкий провал. Это дает возможность сделать предположение о наличии утечки магнитосферной плазмы.

БАЛАНС ДАВЛЕНИЙ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ И МАГНИТОСФЕРНАЯ ДИНАМИКА

**Е.Е. Антонова^{1,2}, В.Г. Воробьев³, М.О. Рязанцева², И.П. Кирпичев²,
О.И. Ягодкина³, И.Л. Овчинников¹, В.В. Вовченко², М.В. Пулинец¹,
С.С. Знаткова¹, Н.В. Сотников⁴, М.В. Степанова⁵**

¹НИИЯФ имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

²ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, elizaveta.antonova@gmail.com

³Полярный Геофизический институт КНЦ РАН, г. Апатиты (Мурманская обл.)

⁴Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

⁵Университет Сантьяго де Чили, Чили

Приведены результаты наблюдений, свидетельствующих о сравнительно быстрой релаксации функций распределения электронов и ионов к каппа-распределениям. Такая релаксация позволяет использовать близкий к магнито-гидродинамическому подход к описанию магнитосферных явлений. В рамках МГД подхода, основным условием существования плазменных структур, при скоростях движения плазмы много меньших звуковой и альвеновской, является условие магнитоэстатического равновесия. При нарушении равновесия возникают быстрые течения плазмы и перестройка плазменной конфигурации.

Основной особенностью существования равновесных плазменных конфигураций в магнитосфере Земли является высокий уровень турбулентных флуктуаций и существование турбулентного переноса при вихревой диффузии. Анализируются условия, при которых возможно использование обычно применяемого условия вмороженности. Обсуждаются результаты работ, демонстрирующих соблюдение условия баланса давлений на магнитопаузе, поперек хвоста магнитосферы и в кольцевом токе. Показано, что анализ баланса давлений на магнитопаузе приводит к изменениям подходов к описанию процесса обтекания геомагнитного поля плазмой солнечного ветра, а анализ баланса давлений в кольцевом токе позволяет восстановить традиционную точку зрения о доминирующем вкладе кольцевого тока в Dst вариацию во время магнитных бурь.

ДИНАМИКА КОЛЬЦЕВОГО ТОКА В МАГНИТОСФЕРЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСОВ ДАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

В.В. Калегаев, Н.А.Власова

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, klg@dec1.sinp.msu.ru

Проведен сравнительный анализ результатов экспериментального исследования динамики кольцевого тока и теоретического моделирования основных токовых систем магнитосферы Земли для двух геомагнитных бурь 22-23.06.2015 и 17-18.03.2015. Используются экспериментальные данные с КА NOAA (POES) по потокам ионов с энергией 30-80 кэВ. На основе параболоидной модели магнитосферы Земли A2000 рассчитаны вклады крупномасштабных магнитосферных токов в Dst. Показано, что во время бури 22-23.06.2015, наряду с традиционным механизмом формирования бурового кольцевого тока, связанным с усилением магнитосферной конвекции и с суббуревыми интенсификациями, приводящими к инъекциям ионов из хвоста магнитосферы, действует второй механизм усиления кольцевого тока, порождаемый продолжительным и мощным импульсом давления солнечного ветра. Показано, что развитие кольцевого тока во время геомагнитной бури 17-18.03.2016 обусловлено только традиционным механизмом.

МЕТОДИКИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА КРУГОВЫХ ПОЛЯРНЫХ ОРБИТАХ И ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ГРАНИЦЫ ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ НА ВЫСОТАХ ДО 1000 КМ

В.О. Баринова, В.В. Калегаев, И.Н. Мягкова, В.Е. Еремеев, Д.А. Парунакян, Д. Нгуен, О.Г.Баринов
НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, alisawera@gmail.com

В настоящей работе представлена методика определения высокоширотной границы внешнего радиационного пояса Земли (РПЗ) с использованием данных измерений потоков электронов с энергией 100-200 кэВ на ИСЗ «КОРОНАС-Фотон» (высота 500 км, наклонение 82,5°), Метеор М1 и Метеор М2, имевших круговые полярные орбиты (высота 825 км, наклонение 98,8°), и результаты использования данной методики в виде эмпирической модели высокоширотной границы внешнего РПЗ.

Разработанная методика основана на автоматизированной обработке данных измерений потоков захваченных электронов с энергиями 100-200 кэВ, сводящейся к поиску интервалов монотонных возрастных потоков на высоких широтах, характерных для прохождений внешнего радиационного пояса, регистрируемого приборами на КА с круговыми полярными орбитами. Обработка происходит следующим образом: на первом этапе обрабатываются данные, усредненные по 30 секунд, а на втором этапе граница уточняется по данным с разрешением 1 секунда. Основная идея методики автоматического определения высокоширотной границы внешнего РПЗ заключается в поиске интервала минимальной длительности, при которой наблюдалось монотонное возрастание потоков при движении к экватору в области $4 < L < 12$, а полное количество получаемых точек в каждом полушарии соответствует количеству ожидаемых пересечений радиационных поясов (количество витков КА $\times 2$). Поиск ведется от локального максимума параметра Мак-Илвайна L .

На основе полученных данных построена эмпирическая модель высокоширотной границы внешнего радиационного пояса Земли, зависящая от мирового времени (UT), Dst-вариации и Kp-индекса. Определен сдвиг границы к экватору с ростом геомагнитной активности. Проведен анализ изменения среднего положения границы в зависимости от Kp-индекса за 2.5 года.

Авторами также разработан алгоритм, позволяющий осуществлять выборку данных по времени, величине параметра Мак-Илвайна L , магнитному локальному магнитному времени (MLT) для различных экспериментов на ИСЗ с круговой полярной орбитой. На основании данного алгоритма создана система, позволяющая осуществлять систему фильтрации данных экспериментов на ИСЗ с круговыми полярными орбитами («Ломоносов», «Вернов», Метеор-М №1 и Метеор-М №2, ИСЗ серии КОРОНАС и т. д.) по заданным параметрам.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ, ВЫСЫПАЮЩИХСЯ В АТМОСФЕРУ ЗЕМЛИ

**Г.А. Базилевская¹, М.С. Калинин¹, М.Б. Крайнев¹, В.С. Махмутов¹,
А.Р. Новакова¹, А.К. Свиржевская¹, Н.С. Свиржевский¹, Ю.И. Стожков¹,
Б.Б. Гвоздевский²**

¹ФИАН, г. Москва, Россия,

²ПГИ, г. Апатиты, Россия, bazilevs@sci.lebedevi.ru

С 1957 г. по настоящее время ФИАН осуществляет баллонные измерения потоков заряженных частиц на разных уровнях атмосферы. В этом эксперименте зарегистрировано в атмосфере полярных широт более 500 случаев повышения радиации, вызванных рентгеновским излучением электронов, высыпающихся из магнитосферы. Эти события происходят как во время главной фазы магнитной бури, так и на фазе ее восстановления. Согласно современным представлениям, ускорение электронов и их потери происходят в результате взаимодействия с электромагнитными волнами в магнитосфере, причем быстрое ускорение до нескольких сотен кэВ происходит при взаимодействии с электромагнитными ион-циклотронными волнами (EMIC), тогда как ускорение до энергий выше 1 МэВ происходит под действием хоров-вистлеров в течение более длительного времени. Отсюда можно предположить, что в главной фазе бури высыпаются менее энергичные электроны. Представлены результаты оценки энергии высыпающихся электронов во время главной фазы бури и фазы восстановления с использованием глубины проникновения в атмосферу тормозного рентгеновского излучения электронов.

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ПОЛОЖЕНИЕ ПЛАЗМОПАУЗЫ ПО ДАННЫМ ПРОЕКТА «ИНТЕРБОЛ»

Г.А. Котова, М.И. Веригин, В.В. Безруких

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия, kotova@iki.rssi.ru*

По данным измерений холодной плазмы с помощью широкоугольных анализаторов на космических аппаратах Интербол-1 и Магион-5 можно определить положение плазмопаузы по резкому падению плотности с увеличением L-оболочки и визуально по временной последовательности энергетических спектров ионов. Показано, что граница, определенная по падению плотности приблизительно совпадает с плазмопаузой, определенной как последняя замкнутая линия потока плазмы при физическом моделировании распределения плазмы в плазмосфере. Основным фактором, определяющим положение плазмопаузы, является электрическое поле конвекции в магнитосфере, которое в свою очередь определяется потоком солнечного ветра, набегающим на магнитосферу Земли. В настоящей работе рассмотрена зависимость положения плазмопаузы от параметров солнечного ветра.

Работа выполнена при частичной поддержке программы РАН П7.

ДОЛГОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПЛАЗМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ ИНТЕРБОЛ

Д.В. Чугунин, Г.А. Котова, М.В. Клименко
ИКИ РАН, г. Москва, Россия, dimokch@iki.rssi.ru

На данный момент существует целый ряд моделей плазмосферы. Часть из них основывается только на эмпирических зависимостях, полученных на основе измерений на спутниках и исследований распространения вистлеров, другая часть использует теоретическое моделирование. Однако все модели учитывают только зависимость наполнения магнитной силовой трубки плазмосферы от параметров MLT и L. В тоже время моделирование и зондирование ионосферы показывают, что должна существовать зависимость истечения плазмы из ионосферы в магнитосферу от долготы. В данном исследовании предпринята попытка на основе измерений на спутниках Интербол 1 и 2 проверить существование такой зависимости.

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ СПЕКТРОВ АВРОРАЛЬНОГО КИЛОМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Т.М. Буринская, М.М. Шевелёв

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия, tburinsk@iki.rssi.ru*

Авроральное километровое излучение (АКР) является самым мощным естественным нетепловым излучением, распространяющимся от Земли. Исследование процессов формирования спектров АКР проводится на протяжении нескольких десятилетий, однако до сих пор не построена теория, на основании которой можно получить спектральные характеристики, наблюдаемые экспериментально. Теоретические оценки коэффициентов усиления волн внутри источника, как правило, дают значения намного меньше реально существующих. В предыдущих исследованиях одного из авторов было показано, что для объяснения возможности набора энергии волнами АКР до экспериментально измеряемых значений необходим учет глобальной неоднородности магнитного поля, наличие которой ведет к изменению траектории движения луча, вследствие которого для ряда волн возможно увеличение длительности их пребывания внутри области усиления и, как следствие, возрастание интенсивности этих волн. В настоящей работе представлены результаты расчетов генерации, усиления и распространения АКР в дипольном магнитном поле в узкой трехмерной плазменной каверне, в которой вдоль магнитного поля распространяется поток слаборелятивистских электронов. Расчеты были проведены для нескольких тысяч волн, возбуждающихся за счет электронной циклотронной мазерной неустойчивости с различными начальными волновыми векторами. Показано, что хотя источником свободной энергии для развития этой неустойчивости является поперечная энергия электронов, учет продольной скорости электронов приводит к ряду новых эффектов, наиболее важным из которых является уширение частотного диапазона волн, обладающих наибольшими коэффициентами усиления. Представлены результаты расчетов, выполненных для набора волновых пакетов, стартующих из центра каверны (L-оболочка 10,5) на высоте, где локальная циклотронная частота равна 200 Кгц. Значения физических параметров внутри каверны и в окружающей плазме соответствуют экспериментально наблюдаемым на этой высоте в авроральной области. Определена область значений волновых векторов и их направлений на старте, при которых коэффициенты усиления волн на выходе из источника достигают наибольших значений, построена зависимость коэффициентов усиления от частоты волны.

ФЛАНГОВАЯ АСИММЕТРИЯ МИНИ-МАГНИТОСЕРЫ, ВЫЗВАННАЯ ХОЛЛОВСКИМ ЭФФЕКТОМ

**И.Ф. Шайхисламов, В.Г. Посух, А.В. Мелехов, Ю.П. Захаров,
Э.Л. Бояринцев, П.А. Прокопов, А.Г. Березуцкий, И.Б. Мирошниченко,
А.Г. Пономаренко**
ИЛФ СО РАН, г. Новосибирск, Россия, ildars@ngs.ru

Магнитосфера сравнимая по размерам с ионной плазменной длиной, или мини-магнитосфера, обладает необычными чертами, как это было предсказано в численном моделировании и в недавних экспериментах авторов доклада. В настоящей работе мы исследуем значительное различие между западным и восточным флангами мини-магнитосферы. Эта фланговая асимметрия впервые была обнаружена в пионерских опытах с Терреллой 60-х годов [1, 2], а также детально подтверждена в наших предыдущих опытах [3]. Она проявляется в глубоком проникновении плазмы внутрь западного фланга и формировании обратного тока, который изменяет магнитную структуру мини-магнитосферы. В противоположность этому восточный фланг отличается четко выраженным пограничным слоем и плазменной полостью. В работе предлагается объяснение эффектов проникновения плазмы и обратного тока в рамках модели движения тестовых частиц. Эта модель позволяет в простых терминах проиллюстрировать Холловскую физику, которая, как было обнаружено в наших предыдущих экспериментах [4, 5], скрывается за эффектом проникновения плазмы и протекания дополнительных токов во фронтальной части мини-магнитосферы. Из-за большого Ларморовского радиуса ионы отражаются дипольным полем на восточном фланге и закручиваются внутрь дипольного поля на западном. В эксперименте обратный ток на западном фланге был прямым образом измерен поясом Роговского. Сравнение с ионным током, измеренным зондом Ленгмюра показало их хорошее совпадение по величине и пространственной структуре. Таким образом, показано, что обратный ток формируется пролетными ионами, что является главным подтверждением Холловской модели фланговой асимметрии мини-магнитосферы. Основные результаты опубликованы в работе [6]. Работа выполнена при поддержке РФФИ гранты №14-29-06036, 16-52-14006, программы №9 президиума РАН, Программы исследований СО РАН (проект II.10.1.4, 01201374303).

ЛИТЕРАТУРА

1. Cladis J, Miller T and Baskett J 1964 Interaction of a Supersonic Plasma Stream with a Dipole Magnetic Field // J. Geophys. Res. V. 69, №11. P. 2257-72.
2. Kawashima N. and Mori S. 1965 Experiment on the Intrusion of Plasma into a Simulated Magnetic Cavity // Physics of Fluids. V. 8. P. 378.
3. Пономаренко А.Г., Антонов В.М., Мелехов А.В., Бояринцев Э.Л., Посух В.Г. 2004 Моделирование нестационарных процессов в солнечном ветре и их воздействий на магнитосферу Земли // Отчет по теме Минпромнауки «Исследование солнечной активности и ее проявлений в околоземном пространстве и земной атмосфере». – Новосибирск.: ИЛФ СО РАН. Ч. 3. - 28 с.
4. Shaikhislamov I.F., Antonov V.M., Zakharov Y. P., Boyarintsev E.L., Melekhov A.V., Posukh V.G., & Ponomarenko A.G. 2013 Mini-magnetosphere: Laboratory experiment, physical model and Hall MHD simulation // Advances in Space Research, 52 (3), 422-436.
5. Shaikhislamov I.F., Zakharov Y. P., Posukh V.G., Melekhov A.V., Antonov V.M., Boyarintsev E.L., & Ponomarenko A. G. 2014 Experimental study of a mini-magnetosphere // Plasma Physics and Controlled Fusion, 56 (2), 025004.
6. Shaikhislamov I.F., Posukh, V.G., Melekhov, A.V., Zakharov, Y.P., Boyarintsev, E.L., & Ponomarenko, A.G. 2015 West-east asymmetry of a mini-magnetosphere induced by Hall effects. Plasma Physics and Controlled Fusion, 57(7), 075007.

ATMOSPHERE EXPANSION AND MASS LOSS OF A MAGNETIZED CLOSE-ORBIT GIANT EXOPLANET: TOWARDS MAGNETIC PROTECTION OF “HOT JUPITERS”

M.L. Khodachenko^{1,2}, **I.F. Shaikhislamov**³, **H. Lammer**¹, **I.I. Alexeev**²,
P.A. Prokopov³, **E.S. Belenkaya**²

¹*Space Research Institute, Austrian Acad. Sci., Graz, Austria,*
maxim.khodachenko@oeaw.ac.at

²*Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Moscow, Russia*

³*Institute of Laser Physics SB RAS, Novosibirsk, Russia*

Close location of many known exoplanets to their host stars results in the intensive heating and ionization of the planetary upper atmospheres by the stellar X-ray and EUV radiation, which in their turn lead to the expansion of the ionized atmospheric material, contributing to the so-called planetary thermal mass loss. The expanding atmosphere is picked up by the stellar wind, resulting in a non-thermal mass loss. Both the thermal and non-thermal mass loss processes acting simultaneously contribute the total planetary mass loss and require their detailed description and quantifying. The planetary intrinsic magnetic field is known to be a crucial factor that influences the planetary mass loss. Its action has two major aspects. First, the large-scale magnetic fields and electric currents, related to the planetary magnetism, form the planetary magnetosphere, which acts as a barrier for the upcoming stellar wind shielding the upper atmosphere against direct impact of the stellar plasmas. Second, the magnetic field of the inner magnetosphere influences the streaming of the expanding planetary atmospheric plasma and therefore affects its escape. Understanding of the protective role of planetary magnetism requires an appropriate model of an exoplanetary magnetosphere which consistently describes the major physical processes in the nearby exoplanetary space plasmas.

We present here a generalized model of a large-scale magnetosphere of a close orbit magnetized giant exoplanet, so-called “Hot Jupiter” (HJ) and consider several key phenomena which influence the planetary mass loss. Our approach is based on a combination of two kinds of models: 1) a generalized paraboloid magnetosphere model (PMM), which calculates a large-scale magnetosphere topology produced by the variety of magnetic field and electric current sources, e.g., planetary magnetic dipole, magnetopause and magnetotail currents, etc. (Khodachenko, et al. 2012); and 2) a 2D multi-fluid MHD model of the expanding upper atmosphere of a planet, heated and ionized by the stellar XUV radiation, which incorporates the basic hydrogen photo-chemistry, gravitational and rotational forces, and takes into account planetary magnetic field and a solar-type XUV spectrum (Khodachenko, et al. 2015, Shaikhislamov, et al. 2014, 2016). An important feature of conditions in a HJ’s magnetosphere consists in the presence of an expanding atmospheric material which forms an escaping planetary wind (PW), not typical for the solar system planets. The interaction of PW with the rotating planetary magnetic dipole results in the formation of an extended a current-carrying magnetodisk around the planet which is shown to play a crucial role in the global scaling of the planetary magnetospheric shield (Khodachenko, et al. 2012). The MHD modelling reveals the details of the HJ’s inner magnetosphere topology, such as the close-to-planet “dead-zone” filled with the stagnated hot plasma and “wind-zone” where the escaping PW is streamed away.

This work was supported by the Austrian Science Foundation (projects I2939-N27, S11606-N16 and S11607-N16), Leverhulme Trust grant IN-2014-016, as well as grants No. 14-29-06036 and No.16-52-14006 of the Russian Fund of Basic Research.

REFERENCES

1. Khodachenko, M.L., et al., ApJ., 2012, 744, art.id.70.
2. Khodachenko, M.L., et al., ApJ., 2015, 813, art.id.50.
3. Shaikhislamov, I. F. et al. 2014, ApJ, 795, art.id.132
4. Shaikhislamov, I. F. et al. 2016, ApJ, in press.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОСФЕРЫ МЕРКУРИЯ С ПОМОЩЬЮ ГИБРИДНО-ПАРАБОЛОИДНОЙ МОДЕЛИ

**Д.А. Парунакян¹, С.Дядечкин², И.И. Алексеев¹, Е.С. Беленькая¹,
М.Л. Ходаченко^{1,3}, Э. Калио², М. Алхо²**

¹НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, *dp@dp.io*

²Aalto University, г. Хельсинки, Финляндия

³Space Research Inst., Austrian Academy of Sciences, г. Грац, Австрия

В данной работе мы предлагаем новый подход к моделированию планетных магнитосфер, включающий в себя комбинацию гибридной модели и параболоидной модели магнитосферы. Объединенная модель лишена отдельных недостатков, свойственных каждому из этих классов моделей: гибридные модели нуждаются в использовании начального магнитного поля для ускоренного получения самосогласованного стационарного решения, а полуэмпирическая параболоидная модель магнитосферы содержит лишь косвенную информацию о магнитосферной плазме.

Предложенная нами модель была использована для описания магнитосферы Меркурия и изучения магнитного поля в межпланетной среде вблизи планеты. Данный подход дает полную картину структуры магнитосферы Меркурия. Мы сравниваем положение головной ударной волны и магнитопаузы, полученные с помощью комбинированной модели, с результатами, полученными с помощью параболоидной модели магнитосферы без использования гибридного моделирования. Баланс динамического и магнитного давления на магнитопаузе используется для тестирования согласованности модели. Сравнение предсказаний модели с наблюдательными данными, полученными магнитометром на борту космического аппарата MESSENGER при пролете по траектории утро-вечер, демонстрирует хорошую точность модели.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ В ЭЛЕКТРОННО-ЦИКЛОТРОННОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ В КРУПНОМАСШТАБНОЙ МАГНИТНОЙ ЛОВУШКЕ ГДЛ

**Д.А. Мансфельд¹, А.Г. Шалашов^{1,2}, М.Е. Викторов¹, С.В. Голубев¹,
Е.Д. Господчиков^{1,2}, П.А. Багрянский², Е.И. Пинженин², А.Л. Соломахин²,
Д.В. Яковлев²**

¹*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

²*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск*

Проведено экспериментальное исследование широкополосного импульсного излучения плазмы в диапазоне 1-50 ГГц и сопутствующих быстрых процессов (высыпание частиц, вспышки рентгеновского излучения), связанных с возникновением электромагнитных неустойчивостей на быстрых электронах, возникающих при СВЧ пробое и нагреве плазмы на установке ГДЛ (Газодинамическая ловушка) в ИЯФ СО РАН. Результаты эксперимента свидетельствуют о наличии как минимум трех различных процессов генерации стимулированного (мазерного) излучения малой неравновесной фракцией быстрых электронов, формируемых в процессе ЭЦР нагрева или пробоя плазмы. Показано, что наблюдаемые неустойчивости являются основным каналом потерь быстрых электронов из открытой магнитной ловушки. Исследование кинетических неустойчивостей неравновесной плазмы представляется важным в рамках лабораторного моделирования процессов взаимодействия волна-частица в условиях космической плазмы.

КООРДИНИРОВАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПОТЕРЬ АТМОСФЕРЫ МАРСА И МЕЖПЛАНЕТНОЙ ОБСТАНОВКИ НА СПУТНИКАХ MARS-EXPRESS И MAVEN

**В.Н. Ермаков^{1,2}, Л.М. Зеленый¹, О.Л. Вайсберг¹, Е.А. Семенов¹,
Д.А. Моисеенко¹, Р.Н. Журавлев¹, А.Ю. Шестаков¹**

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

²НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия, ermakov@iki.rssi.ru

Марс теряет свою атмосферу в результате захвата и ускорения ионов экзосферы магнитным полем солнечного ветра, а также в результате воздействия солнечного ветра на ионосферу. До начала работы спутника MAVEN на орбите Марса в конце 2014 года исследование влияния параметров солнечного ветра, межпланетного магнитного поля (ММП) и нестационарных явлений в межпланетной среде (СМЕ, CIR, межпланетных ударных волн) на ускользание атмосферных ионов Марса в космическое пространство проводилось по данным измерений с одного спутника. В то же время, ввиду значительно более коротких характерных времен изменения параметров солнечного ветра и ММП по сравнению с периодами обращения спутников вокруг Марса, необходимы одновременные наблюдения на двух и более спутниках. После того как к работающему на орбите Марса спутнику Mars-Express присоединился спутник MAVEN, была открыта эра много-спутниковых исследований Марса.

В работе проводилось исследование пространственного распределения средних потоков тяжелых ионов (O^+ и O_2^+) и их скоростей около Марса по данным измерений спутника Mars-Express с учетом условий в солнечном ветре и межпланетной среде, измеренных на спутнике MAVEN. В том числе исследовались потоки тяжелых ионов в хвосте Марса в системе координат MSE, учитывающей направление ММП, измеренного на спутнике MAVEN. По результатам более чем годовых совместных измерений на этих спутниках были получены следующие результаты:

Показано, что суммарно за периоды нестационарных потоков солнечного ветра величина потерь тяжелых атмосферных ионов увеличивается примерно в 1.5 раза по сравнению с периодами квази-стационарного потока солнечного ветра.

Показано, что в магнитных координатах MSE поток тяжелых энергичных ионов, захваченных солнечным ветром, является асимметричным и соответствует ранее предложенной для Венеры модели аккреционного хвоста.

ON THE PALEO-MAGNETOSPHERES OF EARTH AND MARS

M. Scherf, M. Khodachenko, I. Alexeev, E. Belenkaya, M. Blokhina, C. Johnstone, J. Tarduno, H. Lammer, L. Tu, M. Guedel
Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences, Graz, Austria,
manuel.scherf@oeaw.ac.at

The intrinsic magnetic field of a terrestrial planet is considered to be an important factor for the evolution of terrestrial atmospheres. This is in particular relevant for early stages of the solar system, in which the solar wind as well as the EUV flux from the young Sun were significantly stronger than at present-day. We therefore will present simulations of the paleo-magnetospheres of ancient Earth and Mars, which were performed for ~4.1 billion years ago, i.e. the Earth's late Hadean eon and Mars' early Noachian. These simulations were performed with specifically adapted versions of the Paraboloid Magnetospheric Model (PMM) of the Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of the Moscow State University, which serves as ISO-standard for the Earth's magnetic field (see e.g. Alexeev et al., 2003).

One of the input parameters into our model is the ancient solar wind pressure. This is derived from a newly developed solar/stellar wind evolution model, which is strongly dependent on the initial rotation rate of the early Sun (Johnstone et al., 2015). Another input parameter is the ancient magnetic dipole field. In case of Earth this is derived from measurements of the paleomagnetic field strength by Tarduno et al., 2015. These data from zircons are varying between 0.12 and 1.0 of today's magnetic field strength. For Mars the ancient magnetic field is derived from the remanent magnetization in the Martian crust as measured by the Mars Global Surveyor MAG/ER experiment. These data together with dynamo theory are indicating an ancient Martian dipole field strength in the range of 0.1 to 1.0 of the present-day terrestrial dipole field.

For the Earth our simulations show that the paleo-magnetosphere during the late Hadean eon was significantly smaller than today, with a standoff-distance r_s ranging from ~3.4 to 8 R_e , depending on the input parameters. These results also have implications for the early terrestrial atmosphere. Due to the significantly higher EUV flux, the exobase of a nitrogen dominated atmosphere would most probably have been extended above the magnetopause, leading to enhanced atmospheric erosion, whereas a CO₂-dominated atmosphere would have prevented atmospheric loss in such a scenario. Our simulations also show that the Martian paleo-magnetosphere during the early Noachian must have been comparable in size to the terrestrial paleo-magnetosphere, hence a CO₂-rich atmosphere should have been protected by the magnetic field from rapid atmospheric erosion until the cessation of the Martian dipole field ~4.0 billion years ago. Finally, our results favour the idea that the young Sun must have been a slow to moderate rotator. The solar wind and EUV flux from a fast rotating Sun would have been so intense, that most probably the ancient atmospheres of Mars and Earth would not have survived.

The authors acknowledge the support of the FWF NFN project "Pathways to Habitability: From Disks to Active Stars, Planets and Life", in particular its related sub-projects S11604-N16, S11606-N16 and S11607-N16. This publication is supported by the Austrian Science Fund (FWF) and the US NSF (EAR1015269 to JAT).

REFERENCES

1. Alexeev, I.I., Belenkaya, E.S., Bobrovnikov, S.Y., and Kalegaev, V.V. (2003), Modelling of the electromagnetic field in the interplanetary space and in the Earth's magnetosphere, *Space Sci. Rev.*, 107, 7-26.
2. Johnstone, C.P., Güdel, M., Brott, I., and Lueftinger, T. (2015), Stellar winds on the main-sequence: II. The evolution of rotation and winds, *Astron. Astrophys.*, 577, id.A27.
3. Tarduno, J.A., Cottrell, R.D., Davis, W.J., Nimmo, F., and Bono, R.K. (2015), A Hadean to Paleoproterozoic geodynamo recorded by single zircon crystals, *Science*, 349, 521-524.

секция ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЦА

О ПРИРОДЕ ГЕНЕРАЦИИ МИКРОВСПЛЕСКОВ В ДЕЦИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

В.М.Богод¹, Л.В. Яснов², О.М. Ступишина²

*¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Н.Архыз, КЧР,
vbog_spb@mail.ru*

*²Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия*

Проведено исследование микровсплесков (МВ) дециметрового диапазона в активных областях на Солнце. Предложено теоретическое объяснение природы и механизма генерации дециметровых МВ, основанное на рассмотрении явления двойного плазменного резонанса и последующей трансформации верхнегибридных волн при их взаимодействии с низкочастотными плазменными волнами. Показано, что МВ должны возникать в активной области между магнитными полями противоположной направленности, где величина напряженности магнитного поля в переходной области достигает значений 100-150 Гс. Приведены расчетные спектральные характеристики МВ с учетом тормозного и циклотронного поглощений и с учетом инкремента верхнегибридных волн. Показано, что наиболее вероятной областью генерации МВ в солнечной атмосфере является переходная область от медленноменяющейся S-компоненты к всплесковой В-компоненте. МВ наблюдались в диапазоне от 1,036 до 1,306 ГГц, что согласуется с модельными расчетами.

СРАВНЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗЕБРА-СТРУКТУРЫ В СОЛНЕЧНОМ РАДИОИЗЛУЧЕНИИ

Г.П. Чернов¹, В.В. Фомичев¹, Р.А. Сыч²

¹ИЗМИРАН, г.Москва (г.Троицк), Россия, gchernov@izmiran.ru

²Институт солнечно-земной физики, г.Иркутск, Россия

В литературе продолжается дискуссия о природе зебра-структуры в радиовсплесках IV типа, несмотря на десяток предложенных моделей. Прежде всего это связано с большим разнообразием полос в каждом новом явлении, когда становится невозможным объяснение всех тонких деталей каким либо одним механизмом. Наиболее распространенным объяснением считается излучение на различных уровнях двойного плазменного резонанса (ДПР), где верхняя гибридная частота (ω_{UH}) становится равной целому числу электронных циклотронных гармоник $s\omega_{Be}$: $\omega_{UH} = (\omega_{Pe}^2 + \omega_{Be}^2)^{1/2} = s\omega_{Be}$. В работе Karlicky, Yasnov, 2015, A&A было показано, что зебра структура может возбуждаться в рамках ДПР в переходном слое только в узком интервале высот с повышенной плотностью с большим градиентом (модель Selhost et al. 2008, A&A, 488,1079) без объяснения причин создания такого узкого горба плотности. Частотный диапазон зебры ограничивается со стороны высоких частот тормозным поглощением, со стороны низких частот поглощением на циклотронных гармониках. Показано также, что барометрическая формула плотности не может использоваться в источниках зебры. В таких условиях становится ясным, что механизм ДПР не может обеспечить большого количества полос зебры. В недавней работе (Benásek, Karlicky, Yasnov, 2016, A&A) проведены новые расчеты инкрементов верхних гибридных волн в условиях ДПР с кольцевым распределением быстрых электронов с релятивистскими поправками для различных температур фонового плазмы и быстрых частиц. Показано, что четкий максимум инкремента получается только для скоростей электронов = 0.1 с с узкой дисперсией (для скорости = 0.2 с инкремент резко уменьшается и максимумы замываются в континууме уже для нескольких циклотронных гармоник s . Тем самым эти расчеты нивелируют все предыдущие и показывают неэффективность ДПР – механизма. При этом забывается, что полосы зебры еще обнаруживают сверхтонкую структуру миллисекундной длительности.

Одним из важных альтернативных механизмов можно считать взаимодействие плазменных волн с вистлерами: $l + w \rightarrow t$. Здесь будет показана возможность объяснения основных особенностей полос зебры на примере того же явления 1 августа 2010 г. в модели с вистлерами. Только в этой модели удастся объяснить следующие элементы тонкой структуры: наложение радиоволокон (fiber bursts) на ЗС, когда они ограничивают ее с НЧ края в дециметровом диапазоне (или с ВЧ края в микроволновом) в стандартной модели вспышки; появление ЗС в пульсирующем режиме в виде хаотичных мгновенных столбиков (почти без их дрейфа) с беспорядочной длительностью от 0.1 с до 6 с; волнообразный или пилообразный частотный дрейф полос ЗС в столбиках; частотное расщепление полос ЗС, плавный (или хаотичный) рост частотного разделения между полосами с частотой; сверхтонкую структуру полос ЗС и континуума пульсирующим режимом спектра вистлеров с ионно-звуковыми волнами. Реальная значимость ряда новых моделей ЗС требует дальнейших исследований. Это относится к моделям на интерференционных эффектах, распространении радиоволн через неоднородности, на взрывной неустойчивости, на модуляции континуума распространяющейся быстрой магнитозвуковой волной.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ РАДИОВСПЛЕСКОВ II ТИПА С ПОМОЩЬЮ НИЗКОЧАСТОТНОГО РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРА LOFAR

**А.Б. Шварцбург^{1,2}, С.А. Пулинец¹, Н.С. Ерохин¹, А. Кранковски³,
Б. Домбровски³**

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия

²ОИВТ РАН, г. Москва, Россия

³ЦЕНТР РАДИОДИАГНОСТИКИ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА,
Варминьско-Мазурский университет, г. Ольштын, Польша

На основе разработанного недавно физического механизма нелинейного эффекта резонансного удвоения частот радиоволн в неоднородной магнитоактивной плазме анализируются данные регистрации второй гармоники солнечных радиовсплесков II типа. Измерения производились с помощью низкочастотного радиоинтерферометра LOFAR. Интерферометр использует всенаправленные дипольные антенны в виде фазированной решётки. Антенны расположены в различных странах Европы и работают в диапазоне частот 10-240 МГц. Высокая разрешающая способность радиоинтерферометра позволяет не только регистрировать радио излучения, но и определять источник излучения на Солнце. В нашем исследовании использовались данные трех станций польской части радиоинтерферометра LOFAR, называемой POLFAR для тех промежуток времени, когда одновременно наблюдались первая и вторая гармоники радиовсплесков. Приводятся оценки и масштабы плазменной неоднородности, которая может создать условия для генерации второй гармоники.

ПРОСТРАНСТВЕННО РАЗРЕШЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ IIIb РАДИОВСПЛЕСКОВ ПО ДАННЫМ LOFAR В ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ 30-80 МГц

И.Н. Шарыкин^{1,2}, А.А. Кузнецов², Э.П.Контарь³

¹*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия, ivan.sharykin@phystech.edu*

²*Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, г.Иркутск, Россия*

³*University of Glasgow, School of Astronomy and Astrophysics, Glasgow, UK*

В работе анализируются пространственно разрешенные спектральные наблюдения двух IIIb радиовсплесков, выполненные радиобсерваторией LOFAR (Low Frequency Array) в диапазоне частот 30-80 МГц. Главной особенностью IIIb радиовсплесков является их тонкая частотная структура. На фоне общего дрейфа характерного для радиовсплесков III типа на спектрограммах выделяются отдельные слабодрейфующие структуры «стрии». Целью работы является исследование спектрально-временных характеристик стрий и поиск основных закономерностей поведения источников радиоизлучения, связанных со стриями, в зависимости от частоты. В работе приводятся результаты исследования свойств стрий в зависимости от частоты по данным LOFAR. Данная радиобсерватория позволяет проводить пространственно разрешенные наблюдения радиоизлучения в более чем 4000 спектральных каналах в частотном диапазоне 30-80 МГц с высоким временным разрешением (до 0.01 секунды). Показано, что частотный дрейф стрий уменьшается с частотой, тогда как характерная спектральная ширина увеличивается. Показано, что перемещение и уширение источников радиоизлучения, ассоциированных со стриями, связано с распространением радиоволн в солнечной короне.

КРУПНЫЕ ВСПЫШКИ В 24-ОМ ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Г.В. Якунина¹, Е.А. Бруевич¹, Т.В. Казачевская²

¹ГАИШ, МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия yakunina@sai.msu.ru, red-field@yandex.ru;

²ИПГ им. Е.К. Федорова, г. Москва, Россия, kazachevskaya@mail.ru

Проведен анализ крупных вспышек (рентгеновский класс $> M5$) по данным GOES-15 в 24 цикле солнечной активности. В работе использованы данные орбитальных станций GOES-15, RHESSI и SDO/EVE (линии EUV-диапазона) в период 2010-2016 гг. Из данных каталога МЦД «Preliminary Current Catalog of Solar Flare Events with X-ray Classes M1-X17.5 24 cycle of Solar Activity (I.2009 – XII.2015)» для 115 вспышек M5 – X7 оценены величины полной энергии вспышки E (Джоуль/м²) в рентгеновском диапазоне и построен энергетический спектр (dN/dE).

Вычислен среднемесячный вспышечный индекс (FI) в 24 цикле и проведено сравнение с вариациями FI в 21-23 циклах по данным National Geophysical Data Center, Solar Data Service, <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/solar/solardataservices.html>. Исследованы глобальные индексы солнечной активности в 21—24 циклах, связанные как со вспышечной активностью, так и с общими проявлениями активности на разных высотах атмосферы: среднемесячные значения Flare Index (FI), Solar Sunspot Number (SSN), поток радиоизлучения 10.7 см ($F_{10.7}$), Total Solar Irradiation (TSI), Mg II 280 нм c/w и потоком излучения в линии водорода Лайман – альфа (FLy- α). Изучена связь среднемесячных значений FI с SSN, TSI, MgII c/w, FLy- α в 24 цикле (линейная и квадратичная регрессия). Максимальные потоки в крупных рентгеновских вспышках сравнены с протонными событиями в 3-х диапазонах >10 МэВ, >50 МэВ, >100 МэВ. Проанализированы соответствующие изменения геомагнитного индекса K_p в сравнении с рентгеновскими и протонными событиями, а также проведено сравнение времени задержек максимумов потоков протонов и максимума K_p от момента максимума вспышек в рентгене.

МЕЛКОМАСШТАБНОЕ ДИНАМО В ЗЕРКАЛЬНО АСИММЕТРИЧНОЙ СРЕДЕ И НАСЫЩЕНИЕ СОЛНЕЧНОГО ДИНАМО

Д.Д. Соколов, Е.В. Юшков, А.С. Лукин
МГУ, г. Москва, Россия, sokoloff.dd@gmail.com

Возникновение и циклическая эволюция крупномасштабного магнитного поля Солнца связывается с работой солнечного динамо среднего поля, основанного на совместном действии дифференциального вращения и зеркальной асимметрии конвективной среды. Нелинейная стабилизация этой неустойчивости в свою очередь связывается с балансом магнитной спиральности. В самом деле, магнитная спиральность является невязким интегралом движения. Крупномасштабное магнитное поле, возникающее в результате работы динамо, является спиральным. Эту спиральность приходится компенсировать за счет спиральности мелкомасштабного магнитного поля, которое возникает в том же процессе, что и крупномасштабное магнитное поле. Это, естественно, меняет степень зеркальной асимметрии конвективной среды, что и приводит к подавлению спиральности.

Проблема, однако, состоит в том, что на Солнце может работать и, видимо, действительно работает другой механизм динамо, т.н. мелкомасштабное динамо. Для его работы не нужна зеркальная асимметрия, но он может работать и в зеркально асимметричной среде. Этот механизм производит мелкомасштабное магнитное поле, которое для зеркально симметричной среды оказывается тоже зеркально симметричным. Мы показываем, что в зеркально асимметричной среде поле, генерируемое механизмом мелкомасштабного динамо, оказывается зеркально асимметричным. Обнаруженный источник зеркальной асимметрии представляется необходимым учитывать при описании баланса магнитной спиральности в задаче солнечного и других видов динамо.

ФОРМИРОВАНИЕ ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЫ В КОРОНЕ СОЛНЦА ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНЫХ МИКРОВСПЫШЕК

С.А. Богачев, А.С. Кириченко

ФИАН, г. Москва, Россия, bogachev@lebedev.ru

Солнечные микровспышки это вспышечные события в атмосфере Солнца, суммарная высвобождаемая энергия которых лежит в диапазоне от 10^{27} до 10^{30} эрг, что в 10^6 – 10^3 раз меньше, чем условная энергия большой вспышки, принимаемая равной 10^{33} эрг. В целом, термин «микровспышка» еще не гарантирует *вспышечную* природу события. Иными словами, наблюдения в короне солнца всплеска излучения соответствующей мощности не означают автоматически, что речь идет именно о вспышке, то есть о высвобождении энергии магнитной конфигурации в результате ее перестройки. Такая вспышечная природа события должна быть еще обоснована.

Важным аргументом в пользу общей природы микровспышек и вспышек обычной мощности является наблюдение в обоих типах вспышек схожих наблюдательных проявлений. К таким проявлениям может быть отнесено ускорение частиц, изменение структуры магнитного поля, а также локальный нагрев плазмы до температур 5-10 млн. К, что существенно превышает температуру спокойной короны. В настоящей работе мы представляем многочисленные свидетельства наблюдения во время микровспышек нагрева окружающих областей плазмы до высоких температуры. Наблюдения были проведены в 2009 году в период очень низкой активности Солнца, когда на диске практически отсутствовали солнечные пятна и сильные магнитные поля. Такие условия особенно благоприятны для наблюдения слабых рентгеновских событий, профили излучения которых во время максимума солнечной активности часто «подавлены» высоким уровнем рентгеновского излучения солнечной короны.

Некоторые из событий, исследованных нами, имеют рентгеновский класс A0.001, то есть в 1000 раз слабее, чем нижняя граница шкалы GOES (уровень A1.0). Мы полагаем, что это первые наблюдения высокотемпературной плазмы во вспышках столь малой интенсивности.

В докладе мы описываем методику наблюдений, а также представляем полученные нами результаты.

ВРЕМЕННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ МЕРЫ ЭМИССИИ И ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ ПО ДАННЫМ RHESSI И SDO

Г.Г. Моторина, Е.Р. Kontar

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, g.motorina@gao.spb.ru

Диагностика корональной вспышечной плазмы, как правило, осуществляется с помощью изучения излучения в крайнем ультрафиолетовом (КУФ) диапазоне, в то время как информация о нетепловой компоненте может быть получена из рентгеновских данных. Объединение КУФ и рентгеновских наблюдений имеет важное значение для вывода параметров плазмы в широком диапазоне энергий. В настоящей работе мы объединяем SDO/AIA (КУФ) и RHESSI (рентгеновские) наблюдения одной лимбовой вспышки, чтобы определить дифференциальную меру эмиссии (DEM), средний поток ускоренных электронов и параметры вспышечной плазмы (мера эмиссии, температура, концентрация), где RHESSI отвечает за температуры выше ~ 10 MK, в то время как AIA накладывает ограничения на более низких температурах. Таким образом, был проведен детальный анализ временной эволюции DEM, среднего потока ускоренных электронов и параметров плазмы. Обсуждаются полученные результаты в свете проблемы оценки энергетики в солнечных вспышках.

ТЕПЛОВАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ТОКОВОГО СЛОЯ КАК ТРИГГЕР ВСПЫШЕК НА СОЛНЦЕ

Л.С. Леденцов, Б.В. Сомов

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, koob@mail.ru

В приближении диссипативной магнитной гидродинамики исследована устойчивость малых возмущений пересоединяющего токового слоя в плазме с сильным магнитным полем. Рассмотрен случай, когда волновой вектор возмущений параллелен электрическому току в слое. Показано, что причиной неустойчивости служит подавление теплопроводности плазмы возмущением магнитного поля внутри слоя. На линейной стадии развития неустойчивости возмущения нарастают с характерным временем лучистого охлаждения плазмы, которое рассчитано в приближении оптически прозрачной плазмы с космическим обилием элементов. На нелинейной стадии неустойчивости в токовом слое следует ожидать формирование периодической структуры холодных и горячих трубок магнитного потока, «волокон», расположенных поперек направления тока. Предлагаемый механизм тепловой неустойчивости токового слоя может объяснять последовательное увеличение яркости, «поджиг», в аркадах магнитных петель в солнечных вспышках.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИНАМИКА ГОРЯЧЕГО ПЛАЗМЕННОГО МАГНИТНОГО ЖГУТА НА ПРЕДВСПЫШЕЧНОЙ СТАДИИ ЭРУПТИВНОЙ ВСПЫШКИ

В.Ф.Мельников¹, Ж.Ву², Я.Чень², Г.Хуанг²

¹ГАО РАН, г.Санкт-Петербург, Россия, v.melnikov@gao.spb.ru

²Институт космических наук Шандунгского университета, Вэйхай, Китай

Изучена пространственная динамика горячего плазменного магнитного жгута на предвспышечной стадии эруптивной вспышки 19.07.2012 рентгеновского класса M7.7, видимого на ультрафиолетовых изображениях SDO/AIA в «горячей» линии 131A. Излучение жгута также зарегистрировано радиогелиографом Нобеяма на частоте 17 ГГц. Показано, что значительная часть его микроволнового излучения генерировалась нетепловым гиросинхротронным механизмом. Проведенный спектральный анализ выявил двух-минутную периодичность этого микроволнового излучения. Данный период хорошо согласуется с периодичностью появления в области жгута сокращающихся петель и выбросов сгустков плазмы, наблюдаемых ультрафиолетовым телескопом SDO/AIA. Эти факты указывают на то, что обе периодичности вызваны одним и тем же процессом пересоединения, включающимся эпизодически с примерно двухминутным интервалом.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВСПЫШЕЧНОЙ МАГНИТНОЙ АРКИ С РАСТУЩИМ МИЛЛИМЕТРОВЫМ СПЕКТРОМ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА РТ-7.5 МГТУ ИМ. БАУМАНА

А.С. Моргачев, Ю.Т. Цап, В.В. Смирнова, Г.Г. Моторина, С.А. Кузнецов
*НИРФИ ННГУ им. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия,
a.s.morgachev@mail.ru
ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия*

Исследованы спектральные и пространственные характеристики гиротронного излучения неоднородной магнитной петли, исходя из наблюдений события 5 июля 2012 г. в ультрафиолетовом (SDO), рентгеновском (RHESSI), сантиметровом (RSTN) и миллиметровом (РТ-7.5) диапазоне длин волн. При проведении численных расчетов принято во внимание излучение не только в корональной, но и в хромосферной части магнитной вспышечной арки. Показано, что в рамках единой модели можно объяснить наблюдаемый рост излучения с частотой в миллиметровой части спектра поглощением низкочастотного гиротронного радиоизлучения в хромосфере. На основе соотношения между полным числом высокоэнергичных (> 100 кэВ) электронов в корональной и хромосферной части петли обсуждаются следствия полученных результатов в свете проблемы ускорения и распротранения заряженных частиц в солнечных вспышках.

ВЛИЯНИЕ АЛЬБЕДО НА ПОТОК И ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Е.П. Овчинникова, Ю.Е. Чариков, Г.И. Васильев, А.Н. Шабалин
ФТИ им. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербурге, Россия, elifimovaevgeniya@gmail.com

Во время солнечных вспышек в результате комптоновского рассеяния фотоны жесткого рентгеновского излучения могут рассеиваться из солнечной атмосферы и давать вклад в общий поток тормозного излучения, формируя суммарный спектр. Топология вспышечной петли на Солнце влияет на поток фотонов, регистрируемых в космических экспериментах.

При моделировании эффекта альбеда была разработана методика учета геометрии вспышечной петли, положения петли на диске Солнца, положения наблюдателя и распределение яркости жесткого рентгеновского излучения вдоль петли. Для получения начального распределения жесткого рентгеновского излучения во вспышечной петле рассматривается модель кинетики ускоренных электронов. Основным варьируемым параметром в этой модели была функция распределения электронов в момент их инжекции в магнитную петлю, рассматривались как изотропные, так и различные анизотропные угловые распределения. Кроме расчета величины потока отраженных рентгеновских фотонов были так же построены изображения жесткого рентгеновского излучения вспышки, которые может зафиксировать наблюдатель, находясь в некотором заданном положении относительно Солнца. Анализ изображений важен для интерпретации наблюдательных данных, полученных на аппаратах с большим пространственным разрешением, например на RHESSI (Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager).

По результатам моделирования можно выделить несколько основных выводов: влияние отраженных фотонов на наблюдаемое излучение будет увеличиваться при смещении положения вспышки на Солнце от лимба к центру диска, вклад отраженных фотонов имеет максимум на энергиях 30-40 кэВ. Для построенных изображений распределения жесткого рентгеновского излучения наблюдается расплывание и смещение положения первичных источников к центру диска Солнца за счет добавления составляющей альбеда.

УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ИНДУКЦИОННЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ В АТМОСФЕРАХ СОЛНЦА И ЗВЁЗД

А.В.Степанов¹, В.В.Зайцев²

¹ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, stepanov@gao.spb.ru

²ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия

Одной из нерешённых проблем астрофизики является необычно высокая эффективность ускорения заряженных частиц на звёздах. Так, число электронов 10^{39} - 10^{41} с энергией > 20 кэВ при вспышках на Солнце трудно объяснить «стандартной» моделью вспышки, предполагающей основное энерговыделение в короне. Неожиданно интенсивное радиоизлучение ультрахолодных звёзд ставит вопрос о природе необычно эффективных ускорительных механизмов в тонких холодных (~ 2000 К) атмосферах таких объектов. Показано, что определяющую роль в ускорении частиц играют индукционные электрические поля, возникающие в атмосферах звёзд благодаря конвективным движениям вещества фотосфер и электрическим токам. В хромосфере Солнца причиной появления сверх-драйсеровского электрического поля может быть магнитная неустойчивость Рэля-Тейлора, приводящая к генерации импульса электрического тока, движущегося вдоль оси вспышечной петли. В таком случае все электроны достаточно плотной плазмы находятся в режиме ускорения, что позволяет объяснить большое число ускоренных электронов в солнечных вспышках. Предложен механизм накачки корональных магнитных петель ультрахолодных звёзд энергичными частицами, вызывающими интенсивное радиоизлучение. На примере коричневого карлика TVLM 513-46546 показано, что при небольших колебаниях электрического тока, $\Delta I/I \approx 0,1$ во вспышечной петле - эквивалентном электрическом контуре, средняя по сечению петли величина индукционного электрического поля может достичь значения поля Драйсера.

РЕГИСТРАЦИЯ СЛАБЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА СПУТНИКАХ «ВЕРНОВ» И «ЛОМОНОСОВ»

И.Н. Мягкова¹, А.В. Богомолов¹, В.В. Богомолов^{1,2}, С.Ю. Бобровников¹, В.В. Калегаев¹, М.И. Панасюк^{1,2}, В.Л. Петров¹, С.И. Свертилов^{1,2}, С.С. Шишкова², И.В. Яшин¹

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, г. Москва, Россия, irina@srd.sinp.msu.ru

²МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, г. Москва, Россия

Информация о рентгеновском и гамма-излучении солнечных вспышек необходима для создания моделей ускорения заряженных частиц во вспышках, поскольку именно нейтральное излучение несет не искаженную влиянием межпланетных магнитных полей информацию об ускорительных процессах, происходящих непосредственно в солнечной атмосфере. Регистрация потоков и спектров рентгеновского излучения солнечных вспышек входит в число основных задач экспериментов, проводимых НИИЯФ МГУ на ИСЗ «Вернов» и «Ломоносов».

Аппаратура РЕЛЭК, установленная на КА «Вернов», имевшем солнечно-синхронную орбиту с высотой от 640 до 830 км и наклоном 98.4° , и предназначенная для регистрации рентгеновского и гамма-излучения с высоким временным разрешением, включала в себя детекторы ДРГЭ-1 и ДРГЭ-2, собранные на основе сцинтилляционных кристаллов NaI(Tl) и CsI(Tl). С их помощью за время функционирования спутника (с июля по декабрь 2014 года) жесткое рентгеновское излучение было зарегистрировано во время нескольких десятков вспышек. Данные вспышки имели класс X и M, а также C-класс, что указывает на жесткость спектра вспышечного излучения. В шести из них были зафиксированы квазипериодические колебания жесткого рентгеновского излучения вплоть до энергий >100 кэВ с близким периодом около 7 секунд. Сравнение данные РЕЛЭК с данными других КА (RHESSI, Konus-Wind), а также с микроволновым излучением 15.4 ГГц и 245 МГц также показало наличие в этих вспышках квазипериодических колебаний интенсивности излучения.

Регистрация жесткого рентгеновского излучения слабых солнечных вспышек была продолжена в эксперименте на спутнике «Ломоносов», который был запущен 28 апреля 2016 г. «Ломоносов» имеет схожую с космическим аппаратом «Вернов» орбиту – солнечно-синхронную, но с меньшей высотой (490 км). В состав научной аппаратуры на спутнике «Ломоносов» входит прибор БДРГ, детекторы которого полностью аналогичны детекторам ДРГЭ-1(2) на спутнике «Вернов». При помощи прибора БДРГ с момента запуска по настоящее время жесткое рентгеновское излучение было зарегистрировано во время десятка вспышек, причем несколько из них имели класс В по мягкому рентгеновскому излучению (классификация GOES), что представляет существенный интерес. В ряде из зарегистрированных вспышек также присутствуют квазипериодические колебания жесткого рентгеновского излучения. В работе проводится анализ полученных экспериментальных данных.

УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В СУБ-ДРАЙСЕРОВСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ КОРОНЫ И ХРОМОСФЕРЫ СОЛНЦА

Ю.Т. Цап, Ю.Г. Копылова

НИИ «КРАО», Крым, пгт. Научный, Россия

ГАО РАН, г. Санкт-Петербурге, Россия, yur_crao@mail.ru

На основе одночастичного приближения рассмотрены особенности ускорения квазитепловых электронов суб-драйсеровскими электрическими полями в условиях корональной и хромосферной столкновительной плазмы. Проведен детальный анализ роли упругих и неупругих столкновений электронов с нейтральными атомами водорода. Показано, что в средней и верхней хромосфере Солнца торможение убегающих электронов определяется кулоновскими столкновениями, и они могут ускоряться до энергий в сотни кэВ на расстояниях всего в несколько километров. В короне масштабы ускорения частиц до тех же энергий составляют десятки-сотни тысяч километров. Обсуждены механизмы генерации электрических полей в атмосфере Солнца.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ВСПЫШЕЧНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИСТОЧНИКОВ И ФОТОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ

И.В. Зимовец^{1,2,3}, И.Н. Шарыкин^{1,4}

¹*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, ivanzim@iki.rssi.ru*

²*National Key Laboratory of Space Weather, National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China*

³*International Space Science Institute, Beijing, China*

⁴*Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Россия*

Есть основания полагать, что выделение энергии и ускорение электронов, по крайней мере в некоторых солнечных вспышках, могут происходить в плотных хромосферных подножиях магнитных трубок с сильными продольными электрическими токами, а не в разреженных корональных источниках, как считается в рамках “стандартной” модели. С целью проверки этой возможности выполнен систематический анализ взаиморасположения источников жесткого рентгеновского (ЖР) излучения (>50 кэВ) и вертикальных электрических токов во вспышечных областях на Солнце за 2010-2016 г. ЖР источники были определены по данным космического аппарата RHESSI, электрические токи – по данным фотосферных векторных магнитограмм, полученных с помощью инструмента HMI/SDO. В докладе представлены результаты проделанного анализа. Обсуждаются возможные физические причины найденных закономерностей.

МГД-ОСЦИЛЛЯЦИИ ИЛИ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ? ДИАГНОСТИКА МЕХАНИЗМА НА ОСНОВЕ МНГОВОЛНОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Е.Г. Куприянова, Л.К. Кашапова, Z. Xu, H. A. S. Reid, И.Н. Мягкова

Двумя наиболее обсуждаемыми причинами квазипериодических пульсаций, наблюдаемых в излучении солнечных вспышек, считаются МГД волны и периодические пересоединения в токовых слоях. Тем не менее, однозначную связь между наблюдениями и одной из моделей установить сложно. Подходящим объектом для тестирования этих моделей являются вспышки с квазипериодическими вариациями, присутствующими одновременно в излучении в разных диапазонах электромагнитного спектра (т.е. идущего с разных высот солнечной атмосферы и генерирующихся разными механизмами). Предложен метод диагностики, основанный на оценках периодов, амплитуд и фаз квазипериодических сигналов и их взаимосвязей в разных волновых диапазонах. Применяются совместно методы корреляционного, Фурье и вейвлет анализов с учётом шумов разного типа. Метод протестирован на двух вспышках с разной конфигурацией коронального магнитного поля. Периоды 40–50 с и 140–170 с найдены в большинстве волновых диапазонов. Результаты применения метода к анализу выбранных вспышек указывают на доминирующую роль квазипериодической инжекции электронов, ускоренных вследствие магнитного пересоединения, как причину наблюдавшихся КПП. Обсуждаются возможности и условия применения предлагаемой методики.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ИСТОЧНИКОВ ПУЛЬСАЦИЙ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С МАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ТОКАМИ ВО ВСПЫШЕЧНЫХ ОБЛАСТЯХ НА СОЛНЦЕ

С.А. Кузнецов^{1,2}, И.В. Зимовец³

¹НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

²ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия, kuznetsov.sergey.a@yandex.ru

³ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия

Представлены результаты анализа динамики источников пульсаций жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек не только от пульсации к пульсации, как было выполнено в работе [Kuznetsov et al, Solar Phys., 2016], но и от минимума к максимуму и от максимума к минимуму внутри отдельных пульсаций. Получены результаты оценки величины магнитного поля по данным магнитографов MDI/SOHO и HMI/SDO для пространственных участков, соответствующих положениям источников отдельных пульсаций жесткого рентгеновского излучения. Получены изображения вспышечных областей на Солнце в диапазоне ЭУФ- и УФ излучения по данным наблюдений солнечного телескопа AIA/SDO. Проведено сопоставление положений источников пульсаций вспышечного ЖР излучения с основаниями ультрафиолетовых петель и вспышечных лент. Обнаружено хорошее соответствие положений во вспышечной области этих объектов. Также проведены расчеты вертикальной компоненты электрического тока во вспышечных областях под рентгеновскими источниками. Получены наблюдательные подтверждения в пользу значительности эруптивных явлений в процессах генерации пульсаций жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек. Обсуждаются найденные наблюдательные закономерности.

ЗНАЧЕНИЕ ЭФФЕКТА КВАЗИПОПЕРЕЧНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЛЯ МИКРОВОЛНОВОЙ ДИАГНОСТИКИ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

А.С. Моргачев, В.Ф. Мельников

НИРФИ ННГУ им. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия,

a.s.morgachev@mail.ru

ГАО РАН, г. Санкт-Петербурга, Россия

В работах [Fleishman et.al., 2009, ApJ] и [Morgachev et.al., 2014, Ge&A] разработаны методы определения физических параметров в солнечных вспышечных петлях, которые позволяют восстанавливать напряженность и направление магнитного поля, концентрацию и спектр нетепловых электронов, параметры их пичч-углового распределения, плотность фоновой плазмы. Данные методы основаны на алгоритмах прямой подгонки теоретически рассчитанных характеристик микроволнового радиоизлучения (потока и степени круговой поляризации) под наблюдаемые. Однако авторы указанных работ не учитывали влияния среды на пути распространения волны на наблюдаемое телескопами микроволновое излучение. Как известно [Su & Huang, ApJ, 2004], над вспышечными петлями в солнечной атмосфере могут сформироваться условия, при которых возникает эффект взаимодействия мод электромагнитных волн (эффект квазипоперечного распространения). Это приводит к изменению наблюдаемой степени круговой поляризации излучения в некотором диапазоне частот. Таким образом, эффект квазипоперечного распространения (КПР) с одной стороны может привести к ошибкам при определении параметров вспышечных петель, с другой стороны теоретически позволяет проводить диагностику среды вдоль луча зрения вне петли. В данной работе смоделировано микроволновое излучение вспышечного радиоисточника, и исследуется влияние эффекта взаимодействия мод на точность восстановления его параметров методом прямой подгонки. Обсуждаются возможности определения параметров магнитного поля и плазмы вне вспышечной петли на основе анализа изменения поляризации наблюдаемого микроволнового излучения вследствие эффекта КПР.

СВЯЗЬ ЭФФЕКТА КВАЗИПОПЕРЕЧНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ С ИНВЕРСИЕЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ВСПЫШЕЧНЫХ ПЕТЕЛЬ

А.В. Шаин¹, А.С. Моргачёв^{2,3}, В.Ф. Мельников²

¹Физический Факультет ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия, alexandershain.5@gmail.com

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

³НИРФИ ННГУ им. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

Известно, что эффект смены знака круговой поляризации при квазипоперечном распространении радиоволн играет существенную роль в формировании распределения поляризации микроволнового излучения S-компоненты активной области. В приложении к вспышечным петлям этот эффект до сих пор не учитывался, рассчитывалось распределение поляризации только самой вспышечной магнитной петли без учета влияния внешнего магнитного поля на пути распространения волны.

В отличие от более ранних работ, посвященных анализу микроволнового излучения вспышечных петель, в настоящем исследовании проведено моделирование наблюдаемого пространственного распределения поляризации гиротронного излучения вспышечной петли с учетом его возможной трансформации из-за эффекта квазипоперечного распространения во внешнем магнитном поле активной области. Для сравнения с данными наблюдений отобран ряд вспышечных петель, наблюдаемых с помощью Радиогелиографа Нобеля на частотах 17 и 34 ГГц. Структура коронального магнитного поля в соответствующих активных областях восстанавливалась по данным фотосферных магнитограмм, полученных SDO/HMI, SOHO MDI, на основе программы расчета бессилового магнитного поля программного пакета SSW - GX-Simulator. Для рассмотренных вспышечных петель получены диапазоны значений плотности плазмы и магнитного поля вне петли, при которых в определенном интервале частот возникает инверсия поляризации из-за эффекта квазипоперечного распространения.

СОПОСТАВЛЕНИЕ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ, СОПРОВОЖДАЮЩИХСЯ И НЕ СОПРОВОЖДАЮЩИХСЯ РАДИОВСПЛЕСКАМИ II ТИПА

И.А. Биленко

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, bilenko@sai.msu.ru

Корональные выбросы массы (КВМ) являются одним из главных факторов определяющих космическую погоду на орбите Земли. Проведенное исследование показало, что КВМ связанные с радиовсплесками II типа (radio loud, RL КВМ) составляют отдельную популяцию КВМ. Их параметры значительно отличаются от параметров КВМ не сопровождающихся радиовсплесками II типа (radio quiet, RQ КВМ) наблюдавшихся за тот же период. RL КВМ и RQ КВМ различаются по значениям их параметров, частоте КВМ типа гало, а также структуре крупномасштабного магнитного поля. Более 90% RL КВМ имеют угол раствора более 45°. Среднее значение для RL КВМ составляет ~270° и медианное – 360°, тогда как для всех КВМ они составляют 54.54° и 35° соответственно. Средняя и медианная скорости, для RL КВМ, составляют 1201.51 км/сек. и 1114.5 км/сек., а для всех КВМ они равны 405.76 км/сек. и 342 км/сек. соответственно. 75% RL КВМ имеют скорости больше 800 км/сек. и 58.93% – более 1000 км/сек. 60% RL КВМ замедляются, а не ускоряются. Среднее ускорение и медиана для RL КВМ составляют -8.44 м/сек.² и -5.5 м/сек.², а для всех КВМ – +2.99 м/сек.² и 1.6 м/сек.² соответственно. Для RL КВМ с ростом скорости КВМ наблюдается рост продолжительности всплеска, уменьшение конечного значения плотности плазмы в короне, и понижение скорости изменения плотности плазмы за время радиовсплеска. С ростом угла раствора RL КВМ понижается плотность плазмы при окончании сопутствующего радиовсплеска и растет продолжительность всплеска. Скорость изменения плотности плазмы во время всплеска остается, приблизительно, на одном и том же уровне. RL КВМ связаны с событиями солнечных энергичных частиц (SEP). Рассмотрены, также, соотношения параметров RL КВМ в зависимости от класса сопутствующей вспышки. Проанализированы различия структуры крупномасштабного магнитного поля при RL КВМ и RQ КВМ.

ОБНАРУЖЕНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПОРШНЕВОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ, СВЯЗАННОЙ С КВМ, В ПОЛЕ ЗРЕНИЯ КОРОНОГРАФА LASCO C3

В.Г. Файнштейн, Я.И. Егоров, А.А. Нихайчик
ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия

Существуют две точки зрения, касающихся природы ударных волн (УВ), связанных с КВМ и наблюдающихся в поле зрения коронографов LASCO C2, C3. Согласно одной точке зрения, все такие УВ являются поршневыми с телом КВМ в качестве поршня, но сведения о том, где возникла такая УВ практически для всех анализировавшихся событий отсутствовали. Согласно другой точке зрения, по крайней мере часть таких УВ генерируются в нижней короне быстро ускоряющимся до относительно больших скоростей эруптивным волокном, после чего эта волна распространяется как взрывная и, на достаточно большом удалении от места возникновения, может начать вести себя как поршневая. Мы попытались выяснить, может ли УВ возникнуть как поршневая, с телом КВМ в качестве поршня, в поле зрения LASCO C3, но не вследствие прихода снизу. Для одного КВМ, зарегистрированного 17.07.2012 мы впервые зарегистрировали возникновение поршневой бесстолкновительной УВ с телом КВМ в качестве поршня после того, как скорость тела КВМ превысила суммарную скорость быстрого магнитного звука V_{ms} и скорость солнечного ветра. На рассматривавшихся расстояниях учитывалось, что $V_{ms} \approx V_a$ – альфвеновской скорости. Мы предложили методику нахождения V_a в зависимости от расстояния, оценили место возникновения УВ, оценили величину альфвеновского Маха Ma на разных расстояниях и построили зависимость величины скачка яркости в УВ от расстояния.

НАБЛЮДЕНИЕ ТОКОВОГО СЛОЯ С ПОМОЩЬЮ ВУФ ТЕЛЕСКОПА ТЕСИС

А.А. Рева, А.С. Ульянов, С.В. Кузин

*Физический институт им. П.Н. Лебедева, г. Москва, Россия,
reva.antoine@gmail.com*

Мы исследуем свидетельства токового слоя, которые наблюдались во время коронального выброса массы (КВМ) с помощью ВУФ телескопа ТЕСИС. Особенностью ВУФ телескопа ТЕСИС является его способность строить изображения солнечной короны вплоть до расстояний в 2 солнечных радиуса от центра Солнца в линии Fe 171 Å. Излучение линии Fe 171 Å подсвечивает магнитные силовые линии, и на изображениях телескопа ТЕСИС видна магнитная структура короны на больших высотах. Анализируемый КВМ имел ядро со спиральной структурой (магнитный жгут). Спиральная форма указывает на то, что радиус магнитного жгута изменялся вдоль его длины. Магнитный жгут имел сложную температурную структуру: холодные ноги (70 000 К, наблюдавшиеся в линии He 304 Å) и более горячее ядро (0.7 МК, наблюдавшееся в линии Fe 171 Å). Такая структура противоречит общепринятому предположению что ядро КВМ это холодный протуберанец. Во время импульсного ускорения КВМ, темная двойная Y-структура появилась под магнитным жгутом. Время появления Y-структуры, место, и форма согласуются с ранее проведенными МГД моделированиями токового слоя. Мы интерпретировали Y-структуру как горячую оболочку токового слоя. Толщина Y-структуры составила 6 Мм, а ее длина увеличивалась во времени от 79 Мм до более чем 411 Мм.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕДЛЕННЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ ТИПА «ГАЛО»

Ю.С. Загайнова, В.Г. Файнштейн

ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, yuliazag@izmiran.ru

Вопрос о том, в какой степени схожи или различаются механизмы формирования быстрых и медленных корональных выбросов массы (КВМ) остается открытым. По данным с высоким временным и пространственным разрешением к настоящему времени детально изучено возникновение многих быстрых выбросов массы и существенно меньше медленных КВМ. В настоящей работе с целью накопления информации о механизмах формирования медленных КВМ рассмотрены особенности формирования двух медленных КВМ типа «гало» (к таким условно отнесены КВМ, линейная скорость которых в поле зрения коронографов LASCO меньше 700 км/с), один из которых возник 15.02.2011 (02:24:05 UT) в активной области (АО) NOAA 11158 и связан с мощной рентгеновской вспышкой балла X2.2, второй – 23.04.2012 (18:24:05 UT) в АО NOAA 11461 и связан со слабой вспышкой балла C2.0 (в скобках указано время появления КВМ в поле зрения коронографа LASCO C2). Для анализа использовались данные телескопов SDO/AIA и инструмента SDO/HMI, а также коронографов LASCO C2, C3. Установлены морфологические особенности формирования этих КВМ по наблюдениям в линиях крайнего ультрафиолета, построены пространственные профили скорости и ускорения фронтальной структуры выбросов массы. Кроме этого, с использованием векторных измерений фотосферного магнитного поля определены особенности изменения магнитного поля в области возникновения эруптивных событий до и после начала связанной с КВМ вспышки, и, в частности, особенности изменения характеристик магнитного поля в пятнах, формирующих активные области, в которых возникли КВМ. Особенности формирования изученных медленных КВМ сопоставлены с особенностями формирования некоторых изученных быстрых КВМ.

секция СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР И ГЕЛИОСФЕРА

МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ОКОЛОСОЛНЕЧНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Е.В. Маевский^{1,2}, **Р.А. Кислов**³, **В.Ю. Попов**^{2,3,1}, **Х. В. Малова**^{4,3},
А.А. Петрукович³

¹Финансовый Университет при правительстве РФ, г.Москва, Россия,
emaevskiy@mail.ru

²Физический факультет МГУ, г.Москва, Россия

³ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия

⁴НИИЯФ МГУ, г.Москва, Россия

Разработана стационарная аксиально-симметричная МГД-модель, описывающая распределение плазмы, магнитного поля и токов в солнечном ветре на расстояниях от 20 до 400 R_s (радиусов Солнца) и всех гелиоширотах в инерциальной системе отсчета с началом в центре Солнца. Учтены неравномерное по гелиошироте вращение Солнца и полная коротация плазмы внутри граничной сферы радиусом в 20 R_s , нарушающаяся за её пределами. Численным решением стационарной системы МГД-уравнений получены самосогласованные распределения плазмы, магнитного поля и токов в солнечном ветре как функции радиальной и полярной координат. Оценена численная погрешность решения. Показано, что результаты моделирования не противоречат наблюдательным данным. Решение модели описывает плавный переход от быстрого солнечного ветра на высоких гелиоширотах к медленному солнечному ветру на низких гелиоширотах. Представленная модель развивает современные представления о структуре солнечного ветра вдали от плоскости эклиптики и, в пределе малой силы Ампера, согласуется с известной моделью Паркера.

ОБНАРУЖЕНИЕ ВЫСОКОШИРОТНЫХ КОНИЧЕСКИХ ТОКОВЫХ СЛОЕВ В БЛИЖНЕЙ ГЕЛИОСФЕРЕ

**О.В. Хабарова¹, Х.В. Малова², Р.А. Кислов², Л.М. Зелёный², В.Н. Обридко¹,
А.Ф. Харшиладзе¹**

¹ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, habarova@izmiran.ru

²ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия

Представлены результаты наблюдений Ulysses, доказывающие существование высокоширотных крупномасштабных цилиндрических токовых слоев в гелиосфере. Такие слои представляют собой долгоживущие образования, которые могут трассироваться на расстояниях как минимум 2-3 а.е. в течение нескольких месяцев в минимуме солнечной активности. Характеристики этих токовых слоев типичны для цилиндрической или конической геометрии, а масштабы в несколько раз меньше размеров высокоширотной корональной дыры, что соответствует картине магнитных полей в короне, восстановленных по данным синоптических карт фотосферного магнитного поля за соответствующие периоды. Существование конических магнитных образований в полярной короне было предсказано в 2008 Бюргером с соавторами в их модификации модели магнитного поля Фиска (Burger et al. ApJ 2008), но стабильные высокоширотные конические токовые слои в солнечном ветре обнаружены впервые. Показано, что такие структуры ассоциируются с увеличением потока энергичных протонов на их краях, что частично решает проблему так называемых высокоширотных всплесков потоков энергичных частиц (high-latitude SEP events).

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ МЕТОДОМ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ СУБМИЛЛИГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА В ОКОЛОСОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЕ

А.И. Ефимов¹, Л.А. Луканина¹, С.Ф. Коломиец¹, И.В. Чашей², М.К. Бёрд^{3,4}, М. Петцольд⁴

¹Институт Радиотехники и Электроники им. В.А.Котельникова РАН, г.Москва, Россия, efimov@ms.ire.rssi.ru

²Пушчинская Радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН, Россия

³Институт Астрономии им. Аргеландера Боннского университета

⁴Институт исследования окружающей среды Кёльнского университета

В период с 2004 г. по 2011 г. выполнено 7 крупномасштабных циклов радиозондирования околосолнечной плазмы сигналами европейских космических аппаратов (КА) нового поколения: *MARS EXPRESS* (спутник Марса), *VENUS EXPRESS* (спутник Венеры) и *ROSETTA* (кометный зонд).

В период с 4 марта по 31 мая 2013 г. и с 27 апреля по 18 июля 2015 г. с использованием спутника Марса *MARS EXPRESS* осуществлены еще 2 цикла радиозондирования околосолнечной плазмы. В обоих циклах зондирование околосолнечной плазмы осуществлялось и на восточной, и на западной сторонах. После обработки первичных данных были получены радиальные зависимости интенсивности флуктуаций частоты S-диапазона (σ_s), X-диапазона (σ_x) и дифференциальной частоты (σ_D), а также значения спектрального индекса временных спектров частотных флуктуаций.

Во всех случаях радиальные зависимости флуктуаций частоты могут быть аппроксимированы степенными функциями вида $\sigma_i = A_i(R/R_\odot)^{-\alpha_i}$, где индекс i принимает значения s, x, D; R_\odot - радиус Солнца.

Для экспериментов 2013 г. были получены следующие зависимости:

$$\sigma_{s\text{ in}} = A_{s\text{ in}}(R/R_\odot)^{-\alpha_{s\text{ in}}}; A_{s\text{ in}} = 43.02 \text{ Гц}; \alpha_{s\text{ in}} = 2.10;$$

$$\sigma_{x\text{ in}} = A_{x\text{ in}}(R/R_\odot)^{-\alpha_{x\text{ in}}}; A_{x\text{ in}} = 10.54 \text{ Гц}; \alpha_{x\text{ in}} = 1.90;$$

$$\sigma_{D\text{ in}} = A_{D\text{ in}}(R/R_\odot)^{-\alpha_{D\text{ in}}}; A_{D\text{ in}} = 65.74 \text{ Гц}; \alpha_{D\text{ in}} = 2.24.$$

$$\sigma_{s\text{ eg}} = A_{s\text{ eg}}(R/R_\odot)^{-\alpha_{s\text{ eg}}}; A_{s\text{ eg}} = 58.64 \text{ Гц}; \alpha_{s\text{ eg}} = 2.23;$$

$$\sigma_{x\text{ eg}} = A_{x\text{ eg}}(R/R_\odot)^{-\alpha_{x\text{ eg}}}; A_{x\text{ eg}} = 13.01 \text{ Гц}; \alpha_{x\text{ eg}} = 1.97;$$

$$\sigma_{D\text{ eg}} = A_{D\text{ eg}}(R/R_\odot)^{-\alpha_{D\text{ eg}}}; A_{D\text{ eg}} = 75.60 \text{ Гц}; \alpha_{D\text{ eg}} = 2.32.$$

Аналогичные зависимости были определены по экспериментальным данным 2015 г.

$$\sigma_{s\text{ in}} = A_{s\text{ in}}(R/R_\odot)^{-\alpha_{s\text{ in}}}; A_{s\text{ in}} = 94.44 \text{ Гц}; \alpha_{s\text{ in}} = 2.39;$$

$$\sigma_{x\text{ in}} = A_{x\text{ in}}(R/R_\odot)^{-\alpha_{x\text{ in}}}; A_{x\text{ in}} = 20.16 \text{ Гц}; \alpha_{x\text{ in}} = 2.12;$$

$$\sigma_{D\text{ in}} = A_{D\text{ in}}(R/R_\odot)^{-\alpha_{D\text{ in}}}; A_{D\text{ in}} = 77.75 \text{ Гц}; \alpha_{D\text{ in}} = 2.36.$$

$$\sigma_{s\text{ eg}} = A_{s\text{ eg}}(R/R_\odot)^{-\alpha_{s\text{ eg}}}; A_{s\text{ eg}} = 68.01 \text{ Гц}; \alpha_{s\text{ eg}} = 2.28;$$

$$\sigma_{x\text{ eg}} = A_{x\text{ eg}}(R/R_\odot)^{-\alpha_{x\text{ eg}}}; A_{x\text{ eg}} = 20.24 \text{ Гц}; \alpha_{x\text{ eg}} = 2.16;$$

$$\sigma_{D\text{ eg}} = A_{D\text{ eg}}(R/R_\odot)^{-\alpha_{D\text{ eg}}}; A_{D\text{ eg}} = 55.13 \text{ Гц}; \alpha_{D\text{ eg}} = 2.22.$$

В 30% случаев в спектрах флуктуаций частоты регистрировалась квазипериодическая компонента субмиллигерцового диапазона. Характерные частоты этой компоненты изменялись в пределах от 0.4 миллигерц до 0.83 мГц. В некоторых случаях регистрировались и основное колебание, и гармоника.

КОРОТИРУЮЩИЕ СТРУКТУРЫ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ МЕЖПЛАНЕТНЫХ МЕРЦАНИЙ НА БОЛЬШИХ ЭЛОНГАЦИЯХ НА ЧАСТОТЕ 111 МГц

И.В.Чашей, А.В.Глянцев, С.А.Тюльбашев, В.И.Шишов, Л.Б.Потапова
*Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Пушчинская
Радиоастрономическая обсерватория, Россия*

Приведен анализ результатов непрерывных наблюдений межпланетных мерцаний сильного радиоисточника 3С 48 на элонгациях более 90° , выполненных на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц. Данные относятся к периоду длительностью четыре года, с 2012 г. по 2015 г., вблизи максимума 24 цикла солнечной активности. В результате анализа серии наблюдений найдена периодическая модуляция уровня мерцаний, период которой близок к 26 дням. Периодическая модуляция может быть объяснена существованием в период максимума солнечной активности долгоживущей области повышенной плотности плазмы, примыкающей к гелиоэкватору.

ИЗУЧЕНИЕ ФРОНТОВ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ ПРИБОРОМ БМСВ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ

О.В. Сапунова, Н.Л. Бородкова, Г.Н. Застенкер

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, sapunova_olga@mail.ru

Была исследована тонкая структура фронтов Межпланетных Ударных Волн (МУВ), зарегистрированных установленным на спутнике СПЕКТР-Р плазменным спектрометром БМСВ, позволяющем получать параметры плазмы солнечного ветра с высоким временным разрешением – 0.031 с. Это дало возможность подробно исследовать фронты МУВ. Значения магнитного поля были взяты со спутников WIND, THEMIS-B/C, CLUSTER C1-4.

Показано, что толщина фронта МУВ лежит в пределах от 40 км до 600 км. В некоторых событиях сравнение толщины фронта по плазме и по магнитному полю дало разницу по порядку величины. Во многих событиях наблюдались колебания, опережающие фронт МУВ (как по параметрам плазмы, так и по значениям магнитного поля). Их длина составила от 70 до 400 км. Сравнение длин колебаний, определенных по плазме и магнитному полю показало хорошее соответствие – отличие составило не более 35%.

Для нескольких случаев построены годографы поведения векторов магнитного поля и потока в период колебаний в проекции на фронт МУВ или на плоскость, перпендикулярную среднему значению параметра. Определена поляризация колебаний.

ВЛИЯНИЕ ОТРАЖЕННЫХ ИОНОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕЖПЛАНЕТНЫХ КВАЗИПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН ПРИ ЧИСЛАХ МАХА МЕНЬШЕ ПЕРВОГО КРИТИЧЕСКОГО ЧИСЛА МАХА

Н.Л. Бородкова¹, В.Г. Еселевич², О.В. Сапунова¹, Г.Н. Застенкер¹,
Ю.И. Ермолаев¹

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия, nlbob@mail.ru

²Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия

В работе по данным прибора БМСВ, установленного на космическом аппарате (КА) *СПЕКТР-Р*, а также по данным приборов КА *WIND* исследуется роль отраженных от фронта ионов и связанных с ними структурных особенностей фронта квазиперпендикулярной межпланетной ударной волны с альвеновским числом Маха M_A , меньшим первого критического числа Маха M_{C1} . На основании анализа двух событий показано, что в таких ударных волнах при конечном параметре $0.1 < \beta_1 < 1$ присутствует малая доля отраженных протонов, играющих существенную роль в формировании структуры фронта (β_1 – отношение газового давления к магнитному перед ударным фронтом). На примере детального анализа структуры фронта межпланетной квазиперпендикулярной ударной волны с небольшим числом Маха $M_A \approx 1.4$ и малым $\beta_1 \approx 0.2$, было показано, что наличие подножия перед рампой и эффективного нагрева ионов может являться результатом взаимодействия внутри фронта втекающего солнечного ветра с отраженными вращающимися по спирали ионами, что хорошо согласуется с модельными расчетами. Для случая косой межпланетной ударной волны с небольшим числом Маха $M_A \approx 1.2$ и малым числом $\beta_1 \approx 0.5$, была обнаружена перед фронтом последовательность из 6-ти цугов магнитозвуковых колебаний, соответствующих низкочастотной части вистлеровских колебаний, амплитуда которых уменьшалась до нуля с увеличением их расстояния от фронта. Возможный механизм их образования связан с развитием неустойчивости, вызываемой отраженными от фронта ионами.

ВЛИЯНИЕ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ МАГНИТОСЛОЯ ЗЕМЛИ

Л.С. Рахманова, М.О. Рязанцева, Н.Л. Бородкова, О.В. Сапунова, Г.Н. Застенкер

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия, rakhlud@gmail.com

Межпланетные ударные волны - одно из наиболее геоэффективных явлений в околоземной космическом пространстве. Помимо резкого изменения параметров плазмы межпланетные ударные волны могут изменять характеристики турбулентности плазмы как в солнечном ветре, так и в магнитослое. Только в последние годы начали проводиться сравнения частотных спектров параметров плазмы солнечного ветра перед и за фронтом межпланетной ударной волны. Такие исследования стали возможны благодаря запуску спутника Спектр-Р с прибором БМСВ, измеряющим величину потока и, в ряде случаев, параметры плазмы, с временным разрешением 31 мс. В настоящей работе на основе данных БМСВ сравниваются частотные спектры и характеристики турбулентности плазмы до и после регистрации фронта межпланетной ударной волны в магнитослое Земли. Проводится сравнение результатов с типичными параметрами турбулентности плазмы магнитослоя, полученными ранее при статистическом исследовании.

TURBULENCE AROUND INTERPLANETARY SHOCKS

**Z. Nemecek¹, J. Safrankova¹, A. Pitna¹, O. Goncharov¹, L. Prech¹,
G. Zastenker², M. Riazantseva²**

¹*Charles University, Faculty of Mathematics and Physics, Prague, Czech Republic,*

²*IKI RAN, Moscow, Russia,*

zdenek.nemecek@mff.cuni.cz

Problems of a collisionless shock structure and involved energy dissipation processes including a relaxation of basic plasma parameters and wave processes accompanying the shock have been a subject of numerous studies because shocks can change the properties of the turbulent cascade on shorter scales. Using the BMSW instrument onboard Spektr-R (that provides a high-time resolution data of the ion flux, velocity, density, and temperature), we focus on (1) changes of a level and spectral properties of ion flux fluctuations upstream and downstream of fast-forward oblique shocks, (2) a relaxation of the turbulent energy behind the IP shock, and (3) an analysis of wave packets frequently observed upstream and/or downstream of interplanetary (IP) shocks.

Although the fluctuation level increases by an order of magnitude across the shock, the spectral slope in the magnetohydrodynamic range is conserved and spectral slopes downstream are proportional to the slopes upstream suggesting that the properties of the turbulent cascade are conserved across the shock. Frequency spectra downstream of IP shocks often exhibit “an exponential decay” in the ion kinetic range probably due to a stronger damping of the fluctuations in the downstream region. The investigation of a relaxation of the turbulent energy enhanced by IP shocks show that the turbulent energy decay can be observed and that the magnetic energy decreases slower in time than the kinetic energy. A comparison of Wind and Spektr-R observations of low Mach number shocks reveals that the wavelengths of both upstream and downstream waves conserve over the spacecraft separation, their wavelengths are directly proportional to the shock ramp thickness that is controlled by the ion thermal gyroradius, and a phase shift between density and temperature variations within downstream wave packets is about 90°. These results emphasize a role of kinetic processes in the formation of low-Mach number shocks.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ПЛАЗМЫ В АНОМАЛИЯХ ГОРЯЧЕГО ПОТОКА И ЗА УДАРНОЙ ВОЛНОЙ

А.Ю. Шестаков, О.Л. Вайсберг

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, sartiom1@yandex.ru

Аномалии горячего потока – образования из горячей плазмы, формирующиеся при взаимодействии солнечного ветра с околопланетными ударными волнами. К числу вопросов о природе аномалий горячего потока на сегодняшний день относится и вопрос об источнике встречного пучка и энергии для их формирования.

Ранее, при исследовании вопросов энерговыделения нами были получены результаты, указывающие на поступление в область развивающихся аномалий магнитосферной плазмы из-за фронта ударной волны. Вопрос об источнике пучка для развитых аномалий остаётся открытым.

В докладе анализируются функции распределения в различных областях развитой аномалии на примере аномалий, зарегистрированных спутником Интербол-1, а так же плазма за границей близлежащей ударной волны с целью получения новых данных об источнике встречного потока.

ОБНАРУЖЕНИЕ ИСТОЧНИКА ПУЧКА ИОНОВ, ПРИВОДЯЩЕГО К РАЗВИТИЮ АКТИВНОГО ТОКОВОГО СЛОЯ

О.Л. Вайсберг, С.Д. Шувалов, А.Ю. Шестаков

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, olegv@iki.rssi.ru

Активация токовых слоев в солнечном ветре, взаимодействующих с околоземной ударной волной, была обнаружена около 30 лет назад. В конечном счете, такой токовый слой, структура которого была возмущена взаимодействием потока солнечного ветра плотным пучком, возникающим при пересечении токового слоя с ударной волной, получил название Аномалии Горячего Потока (Hot Flow Anomaly). Причиной образования активного токового слоя считается концентрация движущегося от ударной волны потока, фокусировка его в токовом слое и связанная с этим двухпучковая неустойчивость.

Нами было рассмотрено событие пересечения активного токового слоя системой спутников Cluster 22.02.2006 г. Ориентация магнитного поля соответствовала нахождению спутников перед квази-перпендикулярной ударной волной. Угол поворота магнитного поля в предположении, что этот токовый слой является тангенциальным разрывом, находился вблизи 10° , минимальная напряженность магнитного поля внутри разрыва составляла ~ 1 нТ. Перед прохождением мимо спутников токового слоя наблюдались ионы, движущиеся от ударной волны с энергиями ≥ 10 кэВ. В процессе приближения токового слоя к аппаратам регистрировались встречные ионы со значительно меньшими энергиями, причем в большинстве случаев в этих отраженных пучках наблюдалась дисперсия по энергии от больших к меньшим по мере приближения токового слоя. Максимальная энергия ионов отраженного пучка, впервые зарегистрированного при приближении к токовому слою, с хорошей точностью пропорциональна величине гирорадиуса протонов, основного компонента солнечного ветра.

Анализ функции распределения ионов показал, что энергетический спектр частиц непосредственно внутри токового слоя в высокой степени идентичен энергетическим спектрам частиц с питч-углами $< 90^\circ$, находящимися за ударной волной, которую группировка пересекла приблизительно через час после наблюдения серии активных токовых слоёв. Это, а также непосредственное примыкание пучка к токовому слою, в котором ширина энергетического спектра и полная энергия пучка максимальны, довольно убедительно указывают на то, что ионы встречного пучка проникают в поток солнечного ветра из узкой области токового слоя, пересекающего ударную волну и дальше распространяются в нем. В этой области тангенциального разрыва магнитное поле проходит через минимальное или даже нулевое значение и разогретые ионы магнитослоя, по-видимому, непосредственно проникают в поток солнечного ветра.

НАБЛЮДЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ ИОНОВ ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ ГРАНИЦЫ МАГНИТОСФЕРЫ МАРСА

О.Л. Вайсберг, С.Д. Шувалов, Л.М. Зеленый, А.С. Знобищев
*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия, olegv@iki.rssi.ru*

Нами проанализировано событие в январе 2015 года, в процессе которого аппарат MAVEN попал из магнитосферы Марса в область обтекающего потока. Высокое временное разрешение приборов на MAVENе позволяет намного более детально исследовать границу магнитосферы Марса, которая впервые наблюдалась на Марсе-5 в 1970х годах.

В данном сообщении мы анализируем характеристики магнитного поля и трех основных ионов H^+ , O^+ , O_2^+ , в том числе их функции распределения по скоростям, а также нестационарный характер потока вблизи границы магнитосферы Марса. Анализ этих данных позволяет исследовать механизмы захвата планетарных ионов обтекающим потоком солнечного ветра, процессы, ранее обнаруженные и исследованные на Советских спутниках Марса.

КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ ВБЛИЗИ PROXIMA CENTAURI B

А.Б. Струминский¹, А.В. Белов², А.М. Садовский¹

¹*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, astrum@iki.rssi.ru*

²*ИЗМИРАН, г. Москва, Россия*

Недавно была открыта экзопланета, находящаяся в зоне обитания ближайшей к нам звезды PROXIMA CENTAURI. Космические лучи - важный фактор космической погоды, определяющий радиационные условия вблизи экзопланеты. Предполагается сделать оценки на возможные потоки звездных и галактических космических лучей с учетом имеющихся на настоящий момент данных об активности звезды PROXIMA CENTAURI, ее магнитном поле и звездном ветре.

МАГНИТОСЛОЙ В ПОТОКЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА. ДИНАМИКА И СТРУКТУРА

С.А. Гриб, С.Н. Леора

ГАО РАН, Пулковое, г.Санкт-Петербург, Россия, sagrib@gmail.com

В рамках основных представлений магнитогидродинамики (МГД) рассматриваются как стационарное, так и нестационарное состояния магнитослоя перед магнитосферой Земли, во многом подобные состоянию магнитослоя перед магнитным облаком. Границы магнитослоя, стационарные в отсутствие плазменных возмущений солнечного ветра, смещаются и отражают новое состояние под действием солнечного квазударного возмущения. Используя данные космических аппаратов, методом пробных расчётов решается задача о распаде произвольного разрыва для квазударного возмущения солнечного ветра, проходящего через фронт головной ударной волны, и для быстрой ударной волны, преломлённой через магнитопаузу, представляемую в виде тангенциального разрыва. Поведение плазмы вблизи критической линии тока описывается обобщённым МГД уравнением Бернулли. Доказывается, что проходящая ударная волна отражается от магнитопаузы в виде вторичной быстрой волны разрежения, которая, в свою очередь, примерно через 1 минуту отражается от головного фронта в виде новой волны разрежения и затем создаёт обратную волну сжатия. Эта волна может опрокинуться с образованием обратной (направленной к Солнцу) ударной волны, подталкивающей головной фронт по направлению к Солнцу. Полученные результаты подтверждаются наблюдениями на космических аппаратах CLUSTER и THEMIS.

Автор (первый) указывает на выполнение работы в рамках программы П-7 и на частичную поддержку грантом РФФИ 14-01-00-335а.

ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОЭФФЕКТИВНЫХ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В МАРТЕ И ИЮНЕ 2015 г.

Ю.С. Шугай¹, В.А. Слемзин², Д.Г. Родькин²

¹НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, jshugai@srd.sinp.msu.ru

²Физический институт им. П.Н. Лебедева (ФИАН), г. Москва, Россия

При прогнозировании геомагнитных бурь, вызываемых межпланетными корональными выбросами массы (МКВМ) важную роль играет правильная идентификация источника – коронального выброса массы (КВМ). При этом учитываются такие характеристики КВМ, как временные соотношения между вылетом КВМ и регистрацией МКВМ, положение источника на диске, направленность КВМ в сторону Земли. Однако, в ряде случаев этих параметров бывает недостаточно для однозначной идентификации источника в серии близких по времени и месту событий, или в случае, когда характеристики КВМ во время движения в гелиосфере изменяются в результате взаимодействия с другим КВМ или квазистационарным потоком солнечного ветра. Настоящая работа посвящена анализу корональных источников для двух самых сильных геомагнитных возмущений 24-го солнечного цикла в марте и июне 2015 года. Приведены данные о корональных источниках на основе наблюдений, полученных с космических аппаратов (КА) SOHO/LASCO, SDO/AIA и SDO/HMI. Представлен обзор опубликованных результатов по описанию событий марта и июня 2015 года. Обсуждаются различия в данных о корональных источниках и в оценках параметров корональных выбросов масс. Анализируется ионный состав межпланетных корональных выбросов масс, который используется для подтверждения соответствия между потоками солнечного ветра на околоземной орбите и их корональными источниками. Рассматриваются данные по моделированию потоков СВ на околоземной орбите, на основе модели WSA/ENLIL и по данным с КА SDO/AIA. Рассматриваются возможные причины высокой геоэффективности потоков солнечного ветра, в частности, влияние взаимодействия КВМ с высокоскоростными потоками солнечного ветра из корональных дыр.

ГЕОЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСА ЯВЛЕНИЙ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА *IS + SHEATH + ICME*

Ю.И. Ермолаев, И.Г. Лодкина, М.Ю. Ермолаев

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия, yermol@iki.rssi.ru

В литературе часто рассматриваются «индуцированные *CME* магнитные бури (*CME*-induced magnetic storms)», т.е. не учитывается, что *CME*, наблюдавшиеся у Солнца, в окрестности Земли могут дополнительно к телу самого *CME* (*MC* и *Ejecta*) образовывать область сжатия *Sheath* и межпланетную ударную волну *IS*, и исследуются комплексные события «(*IS*) + *Sheath* + *ICME*» без разделения на *IS*, *Sheath* и *ICME*. На основе нашей базы данных «Крупномасштабных типов явлений солнечного ветра в интервале 1976-2000гг.» были вычислены средние профили параметров поля и плазмы для различных наблюдавшихся комбинаций типов солнечного ветра (для всех событий безотносительно к генерации бурь), и было показано, что средние значения измеренного и скорректированного *Dst* и *Dst** индексов убывают (средняя интенсивность бурь нарастает) во время *Sheath* и возрастают (интенсивность падает) во время *ICME* [Yermolaev et al., JGR, 2015]. Статистический анализ [Ермолаев и др., КИ, 2017] показал, что в последовательностях (*IS*) + *Sheath* + *ICME* наибольшее число начал бурь приходится на *Sheath*, а максимумов бурь (минимумов *Dst* и *Dst** индексов) — на конец *Sheath* и начало *ICME*, т.е. наиболее часто наблюдается ситуация, когда, по крайней мере, большая часть главной фазы генерации бурь приходится на *Sheath*, и в реальности наблюдаются генерированные *Sheath* бури.

ПРИМЕРЫ ВОСЬМИ ТИПОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

И.С. Веселовский, К.Б. Капорцева

МГУ им М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, kb.kaportceva@physics.msu.ru

В июле 2016 года стали доступны данные с нового спутника DSCOVR (Deep Space Climate Observatory), запущенного в точку Лагранжа в феврале 2015г. На основе этих данных представлена бинарная (большой-маленький) трехпараметрическая классификация типов солнечного ветра по основным гидродинамическим параметрам (скорость, плотность, температура), и приведены примеры определения различных типов солнечного ветра в реальном масштабе времени. Важно, что на разных временных интервалах один и тот же поток может определяться по-разному, то есть классификация зависит от масштаба времени.

Таким образом, мы получаем восемь типов солнечного ветра: горячий-быстрый-плотный, холодный-быстрый-плотный, горячий-медленный-плотный, холодный-медленный-плотный, горячий-быстрый-разреженный, холодный-быстрый-разреженный, горячий-медленный-разреженный, холодный-медленный-разреженный. Эти типы встречаются с разной частотой и представляют собой следствия различной солнечной активности. Интерес представляют такие потоки солнечного ветра, в которых гидродинамические параметры наиболее сильно отличаются от своих средних значений. Развиваясь во времени, один тип может перейти в другой. В докладе рассматриваются возможные корональные источники указанных типов.

ВТОРИЧНЫЙ МЕЖЗВЕЗДНЫЙ НЕЙТРАЛЬНЫЙ КИСЛОРОД В ГЕЛИОСФЕРЕ: КИНЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ С ДАННЫМИ КА IBEX

И.И. Бальюкин, В.В. Измоленов, О.А. Катушкина, Д.Б. Алексахов

МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, balyukin.ii@gmail.com

В 2015 г. были представлены первые количественные данные измерений потоков межзвездных атомов кислорода, третьего (после водорода и гелия) по космическому содержанию элемента в локальной межзвездной среде, на КА IBEX (Park et al., ApJS, 2015). Качественный анализ этих данных показывает, что наряду с первичными межзвездными атомами кислорода была также измерена вторичная компонента межзвездных атомов. Эта компонента образуется в окрестности гелиопаузы из-за перезарядки межзвездных ионов кислорода с атомами водорода и ее существование в гелиосфере было ранее предсказано теоретически (Izmodenov et al., 1997, 1999, 2001).

Количественный анализ потоков межзвездного кислорода возможен только с помощью модели, которая учитывает как фильтрацию первичного и рождение вторичного межзвездного кислорода в области взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой, так и детальное моделирование движения межзвездных атомов внутри гелиосферы, учитывающее временную и гелиоширотную зависимость процессов ионизации и перезарядки на протонах солнечного ветра, а также силу солнечного гравитационного притяжения. В настоящей работе представлены результаты моделирования межзвездных атомов кислорода в области гелиосферного ударного слоя и внутри гелиосферы на основе новой трехмерной модели взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой (Izmodenov et al., 2015). Проводится качественное и количественное сравнение результатов расчетов с данными, полученными на КА IBEX.

ОБ ИНТЕНСИВНОСТИ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ПРИБЛИЖАЮЩЕМСЯ МИНИМУМЕ ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

**М.Б. Крайнев, Г.А. Базилевская, М.С. Калинин, А.К. Свиржевская,
Н.С. Свиржевский**
ФИАН им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, Россия, mkrainev46@mail.ru

В течение длительного и глубокого минимума солнечной активности между циклами 23 и 24 (минимум 23/24, ~2008-2009 гг.) в районе орбиты Земли наблюдалось необычное поведение гелиосферных характеристик и повышенная интенсивность галактических лучей (ГКЛ). Сравнение характеристик Солнца и гелиосферы в текущем, 24-ом, солнечном цикле с их поведением в предыдущие циклы указывают на высокую вероятность дальнейшего развития указанных тенденций. Таким образом, в предстоящем в 2019-2020 гг. минимуме 24/25 можно ожидать ещё более высокой интенсивности ГКЛ, что важно как для понимания процесса модуляции ГКЛ в гелиосфере, так и для оценки радиационной безопасности планируемых космических полётов и т. д.

В этих условиях мы считаем важным количественно оценить возможные характеристики ГКЛ около Земли в приближающемся минимуме солнечной активности (~2019-2020 гг.), основываясь как на прогнозах гелиосферных характеристик, важных для модуляции космических лучей, так и на численных расчётах интенсивности ГКЛ. Кроме того, мы оцениваем вариации от цикла к циклу интегральных для всей гелиосферы характеристик ГКЛ (суммарной энергии, заряда и т. д.).

**секция НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ВОЛНОВЫЕ
ПРОЦЕССЫ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ**

ЭФФЕКТИВНАЯ ДЛИНА ПРИЁМНОЙ АНТЕННЫ ПРИ СПУТНИКОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ КВАЗИЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ХОРОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Е.А. Широков¹, А.Г. Демехов^{1,2}, Ю.В. Чугунов¹, А.В. Ларченко²

¹Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия, evshirok@gmail.com

²Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия

Предложен метод расчёта эффективной (электрической) длины приёмной антенны на спутнике в случае приёма квазиэлектростатических хоровых излучений в магнитосфере, распространяющихся близко к резонансному конусу. Этот метод основан на теории резонансного отклика приёмной антенны в анизотропной плазме и на специальной модели источника таких излучений. Последний представлен как ориентированный вдоль геомагнитного поля «эффективный» электрический диполь, параметры которого определяются характеристиками фоновой плазмы и излучения, регистрируемого приёмной антенной.

Предложенным методом рассчитана эффективная длина приёмной антенны для нескольких типичных примеров квазиэлектростатических хоровых излучений, зарегистрированных спутниками THEMIS. Отношение этой длины к геометрической, как правило, больше 1 и достигает 30. Соответственно, напряжённость электрического поля излучения, вычисляемая по напряжению на антенне с учётом её эффективной длины, может быть значительно меньше, чем та, что определяется только из геометрических размеров антенны.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЯ ИОНОСФЕРНОГО ОНЧ-ИСТОЧНИКА В ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПО МОДИФИКАЦИИ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ

О.М. Лебедь, Ю.В. Федоренко, Н.Ф. Благовещенская
*Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия,
olgamihs@yandex.ru*

Эксперименты по нагреву высокоширотной ионосферы мощным модулированным коротковолновым сигналом позволяют исследовать физические процессы, происходящие в ионосферной плазме, и эффекты распространения низкочастотных волн в волноводе Земля-ионосфера. Результаты такого рода исследований могут быть использованы как для целей связи на низких частотах, так и для изучения глубинного распределения проводимости земной поверхности, что может дать сведения о ее геологической структуре.

В данной работе приведены результаты наземных наблюдений низкочастотного электромагнитного поля СНЧ/ОНЧ диапазона на четырех станциях ПГИ в октябре 2014 и 2016 гг. во время сеансов нагрева ионосферы мощным модулированным коротковолновым сигналом, проведенных ААНИИ на стенде «EISCAT/Heating». С помощью полно-волнового метода проведено моделирование пространственного распределения компонент электромагнитного поля ионосферного СНЧ/ОНЧ источника у земной поверхности. Обсуждаются особенности возбуждения волновода Земля-ионосфера и распространения СНЧ/ОНЧ сигнала. Сравниваются результаты измерений амплитуд, фаз, фазовой скорости и модового состава сигнала ионосферного источника в точках наблюдений и результаты моделирования.

ИЗМЕНЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ОНЧ- ИЗЛУЧЕНИЙ ВО ВРЕМЯ ПОЛЯРНОЙ СУББУРИ

Ю. Маннинен¹, Н.Г. Клейменова^{2,3}, Л.И. Громова⁴, Е.Л. Макотела¹,
А.Е. Козловский¹, Т. Турунен¹

¹Геофизическая обсерватория Соданкюля, Финляндия

²ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, kleimen@ifz.ru

³ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

⁴ИЗМИРАН, г. Москва (Троицк), Россия

Обсуждаются внезапные резкие изменения спектральной структуры квазипериодических (QP) ОНЧ-излучений в авроральных широтах, вызванные развитием слабой полярной суббури и всплеском геомагнитных пульсаций P₁₃. Исследуемые ОНЧ-излучения были зарегистрированы в северной Финляндии в Каннуслехто (L = 5.5) в 35 км от обс. Соданкюля поздним вечером 24 декабря 2011г. в магнитно-спокойное время. ОНЧ-излучения представляли собой длительную серию повторяющихся относительно стабильных сигналов, не сопровождаемых геомагнитными пульсациями. Сигналы имели своеобразный динамический спектр и состояли из шумовых всплесков длительностью около 2-х мин с возрастающей частотой от ~1.7 кГц до ~5.5 кГц. Каждый всплеск состоял из двух частей и начинался с возрастающих по частоте низкочастотных шумовых сигналов, постепенно переходящих в полосу шума с быстрым ростом частоты. Перелом в динамическом спектре излучений отмечался на частоте ~2.5 кГц, при этом направление прихода низкочастотных и высокочастотных волн было различным. Такая относительно устойчивая структура ОНЧ была неожиданно разрушена началом небольшой магнитной суббури, наблюдаемой далеко к северу от Каннуслехто, в полярных широтах на Шпицбергене. При этом в обс. Соданкюля значительных геомагнитных и ионосферных возмущений не отмечалось. Резкие изменения в динамическом спектре ОНЧ начались одновременно с началом геомагнитных пульсаций P₁₃, максимум которых отмечался вблизи границы полярной шапки. Низкочастотная отсечка ОНЧ-волн, совпадающая с частотой отсечки в волноводе Земля-ионосфера, упала от 1.7 кГц до ~1 кГц, направление прихода и динамический спектр ОНЧ излучений изменились. В это время в Каннуслехто также наблюдались вариации амплитуды сигналов (~20-25 кГц) навигационных передатчиков, трассы которых проходили над полярным районом развития суббури. Сделан вывод о том, что наземные ОНЧ-излучения могут быть тонким индикатором магнитосферно-ионосферных возмущений, протекающих даже на большом удалении от пункта ОНЧ-наблюдений.

МЕТОД ОЦЕНКИ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЛАСТИ ВЫХОДА ЕСТЕСТВЕННЫХ СНЧ/ОНЧ-СИГНАЛОВ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ТРЕХ КОМПОНЕНТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

А.С. Никитенко, О.М. Лебедь, А.В. Ларченко, Ю.В. Федоренко
*Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия,
alex.nikitenko91@gmail.com*

При исследовании СНЧ/ОНЧ-излучений магнитосферного происхождения особый интерес представляет определение положения области выхода волн и изучение связи ее динамики с другими геофизическими процессами. Одновременные наблюдения магнитосферных СНЧ/ОНЧ-сигналов в пространственно разнесенных точках на земной поверхности в авроральных широтах показывают, что область, в которой они наблюдаются, ограничена. Электромагнитное поле в этой области может быть представлено в виде суммы распространяющихся и неоднородных плоских волн. Значительное влияние на структуру поля в точках наземной регистрации оказывают отражения ОНЧ-волн от верхней анизотропной стенки волновода Земля-ионосфера. Эти отражения отсутствуют на частотах ниже частоты поперечного резонанса волновода Земля-ионосфера (около 1.8 кГц), поскольку в этом случае распространяется только ТЕМ мода. На более высоких частотах волны в волноводе Земля-ионосфера могут распространяться на ТЕ и ТМ модах. Вследствие их интерференции ориентация малой оси эллипса поляризации горизонтального магнитного поля в общем случае не совпадает с направлением на источник. Как следствие, одна из наиболее информативных с точки зрения решения обратной задачи величин – направление вектора Пойнтинга у земной поверхности не совпадает с направлением от источника. Исследование динамики области выхода СНЧ/ОНЧ-излучений из ионосферы по данным наземных наблюдений невозможно без оценки влияния вышеописанных факторов на результаты измерений.

В настоящей работе предложен метод оценки параметров области выхода, представленной в виде двумерной гауссовой функции пространственных координат. Распространение ОНЧ-волн от верхней границы нижней ионосферы к земной поверхности рассчитывается полноволновым методом, что позволяет описать отражения волн от ионосферы и учесть их при поиске решения. В качестве входных данных используются результаты наземных наблюдений трех компонент (двух горизонтальных магнитных и вертикальной электрической) электромагнитного поля ОНЧ-излучений.

ВНЕШНЕМАГНИТОСФЕРНЫЕ РЕЗОНАНСЫ: ИХ СЛОЖНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И ГЛОБАЛЬНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ

С.П. Савин¹, В.П. Будаев^{1,2}, Э. Амата³, Л.В. Козак⁴, Л.А. Лежен¹

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия,

²РНЦ Курчатовский институт, г.Москва,Россия

³IFSI, Roma, Italy

⁴Киевский университет ,г.Киев, Украина

На данных динамического давления спутников CLUSTER, DOUBLE STAR, GEOTAIL, ACE/WIND впервые продемонстрировано, что возникают сверхнизкочастотные (0.02-10 мГц) резонансы на границе магнитосферы, существенно влияющие на процессы переноса плазмы через магнитосферные границы. Продemonстрировано наличие корреляции динамического давления в магнитосфере и потоков энергичных частиц в магнитосфере, а также магнитных ионосферных возмущений свыше 80%. Причем, в 48% случаев существенной корреляции возмущения в магнитосфере и ионосфере предшествуют возмущениям в дневном магнитослое, лежащем вверх по потоку относительно магнитосферных возмущений.

Мы предлагаем объяснение этой аномалии, а также демонстрируем (впервые), что внешнемагнитосферные резонансы осуществляют связь с резонансами на ударной волне через поток вектора Пойнтинга, направленный на Солнце.

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ШУМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В.И.Ларкина, Ю.Я.Ружин
ИЗМИРАН, г.Москва, Россия

Низкочастотные электромагнитные шумовые излучения в звуковом диапазоне частот (100 Гц – 20 кГц) принято считать радиопомехами. На самом деле, низкочастотные радишумы – полезное средство диагностики окружающей нас Мира.

Комплексный анализ одновременно зарегистрированных результатов спутниковых измерений интенсивности низкочастотных электромагнитных излучений в звуковом диапазоне частот (100 Гц – 20 кГц), потоков энергичных электронов, плотности и температуры ионосферной плазмы (продемонстрировал) показал отклик ионосферной плазмы на процессы геомагнитных возмущений, подготовки активных сейсмических и медленных геодинамических процессов.

Установлено, что над обнаруженными (зарегистрированными) зонами радиоактивного загрязнения в Кольском заливе, в Баренцевом, Карском, Северном, Гренландском морях наблюдаются устойчивые одновременные интенсивные вариации низкочастотных излучений, потоков низко-энергичных электронов с энергиями $E_e=50$ эВ и $E_e=150$ эВ и температуры ионосферной плазмы. Показано, что зоны регистрации одновременных флуктуаций параметров ионосферной плазмы на высотах спутника совпали с известными областями повышенного содержания радионуклидов и можно считать установленным, что повышение концентрации радиоактивных веществ является вестником техногенного радиоактивного загрязнения. Нами предложен метод обнаружения радиоактивных загрязнений в приземном слое атмосферы, в водном и придонном слоях гидросферы по данным спутникового мониторинга параметров ионосферной плазмы. Отметим, что известны данные, подтверждающие повышение концентрации тяжелых элементов вдоль некоторых активных долгоживущих глубинных разломов. Кроме того, в атмосферу через эти зоны разломов могут поступать глубинное тепло и глубинные газы, такие как гелий, водород, радон и метан. И тем самым, будучи зарегистрированы на спутнике, они могут являться индикатором радиоактивного загрязнения. На основании выше изложенного, нами предложен метод диагностики радиоактивных загрязнений в приземном слое атмосферы, в водном и придонном слоях гидросферы по результатам спутникового мониторинга параметров ионосферной плазмы.

Это позволит организовать высокоинформативный спутниковый мониторинг состояния фона радиации радиоактивного фона околоземной ионосферной плазмы, как над отдельными регионами, так и в планетарном масштабе.

Таким образом, установлено изменение параметров ионосферной плазмы, особенно, интенсивности низкочастотных шумов, над регионами радиоактивных загрязнений. Показано, что использование метода спутникового мониторинга низкочастотных шумовых излучений перспективно для определения радиоактивных загрязнений и для решения проблемы защиты окружающей среды.

Работа относится к проблемам современной экологии. Результаты могут быть использованы для обнаружения явлений, связанных с радиационным загрязнением окружающей пространства, например, в области экологического мониторинга районов континентального шельфа для выявления зон и областей повышенной концентрации радиоактивных загрязнений. Материалы статьи могут быть также полезны ученым, работающим в области исследования физических явлений в околоземном космическом пространстве.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПАДАЮЩИХ НА НОЧНУЮ ИОНОСФЕРУ СВЕРХУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН СВИСТОВОГО ДИАПАЗОНА

П.А.Беспалов¹, В.Г.Мизонова²

¹*Институт прикладной физики РАН, г.Нижний Новгород, Россия, peter@appl.sci-nnov.ru*

²*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г.Нижний Новгород, Россия*

Получены результаты численного решения волновых уравнений при наклонном падении на ночную ионосферу сверху свистовых электромагнитных волн. В рассматриваемой области высот резко в масштабе длины волны меняется концентрация заряженных частиц, существенно связанное со столкновениями заряженных и нейтральных частиц затухание и происходит трансформация плазменных возмущений в вакуумные электромагнитные волны. Для модели плоскостной среды получены и проанализированы зависимости от частоты и от горизонтальной компоненты волнового вектора коэффициента отражения свистовой волны по энергии и величины горизонтальной компоненты магнитного поля электромагнитной волны вблизи земной поверхности. Указанные величины существенно зависят от угла падения волны. При сравнительно малых углах падения волновые возмущения достигают земной поверхности, а модуль логарифма коэффициента отражения лежит в пределах от 0.4 до 1. При больших углах падения в зависимости от конкретных условий модуль коэффициента отражения может меняться в широких пределах. Полученные результаты указывают на отсутствие стабильной возможности реализации колебательных режимов работы плазменного магнитосферного мазера в ночной магнитосфере.

ИСКУССТВЕННЫЙ СВИСТ

Ю.М.Михайлов

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, yumikh@izmiran.ru

Рассматриваются сигналы электрического генератора, установленного на спутнике «Интеркосмос-24» как источник информации об окружающей плазме. Обработка сигналов падающей частоты по программе Тарчаи показала, что такой сигнал позволяет получить параметры, аналогичные тем, которые вычисляются из свистовой кривой, в частности, дисперсию и параметр A , который связан с отношением плазменной частоты к носовой. Для вычисления L приходится воспользоваться дополнительной информацией, которая вытекает из «затяжки» импульса. Если предположить, что затяжка связана с двойным прохождением силовой линии, можно оценить длину силовой линии, a , следовательно, и величину L , что дает дополнительные диагностические возможности.

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ АЛЬФВЕНОВСКИЕ ТОРНАДО

О.Г. Онищенко, О.А. Похотелов, В.Н. Федун, Н.М. Астафьева

Институт физики Земли РАН, г.Москва, Россия, onish@ifz.ru;

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия

Изучены нелинейные вихревые структуры крупномасштабных бездисперсионных альфвеновских волн в однородной бесстолкновительной плазме. Показано, что нелинейные альфвеновские волны в однородной плазме могут распространяться в виде торнадо с магнитной силовой трубкой конечного радиуса и с вихревым вращением плазмы и магнитного поля внутри трубки. Характерный масштаб вихря существенно больше ионного ларморовского радиуса и электронной скин-длины.

ПРОЯВЛЕНИЯ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ РС1 ТИПА «ЖЕМЧУЖИН»

А.В. Петленко, Ю.А.Копытенко
SPbF IZMIRAN, Россия, petlenko.58@mail.ru

Фазовые запаздывания возмущений поля в диапазоне геомагнитных пульсаций Pc4, фиксируемых одновременно с активизациями Pc1 типа «жемчужин» (с периодом колебаний ~ 1.5 с) высокоширотными станциями, отображают изменения особенностей 2D распределений поля, вызванные перераспределениями интенсивностей локальных ионосферных источников Pc4 и магнитосферных продольных токов, связанных с локальными протонными эмиссиями и возбуждением импульсных всплесков Pc1 продолжительностью 20-40 с [Петленко и Копытенко, Геокосмос 2016].

Характерный масштаб областей локализации таких особенностей $\sim 20-70$ км не превосходит расстояния между станциями, на которых наблюдаются всплески «жемчужин». Поэтому разное расположение станций относительно областей локализации особенностей поля Pc4, формируемых в периоды активизации Pc1, и изменения интенсивностей токов, формирующих эти особенности, могут приводить к существенным амплитудно-фазовым различиям компонент поля Pc1, регистрируемых разными станциями. Показано, что на пяти станциях, расположенных вдоль геомагнитного меридиана $\Lambda_m \sim 112^\circ$ (в пределах $\Phi_m \sim 58.9-61.5^\circ$) чередования правой и левой поляризации Pc1 не коррелированы. Эти различия хорошо объясняются почти периодической (с периодом следования ~ 1.5 с) серией импульсных воздействий, образующих каждый из всплесков «жемчужин», и составляющих тонкую структуру поля Pc1.

RELATIVISTIC ELECTRON PRECIPITATION AND GEOMAGNETIC Pc1 PULSATIONS

A.G. Yahnin¹, T.A. Yahnina¹, T. Raita², J. Manninen²

¹*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia, ayahnin@gmail.com*

²*Sodankyla Geophysical Observatory, Sodankyla, Finland*

The interaction with EMIC waves is often considered as one of the most important mechanisms for scattering radiation belt relativistic electrons into the loss cone. At the same time other mechanisms (e.g., interaction with hiss and UHR waves as well as scattering due to violation of adiabatic motion of particles in a weak magnetic field) can also be responsible for relativistic electron precipitation (REP). The relative role of different precipitation mechanisms is not clear. To investigate the role of EMIC waves, the database consisting of 1058 REP events (so called "precipitation bands") observed by several NOAA POES spacecraft between 1 July and 31 December 2005 was used. From this amount, 114 events were observed in the ± 1 hour MLT range around the network of search coil magnetometers operated by Sodankyla Geophysical Observatory and by Polar Geophysical Institute. During the "conjugated" REP events the spectrograms revealed from the magnetometer data exhibit different kinds of pulsations (PiC, PiB, Pc1, IPDP). For 59 REP events the pulsations were PiC and PiB. In 19 events there were no pulsations. For 35 REP events (about a third of all events) the spectrograms showed the presence of geomagnetic pulsations in the Pc1 range (Pc1 or IPDP), which are well known signatures of EMIC waves. However, the Pc1 pulsations could propagate to the station from a remote source through ionospheric waveguide. As an indicator of the EMIC wave source we used the localized precipitation of energetic protons (LPEP) equatorward of the isotropy boundary. We found seven events, for which the Pc1 pulsations were observed, but LPEP were not co-located with REP, that is, the source of the EMIC waves was not associated with the REP source. As result, only 28 REP events with simultaneous Pc1 pulsations (about a quarter of all REP events) were collocated with LPEP. Thus, the majority of relativistic electron precipitation is produced by other mechanisms, not by interaction with EMIC waves.

In addition, observations of LPEP were used to select the "EMIC wave driven REP" events from the whole database. Only 162 of 1058 REP events (~15%) related to interaction with EMIC waves were found.

THE MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ENERGETIC PROTON PRECIPITATION EQUATORWARD OF THE ISOTROPY BOUNDARY AS MEASURED BY NOAA POES

N.V. Semenova¹, T.A. Yahnina¹, A.G. Yahnin¹, A.G. Demekhov^{1,2}

¹*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia, nadezhda.semenova@gmail.com*

²*Institute of Applied Physics, Nizhny Novgorod, Russia*

On the basis of NOAA POES observations we constructed a map of the global occurrence rate of energetic proton precipitation (EPP) equatorward from the isotropy boundary. It is shown that the occurrence rate of EPP within anisotropy zone is maximal in the afternoon sector at L=6-9 and decreases to dawn and dusk. There is a tendency to growth of the occurrence rate with the increase of solar wind dynamic pressure and geomagnetic activity. We compared the global distribution of EPP with observational statistics of EMIC waves revealed from magnetospheric spacecraft data, and found the remarkable similarity. This confirms that EPP events are the result of the ion-cyclotron instability in the equatorial magnetosphere.

COMPARISON OF EMIC WAVE OBSERVATIONS IN THE NEAR-EQVATORIAL REGION OF THE MAGNETOSPHERE AND PRECIPITATION OF ENERGETIC PROTONS AT LOW ALTITUDES

T.A. Popova¹, A.G. Yahnin¹, A.G. Demekhov^{1,2}

¹*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

²*Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod, Russia tarkada@yandex.ru*

Разработан комплекс программ для сопоставления наблюдений на магнитосферных и низкоорбитальных спутниках. Для этого определяются проекции траекторий спутников на уровень ионосферы (100 км) в SM системе координат (для низкоорбитальных спутников - с помощью модели IGRF, для магнитосферных – с помощью IGRF и различных вариантов моделей Н.А. Цыганенко). Для близких проекций строится широтное распределение сопоставляемых параметров с разных спутников. В нашем случае это распределение интенсивности потока высыпающихся протонов, измеряемых на спутниках NOAA POES и MetOp, и интенсивности ЭМИЦ волн на спутниках THEMIS. Интенсивность волн определяется отдельно в полосах H+ и He+. Определяются частоты, на которых наблюдаются максимальные амплитуды волн в каждой полосе. Кроме того, когда это возможно, строится широтное распределение плотности холодной плазмы. С использованием этого комплекса программ показана сопряженность области генерации ЭМИЦ волн с высыпаниями энергичных протонов. Наиболее явно это следует из сопоставления событий, относящихся к квазимонохроматическим излучениям, источник которых достаточно долго не меняет широтного положения. Показано, что высыпания протонов сопровождают генерацию ЭМИЦ волн в обеих полосах. При этом, как правило, генерация волн ниже (выше) гирочастоты He+ происходит в плазмосфере (за плазмопаузой).

СВИСТОВЫЕ ВОЛНЫ НИЖЕ НГР-ЧАСТОТЫ — МЕХАНИЗМ ВОЗБУЖДЕНИЯ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Д.Р. Шкляр, М.А. Балихин

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, david@iki.rssi.ru

Экваториальный шум в диапазоне частот ниже частоты нижнего гибридного резонанса (НГР), структура которого определяется высокими протонными циклотронными гармониками, наблюдался в целом ряде спутниковых экспериментов. Выразительные примеры такого излучения были недавно представлены на основе данных волновых измерений на спутниках Cluster. Развита количественная модель этого волнового явления, которая предполагает (как и было предложено очень давно, но не было подтверждено расчетами), что наблюдаемый спектр возбуждается в результате развития конусной неустойчивости энергичных протонов в экваториальной области магнитосферы. В данной модели волновое поле представляется в виде суммы волновых пакетов с постоянной частотой. Такие пакеты могут распространяться без сильного затухания на электронах только в случае, если угол их волновой нормали по отношению к внешнему магнитному полю близок к $\pi/2$. Лучевая траектория таких волн, определяемая уравнениями геометрической оптики, оказывается локализованной вблизи экваториальной области, а широтные колебания луча сопровождаются его радиальным смещением. Поскольку внешнее магнитное поле существенно изменяется вдоль лучевой траектории, волновой пакет постоянной частоты неизбежно проходит значительное число протонных циклотронных резонансов. При этом инкремент таких волновых пакетов, формирующих экваториальный шум, меняется вдоль лучевой траектории как по величине, так и по знаку, что делает интегральный коэффициент усиления волн, а не их инкремент (декремент) основной характеристикой процесса генерации. (Все предыдущие модели этого явления основывались лишь на анализе инкремента волн). Выполнен расчет инкрементов и коэффициентов усиления вдоль лучевых траекторий для двумерного массива волновых пакетов, имеющих различные значения частоты и L-оболочки на экваторе, но только два значения начального угла волновой нормали. Оба этих угла лежат вблизи $\pi/2$ в соответствии с указанным выше свойством рассматриваемых волн. Несмотря на то, что выбранные начальные условия являются сильно упрощенными, полученный модельный спектр излучения качественно согласуется с наблюдаемым в эксперименте, в частности, на спутнике Cluster.

СВЯЗЬ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ЛИНЕЙНОЙ И НЕЛИНЕЙНОЙ СТАДИЙ ГЕНЕРАЦИИ ВОЛН В МАГНИТОСФЕРНОМ ЦИКЛОТРОННОМ МАЗЕРЕ В РЕЖИМЕ ЛАМПЫ ОБРАТНОЙ ВОЛНЫ

А.Г. Демехов

Полярный геофизический институт, г.Апатиты, Россия

Институт прикладной физики РАН, г.Нижний Новгород, Россия,

andrei@appl.sci-nnov.ru

Соотношения, связывающие между собой параметры квазимонохроматических свистовых волн, генерируемых на линейной и нелинейной стадиях циклотронной неустойчивости в режиме лампы обратной волны, с помощью численных расчетов обобщены на случай неоднородной среды. Одно из этих соотношений связывает амплитуду волн на нелинейной стадии с линейным инкрементом циклотронной неустойчивости. Оно получено ранее аналитически В.Ю.Трахтенгерцем (1984) для однородной среды в предположении постоянной частоты и амплитуды генерируемой волны. В данной работе показано, что аналогичное соотношение имеет место и для случая сигналов, генерируемых в неоднородном магнитном поле и характеризуемых дискретной структурой в виде коротких волновых пакетов (элементов) с быстрым дрейфом частоты внутри каждого элемента. Также уточнены формула для линейного инкремента абсолютной циклотронной неустойчивости в неоднородной среде и соотношение между скоростью изменения частоты в дискретных элементах и амплитудой волн. Все эти соотношения играют важную роль при анализе связи между параметрами хоровых ОНЧ-излучений в магнитосферах Земли и планет и характеристиками генерирующих эти сигналы энергичных частиц.

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОНЧ-ВОЛН В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ НА ИХ ЦИКЛОТРОННОЕ УСИЛЕНИЕ

Д.Л. Пасманик, А.Г. Демехов

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, pdl@aurora.appl.sci-nnov.ru

Исследуются особенности циклотронного усиления ОНЧ-волн при их распространении в магнитосфере Земли при наличии крупномасштабных плазменных неоднородностей, таких как плазмопауза и дакты плотности.

Распространение волн рассматривается в рамках уравнений геометрической оптики. Исследовано изменение амплитуды сигналов, обусловленное циклотронным взаимодействием волн с энергичными электронами с анизотропной функцией распределения. Инкремент циклотронной неустойчивости на траектории распространения волны вычисляется с учетом изменяющегося направления волнового вектора для заданного аналитически модельного распределения энергичных электронов. Учитывается также изменение амплитуды сигнала из-за рефракции лучей.

С использованием профилей распределения холодной плазмы, измеренных на спутниках Van Allen, исследовано распространения волн от источника, расположенного в экваториальной области магнитосферы. Найдены условия выхода сигналов от такого источника к поверхности Земли. Результаты данного исследования могут быть использованы для интерпретации экспериментальных данных по одновременному наблюдению ОНЧ-сигналов на спутниках и наземных станциях.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ УЗКОПОЛОСНЫХ ШУМОВЫХ ОНЧ-ИЗЛУЧЕНИЙ В ДИАПАЗОНЕ 4-10 КГЦ: РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ДАННЫХ И ИЗМЕРЕНИЙ НА СПУТНИКАХ VAN ALLEN PROBES

**Е.Е. Титова¹, А.Г. Демехов^{1,2}, Ю. Маннинен³, Д.Л. Пасманик², Д.Р. Шкляр⁴,
А.В.Ларченко¹**

¹ПГИ, г. Апатиты, Россия, lena.titova@gmail.com;

²ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия

³Геофизическая обсерватория Соданкюля, Финляндия

⁴ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

Наземные наблюдения ОНЧ-излучений в полосе частот 4 – 10 кГц существенно затруднены из-за высокого уровня амплитуд сфериков, максимум интенсивности которых формируется именно в этом частотном диапазоне при распространении сигналов от грозовых разрядов в волноводе Земля-ионосфера. По-видимому, именно по этой причине характеристики таких излучений и их генерация практически не обсуждались в литературе, за исключением нескольких примеров в классической книге Р.А.Хелливелла и в недавней статье Manninen et al. (*Environmental Research Letters*, 2016).

В докладе представлены результаты одновременных наблюдений шумовых ОНЧ-излучений в полосе частот 4 – 10 kHz на наземной станции в северной Финляндии и на спутниках Van Allen Probes (VAP) в экваториальной области магнитосферы, когда проекция траектории спутника находилась на расстоянии не более 2-3 тыс. км от наземной станции. Как правило, в отобранных событиях на спутнике регистрировались относительно узкополосные (с шириной полосы около 20%) шумовые электромагнитные ОНЧ-излучения, частота которых изменялась пропорционально экваториальной гирочастоте электронов, на соответствующей L-оболочке спутника. В ряде случаев наземные ОНЧ-излучения на различных частотах однозначно соответствовали излучениям, наблюдавшимся на спутнике в разных точках пространства, что позволило локализовать положения областей их генерации. Расчеты траекторий волн от экваториальных источников для распределений плотности плазмы, регистрируемых на спутнике VAP, подтверждают возможность выхода к Земле наблюдаемых ОНЧ-излучений.

Результаты многокомпонентных измерений на спутниках VAP показали, что направления волновых нормалей ОНЧ-излучений, коррелировавших с наземными данными, обычно близки (в пределах 20°) к магнитному полю, а их вектор Пойнтинга направлен от экватора. Зависимость частот излучения от экваториальной гирочастоты электронов, малые углы волновых нормалей и распространение рассматриваемых излучений от экватора являются аргументами в пользу генерации этих эмиссий за счет развития циклотронной неустойчивости. С использованием полученных спутниками VAP данных по потокам и питч-угловым распределениям энергичных электронов и по концентрации холодной плазмы рассчитан инкремент циклотронной неустойчивости для свистовых волн.

Работа частично поддержана Программой № 7 Президиума РАН. Авторы благодарят разработчиков спутников Van Allen Probes за возможность использования данных.

ПЕРЕНОС ЭНЕРГИИ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОНАМИ ПРИ РЕЗОНАНСНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ПАКЕТАМИ СВИСТОВЫХ ВОЛН В МАГНИТОСФЕРЕ

Д. Р. Шкляр

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, david@iki.rssi.ru

Поиск эффективных механизмов ускорения и нагрева электронов остается наиболее важной проблемой физики радиационных поясов Земли. Среди различных механизмов нагрева наиболее часто обсуждают те, которые связаны с взаимодействием волн и частиц. Если взаимодействие частиц с квазимонохроматической волной может приводить к заметному ускорению частиц на одном периоде баунс-колебаний, взаимодействие частиц с широким спектром волн ведет, как правило, к диффузии частиц в фазовом пространстве, а характерное время нагрева в этом случае намного больше периода баунс-колебаний частиц. Одним из следствий резонансного взаимодействия волн и частиц является обмен энергией между волнами и резонансными частицами, в частности, возможность нагрева частиц за счет энергии волн. Такой механизм, однако, имеет существенные ограничения, связанные с тем, что плотность энергии волн, как правило, намного меньше плотности энергии резонансных частиц. Поэтому прямой обмен энергией между волнами и частицами не может приводить к заметному нагреву частиц, а должен вести скорее к быстрому затуханию волн. В этом отношении перенос энергии от одной группы частиц к другой через волну(ы) представляется более интересным. Ясно, что для того, чтобы этот процесс был важен с точки зрения нагрева частиц, энергия должна переноситься от частиц с меньшей энергией к частицам с большей энергией. Возникает вопрос, разрешен ли такой процесс законами термодинамики. В случае неустойчивой плазмы ответ на этот вопрос положительный. Действительно, в этом случае свободная энергия, заключенная в неустойчивом распределении частиц, передается волнам, энергия которых при этом возрастает. Напротив, в случае устойчивого распределения волны затухают, отдавая свою энергию частицам, которые при этом нагреваются. В случае переноса энергии от одной группы частиц к другой оба этих процесса происходят одновременно. При этом, если часть распределения плазмы, отвечающая более низким энергиям, является неустойчивой, в то время как более высокоэнергичная часть распределения является устойчивой, то волна переносит энергию от низкоэнергичных частиц к высокоэнергичным. В докладе рассматривается описанный выше процесс на примере резонансного взаимодействия частиц с волновыми пакетами свистовых волн, возникающих при молниевых разрядах. Главным выводом выполненной работы является то, что фактическим источником энергии в процессе нагрева частиц является не энергия волн, как это часто считается, а источник, поддерживающий неустойчивость плазмы.

**секция ПРОГНОЗ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ
И ПРИКЛАДНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ
МАГНИТОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ**

ПРОГНОЗ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ: ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ГРАНИЦЫ РЕАЛИЗАЦИИ (ОПЫТ ТРЁХ ЦИКЛОВ)

В.Н. Ишков

ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, ishkov@izmiran.ru

К 1989 г. сформировалось понимание, что практически все значимые краткосрочные возмущения околоземного космического пространства (ОКП) вызваны исключительно двумя видами солнечных активных явлений: солнечными всплышечными событиями и областями в короне Солнца с открытым в межпланетное пространство магнитным полем (корональные дыры). Стало понятным, что всплышечные процессы возникают как следствие взаимодействия новых всплывающих магнитных потоков в пределах активных областей (всплышки) и вне их (выбросы волокон), с уже существующими магнитными полями. Наблюдение за всплытием новых магнитных потоков, оценка их величины и темпа всплытия позволяет прогнозировать геоэффективные солнечные всплышки и выбросы волокон и оценивать степень их геоэффективности. Основными агентами, визуализирующим распространение возмущения от солнечных всплышек и волокон в короне Солнца и в межпланетном пространстве, является выбросы коронального вещества, характеристики которых в идеале позволяют оценить возможное возмущение геомагнитного поля, возможный рост потоков заряженных частиц больших энергий в ОКП. Прогноз рекуррентных геомагнитных возмущений и экстремальных потоков электронов высоких энергий на геостационарных орбитах основан на определении момента входа Земли в высокоскоростной поток солнечного ветра от корональных дыр в широтной зоне геоэффективности на видимом диске Солнца. Для успешного прогноза геоэффективных активных явлений на Солнце и их последствий в ОКП необходимо знать обстановку на Солнце за последние 3 суток, учитывая момент развития и характеристики текущего цикла солнечной активности. Понимание этих принципов и процессов привело к созданию методики составления краткосрочных прогнозов солнечных активных явлений и их откликов в ОКП, которые составляются с 1989 г., а с 1998 г. (когда это стало возможным) публикуются на странице ИЗМИРАН. Эта методика включает в себя обзор обстановки на Солнце в выбранный промежуток времени (обычно неделя, а в заказные периоды полётов наших космических обсерваторий ГРАНАТ, ГАММА, КОРОНАС-И,-Ф ежедневно):

- учитываются все значимые АО и, в случае появления первых признаков новых всплывающих магнитных потоков, проводится оценка их скорости всплытия и, по мере их развития, их величину;
- просматриваются все солнечные волокна и выявляются те из них, в которых есть признаки нестабильности;
- оцениваются все корональные дыры в зоне влияния на Землю с точки зрения их геоэффективности.

На этой основе даётся вероятностный прогноз возможных больших всплышечных событий, значимых геомагнитных возмущений на неделю, а в выбранные периоды на 3 суток.

Рассматриваются вопросы повышения прогноза солнечных активных явлений.

СРАВНЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ЗА СУТКИ СРЕДНЕЧАСОВОГО ПОТОКА ЭЛЕКТРОНОВ ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ НА ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЕ РАЗЛИЧНЫМИ АДАПТИВНЫМИ МЕТОДАМИ

А.О. Ефиторов, И.Н. Мягкова, С.А. Доленко

МГУ имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, г. Москва, Россия, a.efitorov@sinp.msu.ru

Внешний радиационный пояс Земли (ВРПЗ) представляет собой сложную динамическую систему, параметры которой сильно меняются в зависимости от вариаций компонент межпланетного магнитного поля (ММП) и солнечного ветра (СВ), а также от геомагнитной возмущенности. Поэтому прогнозирование состояния ВРПЗ при помощи адаптивных методов представляется перспективным. В настоящей работе сравнивается качество прогнозирования на один и три дня временного ряда ежедневных максимальных среднечасовых значения потока релятивистских электронов ВРПЗ с энергией > 2 МэВ при помощи следующих адаптивных методов: многомерная авторегрессионная модель, комитеты деревьев решений в рамках bagging-подхода и искусственные нейронные сети архитектуры многослойный перцептрон. В качестве исходных параметров были использованы среднечасовые значения геомагнитных индексов Dst, AE и Kp, Vz-компоненты ММП, Vx-компоненты скорости СВ, плотности протонов из базы данных OmniWeb, а также потока релятивистских электронов с энергией > 2 МэВ, измеренные на КА серии GOES, за период с 1992 по 2002 г. (данные CDAWeb).

Поскольку исследуемые данные представляют собой многомерный временной ряд, то классическим подходом для прогнозирования его будущих значений является использование процедуры погружения, т.е. учета предыдущих значений временного ряда. Оценка требуемой глубины погружения по каждому входному параметру была сделана при помощи расчета автокорреляционной функции, метода false nearest neighbor и других адаптивных методов.

Для сравнения качества работы моделей использовалось значение коэффициента корреляции между реальными значениями и значениями, предсказанными моделью, на тестовом наборе данных. В качестве тестового набора, т.е. набора, не участвующего в формировании адаптивной модели, использовались все наблюдения за 2002-2003 годы, имеющиеся в нашем распоряжении. Пример результатов сравнения представлен в Табл.1.

Таблица 1. Коэффициент корреляции между реальными данными из тестового набора за 2002 год с результатами прогноза разных моделей, построенных с использованием среднечасовых данных за 1996-2001 годы без ULF-индекса, с погружением, выбранным на основе расчета функции автокорреляции.

Горизонт прогноза	Авторегрессионная модель	Искусственная нейронная сеть	Деревья решений
1 день	0.70	0.71	0.76
3 дня	0.34	0.36	0.47

Для улучшения качества прогноза потока релятивистских электронов ВРПЗ во входной набор были добавлены данные о УНЧ (ULF)-индексе, который является одним из существенных параметров, характеризующих взаимодействие «волна-частица», ответственное за ускорение и рассеяние электронов ВРПЗ. Полученные результаты анализируются и сравниваются с результатами аналогичных прогнозов других авторов.

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИЗНАКОВ, ОЦЕНЕННЫХ ПО ВЕКТОРНЫМ И LOS-МАГНИТОГРАММАМ (HMI/SDO) В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗА СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Н.С. Князева, Ф.А. Уртьев, Н.Г. Макаренко
ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, iknyazeva@gmail.com

Запуск космической обсерватории SDO обеспечил непрерывный поток векторных магнитограмм Активных Областей (АО), которые можно использовать в оперативном прогнозе вспышек. В операционном центре Стэнфордского университета работает автоматическая система выделения АО и вычисления для них наиболее популярных векторных признаков. Все эти данные общедоступны на сайте <http://jsoc.stanford.edu>. Однако качество векторных магнитограмм существенно уступает LOS магнитограммам. В настоящей работе мы сравниваем прогноз вспышечной активности, основанный только на LOS магнитограммах с векторным прогнозом. Мы рассматриваем оценки прогноза времени до вспышки, на основе трех последовательных магнитограмм: в текущий момент времени, за 12 часов до события и за 24 часа до события. Выборка составляла 4269 LOS-магнитограмм HMI для 37 активных областей. В качестве признаков для LOS магнитограмм мы использовали топологические дескрипторы сложности: первые два числа Бетти, которые являются рангами первых двух гомологических групп. Первое число Бетти совпадает с числом связанных компонент, а второе Бетти - с количеством 1D циклов. Магнитограмма при этом рассматривается как 2D поверхность, вложенная в 3-х мерное пространство. Горизонтальным сечением мы разбиваем поверхность на вложенную последовательность множеств выбросов значений поля за уровень. Каждое такое множество представляет собой кластеры островов и дыр, количество этих островов и дыр и характер изменения их количества связаны со сложностью исходного поля. Время жизни топологического свойства, которое идентифицируется соответствующим числом Бетти, называют персистентностью. Последнюю изображают в форме 2D диаграммы, в которой по осям отложены время появления и время исчезновения компонент.

Для векторного описания тех же самых областей были использованы так называемые SHARP параметры, взятые с сайта <http://jsoc.stanford.edu/>. Для топологических и SHARP –дескрипторов, результаты прогноза оказались близкими, с небольшим преимуществом топологических признаков полученным по LOS магнитограммам. Заметим, что использовались два топологических параметра, против 18 параметров SHARP. Данный результат свидетельствует о сохраняющейся актуальности LOS магнитограмм в современных системах прогноза и эффективности использования топологических дескрипторов.

Работа поддержана грантом РФФИ 16-32-00251.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КВМ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ПАТРУЛЬНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ТЕЛЕСКОПОВ

А.Г. Тлатов^{1,2}, Я.О. Чернов¹, Нага Варун², А.Д. Шрамко¹

¹*Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН,
Кисловодск, Россия, tlatov@mail.ru*

²*Калмыцкий Государственный Университет, Элиста, Россия*

Корональные выбросы массы (КВМ) являются одним из основных факторов формирования космической погоды. В настоящее время актуальным является создание наблюдательных комплексов, для определения параметров КВМ и их геоэффективности. В работе представлены результаты анализа наблюдений, полученные на солнечных телескопах-спектрогелиографах, работающих в непрерывном автоматическом режиме на Горной астрономической станции ГАО в линиях CaIIK и H-альфа. Телескоп в течение дня проводит многократное сканирование солнечного диска, сохраняя серии кадров участков спектра центре и крыльях спектральных линий. Непрерывный режим наблюдения патрульного телескопа позволяет проводить исследования быстропротекающих процессов, такие как солнечные вспышки и корональные выбросы массы.

Нами были выбраны около 50 событий связанных с выбросами волокон. Обработка данных наблюдений телескопов, позволяет проследить траектории движений эруптивных волокон на протяжении нескольких десятков минут на высотах до $1.5R_{\odot}$, при этом видимое перемещение в картинной плоскости и анализ доплеровского смещения позволяют определить полный вектор скорости выброса. Рассмотрены траектории корональных выбросов и их взаимодействие с корональным магнитным полем, рассчитанным в потенциальном приближении. Показано, что наблюдения наземной сетью патрульных телескопов-спектрогелиографов дают важную информацию о скорости и направлении КВМ на начальном этапе эрупции и позволяют провести оценку их геоэффективности.

РЕГИСТРАЦИЯ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ СОЛНЕЧНОЙ МАССЫ ВО ВНУТРЕННЕЙ ГЕЛИОСФЕРЕ В ПОТОКЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ, ДОСТИГАЮЩИХ УРОВНЯ ЗЕМЛИ

В.В. Борог, Н.А. Ампилогов, А.Н. Дмитриева, А.А. Ковыляева,
Н.В. Осетрова, К.О. Юрин

Солнечная активность, в виде корональных выбросов массы (КВМ) в межпланетное пространство, является одним из самых мощных факторов, приводящих к ряду негативных геофизических процессов. Эрупция сгустка плазмы с поверхности Солнца наблюдается в реальном времени рядом физических приборов, расположенных на спутниках и на Земле. При удалении от Солнца на расстояние нескольких радиусов, КВМ становится практически невидимым.

Факт приближения КВМ к Земле регистрируется гелиостационарным спутником ACE (в точке Лагранжа - 1.5 млн. км от Земли) лишь за 30 – 40 мин до его попадания в магнитосферу. Величина предиктора слишком мала, чтобы сделать предупреждение о возможном глобальном воздействии на жизненно важные объекты и на функционирование чувствительной наземной и полетной техники.

В данной работе, для более раннего «наблюдения» сгустка плазмы, приближающегося к Земле, используется природный постоянный поток космических лучей (КЛ) высокой энергии, не связанный с Солнцем. Поток заряженных частиц КЛ, пересекая область сгустка плазмы с аномально высоким магнитным полем, приобретает модуляцию, которая может быть зарегистрирована широкоапертурным наземным мюонным годоскопом, непрерывно работающим в НИЯУ МИФИ. С учетом значительного различия в скоростях, эффект в КЛ может быть зафиксирован через несколько минут, а данные в магнитометрах спутника появятся через десятки часов, в зависимости от скорости распространения КВМ. Опережение по данным КЛ получается существенно больше и может служить более ранним предиктором развития опасных геофизических процессов.

В работе используется методика фликкер-шумовой спектроскопии, которая оказывается более эффективной, чем фурье- и вейвлет-анализ для выявления полезных сигналов в статистически зашумленных нестационарных временных рядах. Приводятся предварительные результаты по отдаленной идентификации КВМ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-05-00997).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ AREPS (США) И ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ РОСГИДРОМЕТ ПРОГНОЗА ИОНОСФЕРЫ И РАДИОСВЯЗИ

А.Н. Ляхов, С.И. Козлов, С.З. Беккер
ИДГ РАН, г. Москва, Россия, alyakhov@idg.chph.ras.ru

Функционирование систем C4I требует робастного прогноза условий распространения радиоволн. В РФ на сегодня развернута система прогноза космической погоды на платформе Института прикладной геофизики Росгидромет (<http://ipg.geospace.ru/center-of-geliogeophysics/>). В настоящее время на данном сайте пользователям доступны данные оперативных наблюдений за солнечной и геомагнитной активностью, данные сети ионозондов и прогнозы состояния ионосферы, рассчитанные по эмпирическим прогностическим моделям климатологического типа.

В докладе представлено описание системы AREPS центра SPAWAR армии США. В рамках данного центра для авторизованных пользователей выполняется решение следующих задач: расчет зон покрытия и прохождения радиоволн в частотном диапазоне от 10 кГц до 300 ТГц с учетом всех природных факторов, состояния ионосферы, тропосферы, рельефа местности, городской застройки, морского волнения. Решаются задачи определения вероятности радиолокационного и оптического обнаружения целей, задачи прогноза работы средств РЭБ.

Система позволяет вести стратегическое и оперативное планирование применения любых радиоэлектронных средств с переменным горизонтом прогноза и с масштабированием от глобального до тактического звена. Текущий контроль позволяет оперативно корректировать прогноз с автоматической выдачей уведомления потребителям всех уровней.

Принципиальным отличием от отечественной системы является ориентация на решение задачи распространения электромагнитного излучения в трехмерно-неоднородных нестационарных средах с доведением результатов расчетов до практически значимых и применимых результатов. Последние версии используют сквозной расчет на основе широкоугольного метода параболического уравнения во всех частотных диапазонах. Верификация моделей среды определяется правильностью прогноза работы радиотехнических средств, а не сравнением с данными физических измерений.

Развитие отечественных прикладных систем предлагается строить на тех же принципах.

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ АДАПТАЦИИ ЗАГОРИЗОНТНЫХ СРЕДСТВ К ГЕОФИЗИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ

**В.В. Тихонов¹, В.И. Арефьев¹, Р.А. Буланов¹, А.М. Мёрзлый²,
С.Ю. Хабибулин³**

¹ЗАО «РТИС ВКО», г. Тверь, Россия

²ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия, г. Москва, Россия

³ЦСКБ ОАО «РТИ», г. Москва, Россия

Актуальность разработки алгоритмов адаптации загоризонтных средств к геофизическим условиям связана с необходимостью решения целого спектра прикладных задач в интересах информационных систем дециметрового диапазона.

КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ f_0F_2 НА ОСНОВЕ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭМПИРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ SDMF₂ ДЛЯ СПОКОЙНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЙ

В.Н. Шубин

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, shubin@izmiran.ru

В работе на основе базы данных f_0F_2 , полученных с помощью спутников COSMIC, CHAMP, GRACE и наземных ионосферных станций построена глобальная эмпирическая модель критической частоты F_2 -слоя ионосферы (SDMF₂– Satellite and Digisonde Data Model of the F_2 layer) для спокойных геомагнитных условий ($K_p < 3$). При построении модели SDMF₂ был использован метод Лежандра для пространственного разложения месячных медиан f_0F_2 на 12 по широте и 8 по долготе сферических гармоник. Полученные пространственные коэффициенты с помощью метода Фурье были разложены на 8 сферических гармоник по времени UT. Для краткосрочного прогноза (на один день) критической частоты F_2 -слоя геомагнитно-спокойной ионосферы используется интегральный индекс солнечной активности $F_{10.7}(day, \tau=0.96)$.

НАБЛЮДЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР РАДИОАВРОРЫ НА РАДАРЕ ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С ШИРОКИМ СЕКТОРОМ ОБЗОРА

И.В. Тютин, В.Б. Оводенко, С.А. Пушай

ОАО «НПК «НИИДАР», г. Москва, Россия, tyutin@physics.msu.ru

Экспериментальным исследованиям радиоавроры в УКВ и КВ диапазонах посвящено значительное количество работ. Однако экспериментальные данные по регистрации анизотропного рассеяния на ионосферных неоднородностях слоя E, полученные на радарх в режиме непрерывного сканирования по азимуту в течение суток, в литературе практически не рассматривались и поэтому представляют определенный интерес.

В работе приводится анализ данных регистрации ракурсного рассеяния радиоволн на ионосферных неоднородностях E слоя (радиоавроры) радаром метрового диапазона. Станция ведет регистрацию в режиме непрерывного сканирования по азимуту. Данные содержат регистрацию радиоавроры во время геомагнитных возмущений 20 января 2016 года.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИОНОСФЕРЫ В ЗАДАННОМ РАЙОНЕ

В.Н. Филатов, С.Ю. Хабибуллин
ОАО «РТИ», г. Москва, Россия

Рассмотрены основные требования к локальным спутниковым данным для уточнения диагностической модели ионосферы в заданном районе.

МОДЕЛЬ IRI В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРНОГО ПРОХОЖДЕНИЯ РАДИОВОЛН В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

И.В. Крашенинников, Н.М. Павлова, Ю.С. Ситнов
ИЗМИРАН, г. Москва, (г. Троицк), Россия, krash@izmiran.ru

Статистические ионосферные модели, в частности IRI, рекомендованная URSl как базовая модель в прогнозировании распространения радиоволн, построены на основе большого массива экспериментальных данных, в основном, методами радиозондирования ионосферы: вертикального (наземного и спутникового) и некогерентного рассеяния. Эти данные разбиты на группы соответствующие низкому, среднему и высокому уровням солнечной активности. Основным управляющим параметром модели является среднемесячный индекс солнечной активности. Он может быть задан как в форме числа солнечных пятен — R_z или через $F_{10.7}$ - поток солнечного радиоизлучения (пересчет производится внутри кода), которые измеряются солнечными обсерваториями. Наиболее корректным, с точки зрения принципов построения модели, считается использование сглаженного скользящим 12-ти месячным фильтром числа солнечных пятен — R_{12} , базовым источником которого является Европейский центр - SILSO (Sunspot Index and Long-term Solar Observations), Брюссель, Бельгия. Данные потока солнечного радиоизлучения предоставляет центр космической погоды SWPC (Space Weather Prediction Center), Боулдер, США. Третьим источником для определения базового входного параметра модели является ионосферный индекс солнечной активности - IG_{12} , вычисляемый как среднее для определенного набора ионосферных станций в локальное полуденное время из условия соответствия измеренного и табулированного (функция от R_z) значений foF_2 — плазменной частоты в максимуме слоя F2 ионосферы. Поскольку модель является медианной (среднемесячной), то корректную оценку эффективности модельного представления при использовании конкретного типа входного параметра можно получить из анализа медианных (среднемесячных) зависимостей наиболее значимых ионосферных параметров. Для вертикального радиозондирования ионосферы это критическая частота F2-слоя, а для задачи прогнозирования ионосферного прохождения радиоволн - максимально применимая частота (МПЧ) радиотрассы, зависящая не только от положения главного ионосферного максимума - foF_2 и hmF_2 , но и от высотного распределения электронной плотности.

В докладе представлены результаты анализа соответствия модельным представлениям усредненных суточных ходов критических частот и высотных профилей плазменной частоты в локальный полдень по станции ИЗМИРАН для средних месяцев 4-х сезонов 2014 г. – года максимума солнечной активности в текущем 24-м цикле. Показано, что модель IRI, в целом, достаточно достоверно описывает суточные вариации foF_2 , а наименьшее расхождение достигается при задании входного параметра ионосферным индексом солнечной активности — IG_{12} . Исключением является месяц апрель, для которого наблюдается принципиальное несоответствие с моделью как в суточном ходе критической частоты, так и в $N_e(h)$ -профиле. Для этого месяца несоответствие модельного представления пространственного распределения электронной плотности оказалась весьма существенной в расчете МПЧ $1F_2$, и относительная погрешность может достигать 20%. Результаты моделирования подтверждаются данными наклонного радиозондирования ионосферы и измерениями на реальных радиокommunikационных линиях. Использование оптимизированного индекса солнечной активности с учетом, как числа солнечных пятен, так и потока солнечного радиоизлучения, на наш взгляд, в принципе может дать большую надежность результатов долгосрочного прогнозирования ионосферного прохождения декаметровых радиоволн.

МОДЕЛЬ АВРОРАЛЬНЫХ ВЫСЫПАНИЙ OVATION-PRIME-PC: АПРОБАЦИЯ И РЕЖИМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

**А.В. Николаев, В.Д. Николаева, О.А. Трошичев, Е.И. Гордеев,
Л.Н. Макарова, П. Ньюэлл**
ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия, demosfen.spb@gmail.com

Мощным источником ионизации в высоких широтах являются высыпания электронов магнитосферного происхождения. Единственной возможностью задания источника корпускулярных высыпаний во всей высокоширотной области для задач моделирования ионосферы является использование эмпирических моделей высыпаний, самой прогрессивной из которых является модель высыпаний энергичных частиц OVATION-Prime (Oval Variation, Assessment, Tracking, Intensity and Online Nowcasting) [Newell et al., 2010]. Модель позволяет производить расчет дискретных высыпаний электронов (моноэнергетических и высыпаний широкого спектра), а также диффузные высыпания ионов и электронов в высоких широтах обоих полушарий ($\phi > 50^\circ$ MLat). Для оценки загружаемой из Солнечного ветра в магнитосферу энергии в модели OVATION-Prime была использована функция $d\Phi_{MF}/dt$ [Newell, 2007], в которую входят часовые параметры Солнечного ветра, измеряемые на спутнике ACE, и которая значительно лучше предсказывает мощность авроральных высыпаний, нежели планетарный индекс Кр. Однако при использовании подобных функций могут возникнуть некоторые трудности: (1) перенос измеренных параметров Солнечного ветра из точки либрации к магнитопаузе и (2) зависимость распределения выпадающих частиц от условий внутри магнитосферы (при одинаковых условиях в солнечном ветре магнитосферный отклик может быть различным). В связи с этим параметры солнечного ветра не всегда являются геоэффективными. Геомагнитный индекс PC [Troshichev, 1988] рассчитывается по наземным данным магнитных наблюдений, полученных со станций Восток (южное полушарие) и Туле (северное полушарие), и нормирован на межпланетное электрическое поле в следствие чего этот индекс является геоэффективным параметром, который может служить оценкой энергии солнечного ветра поступившей непосредственно в магнитосферу Земли. Мы использовали PC-индекс в качестве нового входного параметра для модели авроральных высыпаний OVATION-Prime и (1) практически полностью исключили необходимость использования параметров солнечного ветра, а также (2) реализовали отечественную версию модели для расчета потоков и энергии авроральных высыпаний в режиме реального времени с разрешением в одну минуту: http://geophys.aari.ru/ov_pc/index.html. Также в работе мы приводим результаты сравнения расчетов модели с динамикой развития сияний, зарегистрированных канадской сетью камер всего неба (ASI) THEMIS и UV-снимками спутника Polar.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ РАЗДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ ВОЗВРАТНО-НАКЛОННОГО И ИОНОСФЕРНОГО РАССЕЙЯНИЯ НА РАДАРЕ ЕКВ ИСЗФ СО РАН С ПОВЫШЕННЫМ СПЕКТРАЛЬНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

О.И. Бернгардт, К.В. Гркович, Р.Р. Федоров
ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, berng@iszf.irk.ru

Когерентный радар декаметрового диапазона ЕКВ ИСЗФ СО РАН на настоящее время является единственным импульсным загоризонтным научным радаром в РФ, работающим в режиме круглосуточного мониторинга. Сектор сканирования радара по азимуту составляет 50 градусов и покрывает примерный сегмент Екатеринбург - Новая Земля - Норильск площадью порядка 1млн. кв.км. Пространственное разрешение радара составляет 15-60 км в зависимости от режима. Временное разрешение радара составляет 1-2 минуты. Диапазон частот радара 8-20 МГц.

Приемо-передающая аппаратура радара создана в Университете Лейстера (Великобритания) на средства СО РАН, и представляет собой аналог стерео радара CUTLASS сети SuperDARN. Радар установлен и введен в эксплуатацию в конце 2012 года совместно с Институтом Геофизики УрО РАН в obs.Арти ИГФ УрО РАН и с тех пор более 97% времени работает в непрерывном режиме.

Основой работы радара является прием сигнала, рассеянного как на ионосферных неоднородностях методом обратного однократного рассеяния, так и сигнала рассеянного на неоднородностях земной поверхности (возвратно-наклонное зондирование). Существенной проблемой интерпретации данных радаров сети SuperDARN, а также аналогичного им радара ЕКВ является разделение этих двух типов сигналов, влияющее на точность и адекватность восстановления характеристик рассеивающих неоднородностей.

В работе описываются оригинальные зондирующие последовательности («симметричные последовательности») разработанные в ИСЗФ СО РАН, позволяющие существенно повысить спектральное разрешение метода и провести детальный анализ проблемы разделения этих двух типов рассеяния с повышенным спектральным разрешением. В работе на основе анализа данных с уникальным спектральным разрешением проанализированы недостатки и достоинства существующего стандартного алгоритма разделения этих двух типов рассеяния, используемого на стандартных радаров SuperDARN (по спектральной ширине и доплеровскому спектральному смещению).

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта И.12.2.3 и гранта РФФИ 16-05-01006а.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОИНДУКТИРОВАННЫХ ТОКОВ НА СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Я.А. Сахаров¹, В.Н. Селиванов², Б.В. Ефимов²

¹Полярный геофизический институт, Россия, sakharov@pgia.ru

²Кольский научный центр РАН, Россия

Геомагнитные возмущения оказывают существенное влияние на магистральные электрические сети в высоких широтах. Возникающий в воздушных линиях и обмотках трансформаторов геоиндуцированный ток (ГИТ) может привести к сбоям в работе оборудования и нарушению электроснабжения потребителей. В работе обсуждаются критерии, определяющие воздействие ГИТ на работу силовых трансформаторов. Предложены рекомендации по выбору типов основного электротехнического оборудования, в частности, силовых трансформаторов, при проектировании новых подстанций в северных районах России.

ФОРМИРОВАНИЕ И ИЗЛУЧЕНИЕ ВЫСОКИХ ГАРМОНИК ПРОМЫШЛЕННЫМИ ЛИНИЯМИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

А.В. Костров, М.Е. Гуцин, А.В. Стриковский

ИПФ РАН, г. Н.Новгород, Россия, kstr@appl.sci-nnov.ru

В работе обсуждаются вопросы формирования частотного спектра, излучения и приема сигналов на высоких гармониках промышленной частоты 50/60 Гц, генерируемых линиями электропередач (ЛЭП). Радиоизлучение данного вида в полосе частот 2-8 кГц, распространяющееся в замагниченной околоземной плазме в форме свистовых волн, регистрируется в течение последних 40 лет как наземными станциями, так и на спутниках. Обсуждаются вопросы возникновения высоких гармоник промышленных частот в ЛЭП, которое, на базе имеющихся литературных данных и анализа результатов экспериментов, обусловлено применением тиристорных регуляторов мощности в цепях управления крупных потребителей электроэнергии. За счет включения тиристоров в различных фазах тока в ЛЭП, изменяющегося с промышленной частотой, в линии возникают броски тока, чаще всего следующие с частотой повторения 100 или 120 Гц. В работе ЛЭП для частот 2-8кГц рассмотрена как достаточно эффективная антенна бегущей волны (так называемая «антенна Бевереджа»), нагруженная на потребителя, которая излучает широкополосные импульсные сигналы, следующие с указанной частотой повторения. Обсуждается отклик спектрометра на периодическую последовательность широкополосных импульсов излучения ЛЭП, показано, что при определенных соотношениях между временем обработки (полосой фильтра спектрометра) и периодом повторения импульсов излучения, спектрограмма (отображение спектральных данных в плоскости «частота – время») представляет собой набор горизонтальных линий, разнесенных на $\Delta f = 50, 60, 100, 120$ Гц. В работе рассматриваются эффекты «медленного» дрейфа частоты сигналов на высоких гармониках промышленных частот, а также появление на динамических спектрах импульсных составляющих с «быстрым» дрейфом частоты, часто ассоциируемых в литературе с магнитосферными триггерными излучениями.

РАДИАЦИОННАЯ ОПАСНОСТЬ В МОМЕНТ ИНВЕРСИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

О.О. Царева¹, В.Ю. Попов^{2,1,3}, Е.П. Попова⁴, Х.В. Малова^{4,1}, М.В. Подзолко⁴, Л.М. Зеленый¹

¹ГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, olga8.92@mail.ru

²Физический факультет МГУ, г. Москва, Россия

³Финансовый Университет при Правительстве РФ, г. Москва, Россия

⁴НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия

Сегодня исследователи сходятся во мнении, что человечество, возможно, переживает период начала очередного цикла магнитного динамо в ядре Земли, приводящего к смене знаков магнитных полюсов. По этой причине в настоящее время исследованы инверсия магнитного поля Земли и её воздействие на радиационную обстановку на поверхности планеты.

Для описания магнитного поля, представляющего собой суперпозицию диполя и квадруполья, был использован общепринятый ряд Гаусса. Проведенная экстраполяция во времени всех компонент поля показала, что старший коэффициент дипольного поля может обратиться в нуль примерно в 3600-ом году. Таким образом, в момент инверсии напряженность диполя уменьшится, предположительно, раз в 10, а напряженность квадруполья сохранит значение близкое к сегодняшнему.

Поскольку частицы ГКЛ являются более высокоэнергичными, в сравнении с СКЛ, и основную их долю составляют протоны, то сильнейшее поражающее действие на живые организмы оказывают потоки протонов ГКЛ и производные их распадов (в атмосфере).

Средние дифференциальные спектры протонов ГКЛ вне магнитосферы известны благодаря аналитической модели Р.А. Ныммика. Трассируя протоны по заданному энергетическому распределению на 12R от Земли в сегодняшнем и инверсионном магнитных полях, получаем новые спектры на разных расстояниях, в частности, на поверхности Земли и на орбите МКС. С помощью этих спектров, находим средние мощности эффективных доз, позволяющие оценить рост радиационной опасности для людей.

ПОВЕДЕНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ НА ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ ОРБИТАХ В 1987-1999 гг.

А.В. Белов¹, С.П. Гайдаш¹, А.А. Абунин¹, М.А. Абунина¹, О.Н. Крякунова²,
А.А. Мелкумян¹

¹ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, abunin@izmiran.ru

²Институт ионосферы, г. Алматы, Республика Казахстан

В данной работе анализируется поведение релятивистских электронов на геостационарных орбитах в период с 1987 по 1999 гг. Именно эти электроны тесно связаны с неполадками спутниковой электроники. В качестве основной характеристики поведения электронов был выбран суточный флюенс высокоэнергичных (с энергиями более 2 МэВ) электронов на геостационарных орбитах. В ходе анализа был создан каталог электронных возрастаний. В каталог вошло 207 событий с флюенсом более 10^8 частиц/см²·стер¹·день¹. В результате анализа всех событий была создана и апробирована многопараметрическая модель, позволяющая предсказывать флюенс высокоэнергичных ($E > 2$ МэВ) магнитосферных электронов. Модель основана на предыстории поведения флюенса, на данных об Ар-индексе геомагнитной активности и на измерениях скорости солнечного ветра. Представленная модель успешно внедрена в работу Центра прогнозов космической погоды ИЗМИРАН.

СТРУКТУРНОЕ СООТВЕТСТВИЕ МЕЖДУ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ

Г.Я. Хачикян

Институт ионосферы, г. Алматы, Казахстан, galina.khachikyan@gmail.com

В предыдущие годы, приборы на орбитальных станциях Салют-6, Мир, ИСЗ Метеор, OREOL-3, INTERCOSMOS-BULGARIA-1300, GAMMA, SAMPEX, DEMETER и др. показали, что за несколько часов-суток перед сильным землетрясением может происходить высыпание заряженных частиц из радиационного пояса Земли вдоль геомагнитной силовой линии, погруженной в земную кору района будущего эпицентра. Получены патенты на способы прогнозирования времени возникновения землетрясений и местоположения их очагов по данным о высыпании частиц из радиационного пояса (№ 1583906 СССР, МПК5 G01V5/00, 07.08.1990; № 1762644 Российская Федерация, МПК5 G01V3/00/, 30.06.1994). Однако, сейсмологические организации, официально отвечающие за разработку и выдачу краткосрочных сейсмических прогнозов, такую методику практически не используют. Причин этому несколько, как отсутствие регулярных мониторинговых данных о высыпании заряженных частиц, так и отсутствие наглядной, статистически достоверной картины о реальном соответствии структуры сейсмических и радиационных поясов Земли. В докладе представлены результаты исследований в этом направлении, полученные в течение нескольких последних лет. Вначале, используя данные глобального сейсмологического каталога NEIC Национальной геологической службы США и компьютерные коды программы Н. А. Циганенко «GЕОРАСК», были рассчитаны значения параметра Редерера (номер геомагнитной линии (оболочки) – L) в эпицентрах землетрясений с магнитудами $M=4.5$ и более, произошедших на планете в 1973-2014гг (более 200 000 событий), то есть, эпицентры землетрясений были «рассортированы» по L -оболочкам. Затем была построена гистограмма распределения числа землетрясений в зависимости от L , которая показала, что количество землетрясений максимально в районах с $L=1$ и экспоненциально уменьшается с ростом значения L . Однако, на фоне тренда выделяются L -промежутки с особо пониженным числом землетрясений (от $L = 1.6$ до $L = 2.0$, и от $L = 3.3$ до $L=3.8$), что практически совпадает с расположением зон пониженной радиации во внутреннем радиационном поясе. Одновременно выделяется L - промежуток от $L=2.0$ до $L=2.2$, где число землетрясений существенно повышено, также как повышена концентрация частиц на этих оболочках в радиационном поясе (аномальные космические лучи, заселяющие $L\sim 2.0$). Поскольку известно, что интенсивность потока аномальных космических лучей модулируется 11-летним солнечным циклом, был проведен анализ временных вариаций сейсмичности в районах, пронизанных геомагнитными линиями с $L=2.0$ - 2.2 . Результаты показали, что с 1973 по 2014 гг на этих территориях произошло 22 сильных землетрясения ($M=7.0$ и более) и даты их возникновения находились в тесном соответствии с фазами 11 летних солнечных циклов. А именно, сильные землетрясения происходили только на ветвях спада солнечной активности в 11 летних циклах (когда повышены потоки из солнечных корональных дыр), но отсутствовали на ветвях подъема. Полученные результаты явно свидетельствуют о соответствии между процессами в литосфере и радиационном поясе Земли, что требует более глубокого внимания к этому вопросу, в том числе, с целью прогноза сильных землетрясений.

LOFAR AS NEW ADVANCED RADIO DIAGNOSTICS TOOL FOR SPACE WEATHER PROGRAM

A. Krankowski¹, S. Pulinets^{1,2}, B. Dąbrowski¹, L. Błaszkiwicz¹, I. Cherniak¹, M. Hajduk¹, I. Zakharenkova¹, K. Kotulak¹, A. Fron¹

¹*Space Radio Diagnostics Research Centre (SRRC/UWM), University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland*

²*Space Research Inst., Russian Academy of Sciences, Profsoyuznaya 84/32, Moscow, Russia*

To give a more detailed and complete understanding of physical plasma processes that govern the solar–terrestrial space, and to develop qualitative and quantitative models of the magnetosphere–ionosphere–thermosphere coupling, it is necessary to design and build the next generation of instruments for space diagnostics and monitoring. Novel ground-based wide-area sensor networks, such as the LOFAR (Low Frequency Array) radar facility, comprising wide band, and vector-sensing radio receivers and multi-spacecraft plasma diagnostics should help solve outstanding problems of space physics and describe long-term environmental changes. The LOW Frequency ARray – LOFAR – is a new fully digital radio telescope designed for frequencies between 30 MHz and 240 MHz located in Europe. The three new LOFAR stations were installed in summer 2015 in Poland. The LOFAR facilities in Poland are distributed among three sites: Baldy near Olsztyn, Lazy (East of Krakow) and Borowiec near Poznan. All they are connected via PIONIER dedicated links to Poznan. Each site hosts one LOFAR station (96 high-band+96 low-band antennas). They most time work as a part of European network, however, when less charged, they can operate as a national network.

In order to improve and validate the large scales and small scales ionospheric structures we use the GPS observations collected at IGS/EPN network employed to reconstruct diurnal variations of TEC using all satellite passes over individual GPS stations and the data retrieved from FORMOSAT-3/COSMIC radio occultation measurements.

The main purpose of this presentation is to describe new advanced diagnostic techniques of the near-Earth space plasma and point out the scientific challenges of the radio frequency analyzer and LOFAR facilities.

СОТНОШЕНИЕ МЕЖДУ МАГНИТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ В ПОЛЯРНОЙ ШАПКЕ (PC-ИНДЕКС) И РАЗВИТИЕМ МАГНИТНОЙ БУРИ (DST-ИНДЕКС) КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ПРИРОДЫ СОЛНЕЧНОГО ИСТОЧНИКА МАГНИТНОЙ БУРИ

О.А.Трошичев, Д.А.Сормаков

Арктический и Антарктический НИИ, С.Петербург, Россия, olegtro@aari.ru

Рассмотрены соотношения между PC - и $SymH$ - индексами в ходе 505 магнитных бурь, наблюдавшихся в период с 1998 по 2015 гг. Показано, что характер развития бури определяется природой солнечного источника бури: CME, SIR(CIR), или их суперпозиция. Соответственно, магнитные бури подразделяются на классические, пульсирующие и комбинированные. «Классические» магнитные бури демонстрируют, в полном соответствии с описанием Чепмена [1963], хорошо отождествляемую «фазу роста» – период уменьшения геомагнитного поля, связанный с ростом PC -индекса, «главную фазу» – чётко очерченный интервал экстремальной депрессии поля, и «фазу восстановления» – период медленного возвращения геомагнитного поля к спокойному уровню. «Пульсирующие» бури представляют последовательность повторяющихся PC - пульсаций с различными амплитудами и периодами, и соответствующую последовательность колебаний в ходе депрессии геомагнитного поля. В случае «комбинированных» бурь повторяющиеся PC - пульсации происходят на фоне «порога» – высокого уровня PC разной длительности, при этом отношение амплитуды пульсаций к высоте «порога» может быть весьма различным в ходе разных бурь. Результаты статистического анализа показывают, что депрессия геомагнитного поля («Dst-вариация») начинает развиваться, когда PC -индекс устойчиво превышает пороговый уровень ~ 1.5 мВ/м. Ход $SymH$ - индекса в течение бури (на интервале $T_{\max} \pm 48$ часов, где T_{\max} – момент максимальной интенсивности магнитной бури) в целом следует за изменениями PC - индекса с временной задержкой $\sim 1 \pm 0.5$ час (при оптимальной ширине окна сглаживания ~ 30 минут). Магнитная буря достигает максимальной интенсивности (Dst_{\min}) примерно через час после максимума PC , при этом величины PC_{\max} и Dst_{\min} связаны линейным соотношением. Отсюда следует, что PC индекс может быть использован для целей текущего прогноза (наукастинга) развития магнитных бурь. Рассмотрены эффекты воздействия высокоскоростных потоков солнечного ветра и межпланетных ударных волн на ход развития магнитной бури.

ВРЕМЯ РЕЛАКСАЦИИ КАК ОБОБЩЕНИЕ «ПЕРИОДА» НА СУЩЕСТВЕННО АПЕРИОДИЧЕСКИЕ РЯДЫ В АНАЛИЗЕ СИНХРОННОСТИ ПРОЦЕССОВ В ГЕЛИОБИОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКЕ

В.А.Ожередов

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г.Москва, Россия, ozheredov2016@gmail.com*

В изучении слабых взаимосвязей процессов в гелиобиологии и геофизике одну из ведущих ролей играет спектральный анализ. Одинаковое расположение пиков на спектрах двух временных рядов указывает на наличие в них компонент, порождаемых процессами со сходными скоростями протекания. Это позволяет выдвинуть гипотезу об их взаимосвязи, которая при прочих подходах маскируется шумом. До настоящего времени основным носителем информации в биологических и гелиогеофизических сигналах считалась сумма периодических вариаций. Однако далеко не все представляющие интерес временные ряды содержат доминирующие периодические компоненты. Ряд, с разумной точностью не представимый в виде суммы ограниченного числа периодических функций, будем называть существенно аперiodическим (в противоположность, скажем, сумме двух синусоид с иррациональным отношением частот, которая также в строгом смысле не является периодической функцией времени). Эти соображения приводят к необходимости обобщения понятия «период» на существенно аперiodические сигналы через параметр «время релаксации», который вводится в работе через усредненные квадраты конечных разностей. Для без трендовых сигналов время релаксации — это длина такого интервала, внутри которого измеряемый параметр успевает замести практически всю доступную ему область одномерного фазового пространства. Показано, что для синусоиды время релаксации и период текстуально совпадают. Разработан алгоритм фильтрации шумов и длиннопериодных трендов, основанный на разделении исходного сигнала на быстро и медленно релаксирующие компоненты (применимый не только для одномерных рядов, но и для двумерных изображений), и доказана основная теорема, гарантирующая его работоспособность. Описан метод построения ортонормированного базиса, компоненты которого обладают строго определенным временем релаксации. Разложение сигнала по этому базису далее называется релаксационным спектральным анализом.

Геофизические и физиологические сигналы имеют гораздо больше значимых спектральных пиков в релаксационном базисе, чем в базисе Фурье. Более того, синглетные Фурье-пики в релаксационном спектре оказываются расщепленными. Выделение характерных областей с помощью построенной методами эволюционного программирования огибающей спектра позволило в автоматическом режиме сформировать пары геофизических и физиологических сигналов с совпадающими спектральными пиками. Показано, что компоненты физиологических сигналов с временами релаксации, отвечающими этим пикам, не могут появиться благодаря социальной динамике и полностью обусловлены гелиогеомагнитными факторами.

секция ТЕОРИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЭВОЛЮЦИЮ ЭЛЕКТРОННЫХ ДЫРОК

И.В. Кузичев, И.Ю. Васько, А.В. Артемьев

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, mar-cuss@yandex.ru

Электронные дырки – электростатические стационарные нелинейные структуры в фазовом пространстве. Они были впервые обнаружены в магнитосфере Земли с помощью спутниковой миссии Geotail [1] и оказались достаточно типичным явлением в разных областях магнитосферы. Так, электронные дырки наблюдались в области пересоединения [2], на фронтах инжекции во внешнем радиационном поясе [3], в авроральной области [4], и во многих других. Эти структуры обычно распространяются вдоль силовых линий магнитного поля со скоростями порядка тепловой скорости электронов, имеют ширину до нескольких десятков дебаевских радиусов, и амплитуды до сотен мВ/м [5]. Генерация электронных дырок, их эволюция и роль в диссипации энергии, ускорении частиц, генерации крупномасштабных перепадов потенциала и аномального сопротивления сейчас весьма активно исследуются, как теоретически, с помощью численного моделирования, так и экспериментально.

До недавнего времени основное внимание при численном моделировании уделялось генерации электронных дырок при развитии различных неустойчивостей в плазме. Одной из немногих работ, где исследовалось непосредственно распространение электронной дырки в неоднородной плазме, является работа [6], где с помощью PIC-моделирования показано, что неоднородность плотности оказывает существенное влияние на эволюцию электронной дырки.

В данном докладе мы представляем результаты 1.5D гирокинетического Vlasov-Maxwell-моделирования распространения электронной дырки в неоднородном магнитном поле. Наши расчёты показывают, что неоднородность магнитного поля значительно изменяет характер динамики электронной дырки. Так, дырки, распространяющиеся в область более сильного (слабого) поля, замедляются (ускоряются). Для определённых параметров системы замедляющиеся дырки могут остановиться и развернуться, при этом оказывается, что положение точки поворота по магнитному полю не зависит от среднего градиента поля, а зависит только от параметров дырки. Проведённые расчёты также демонстрируют существенное различие между реальной эволюцией дырки и её динамикой в приближении квазичастицы, в котором захваченные частицы описываются, как единая квазичастица во внешнем магнитном поле. Это указывает на то, что имеется интенсивный энергообмен между захваченными и резонансными пролётными частицами. Полученные результаты могут быть полезны для интерпретации данных спутниковых наблюдений.

Работа И. Кузичева поддержана грантом РФФИ 16-32-00721 мол_a.

Работа И. Васько поддержана JHU/APL contract 922613 (RBSPEFW).

ЛИТЕРАТУРА

1. Matsumoto, H., H. Kojima, T. Miyatake, Y. Omura, M. Okada, I. Nagano, and M. Tsutsui, *Geophys. Res. Lett.*, 21, 2915–2918, doi:10.1029/94GL01284, 1994.
2. Norgren, C., M. Andr e, A. Vaivads, and Y. V. Khotyaintsev, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 1654–1661, doi:10.1002/2015GL063218, 2015.
3. Malaspina, D. M., et al., *J Geophys Res* 120, 4246–4263, doi:10.1002/2015JA021137, 2015.
4. Franz, J. R., P. M. Kintner, J. S. Pickett, and L.-J. Chen, *J Geophys Res*, 110, A09212, doi:10.1029/2005JA011095, 2005.
5. Cattell, C., et al., (2003), *Nonlinear Processes Geophys.*, 10, 13–26.
6. Mandrake, L., P. L. Pritchett, and F. V. Coroniti, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 2869–2872, doi:10.1029/2000GL003785, 2000.

КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНЫХ МАГНИТНЫХ ДЫР СУБ-ИОННОГО МАСШТАБА

П.И. Шустов, А.В. Артемьев, И.Ю. Васько, Е.В. Юшков

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, p.shustov@gmail.com

Магнитные дыры – это устойчивые магнитоплазменные структуры с депрессией магнитного поля. Размеры таких структур варьируются от нескольких электронных радиусов порядка 1 км до размеров порядка 10⁶ км. В представленной работе исследуются структуры с размерами порядка ионного радиуса (~1000 км).

Для таких структур приводится самосогласованное равновесное решение уравнений Власова-Максвелла, найденное путем обобщения двух типов плоских равновесных решений на случай цилиндрической симметрии. Для обеих моделей получено и решено обобщенное уравнение Грэда-Шафранова. Отдельно рассмотрен эффект наличия фоновой плазмы на конфигурацию электромагнитных полей магнитной дырки.

В работе показано, что конфигурации магнитных дырок в рассмотренных моделях имеют существенные сходства с данными спутниковых наблюдений в околоземной плазме. На основе рассмотренных моделей показан возможный относительный вклад ионных и электронных токов в образование магнитной дырки. Также в работе найдена зависимость глубины магнитной дырки (степень депрессии магнитного поля) от геометрических характеристик магнитной дырки.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗМА СЕРФОТРОННОГО УСКОРЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ГЕЛИОСФЕРЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДВУХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН СРАВНИМЫХ АМПЛИТУД

Н.С.Ерохин, В.М.Лозников, Н.Н.Зольникова, Л.А. Михайловская
ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, nerokhin@iki.rssi.ru

В работе на основе численных расчетов нелинейного уравнения для фазы волны на траектории заряженной частицы продолжено исследование механизма релятивистского ускорения заряженных частиц (электронов и протонов) в плазме солнечной системы электромагнитными волнами, распространяющимися поперек внешнего магнитного поля. Рассмотрено взаимодействие зарядов с двумя волнами близких амплитуд, но с несколькими различными фазовыми скоростями. Задача сведена к исследованию дифференциального нелинейного уравнения второго порядка для фазы одной из волн на траектории частицы. Проведен анализ влияния второй волны на сильное релятивистские ускорение захваченных первой модой частиц в зависимости от величины отстройки их фазовых скоростей, величин амплитуд, значений начальных фаз волн и других параметров. Это важно для анализа данных по возникновению вариаций потоков космических лучей, наблюдаемых экспериментально, а также корректной интерпретации этих процессов с учетом изменения космической погоды. На основе численных расчетов дан анализ условий захвата частиц первой волной для различных значений исходных параметров задачи, воздействия второй моды на длительное удержание зарядов первой волной, исследована сложная динамика компонент скорости и импульса захваченных частиц. Рассмотрена структура фазовой плоскости ускоряемых частиц, определены оптимальные условия для ультрарелятивистского серфотронного ускорения частиц одной из мод, возможность сокращения времени ускорения первой модой при воздействии второй волны. Это позволит в дальнейшем установить максимальные энергии частиц, захваченных (на начальном этапе взаимодействия) первой модой, а также изучить возникновение вариаций потока космических лучей в гелиосфере и их характеристики. Данный анализ в дальнейшем будет развит применительно к условиям плазмы в местных межзвездных облаках.

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД КД И МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР

В.Ю. Белашов¹, О.А. Харшиладзе²

¹К(П)ФУ, г. Казань, Россия, vybelashov@yahoo.com

²ТГУ, г. Тбилиси, Грузия, oleg.kharshiladze@gmail.com

Представлена модификация известного метода контурной динамики (КД), использующегося для моделирования эволюции и динамики взаимодействия вихревых структур – вихревых областей конечной площади (ВОКП, в английской терминологии – FAVR's или V-states), а также примеры некоторых результатов моделирования такого рода процессов в плазме, атмосфере и гидросфере, полученных с помощью модифицированного метода КД.

Метод КД для решения подобных задач является наиболее предпочтительным с точки зрения минимизации временных затрат и, кроме прочего, обладает рядом дополнительных преимуществ, например, отсутствием искусственных диффузии и диссипации, которые появляются при численном решении с помощью конечно-разностных сеток, кроме того представление среды в виде отдельных ВОКП, между которыми происходит взаимодействие, исключает необходимость рассматривать всё пространство, в котором находятся вихри, а также вычислять значения скоростей и завихренностей внутри этих областей (как в методе дискретных вихрей), что существенно ускоряет процесс моделирования. Выполненная модификация направлена на минимизацию погрешностей, связанных с «разрывом» контуров и погрешностью метода «с перешагиванием», с помощью которого вычисляется временная эволюция ВОКП. Модификация стандартного алгоритма метода КД позволяет также, наряду с эволюцией отдельных ВОКП, эффективно изучать эволюцию и динамику взаимодействия N -вихревых систем различных пространственных конфигураций, состоящих из ВОКП, в зависимости от пространственного расположения, порядка симметрии, величины и знака завихренности отдельных вихревых образований.

Было выполнено большое число серий численных экспериментов по изучению двухвихревого взаимодействия, взаимодействия N -вихревых систем, включая взаимодействие между вихревыми структурами и пылевыми частицами в плазме, а также взаимодействие 3-мерных плоско вращающихся вихревых структур в рамках плоскостной модели среды.

Исследовались приложения полученных результатов к динамике вихревых структур в атмосфере, гидросфере и плазме, в частности: задача динамики эволюции синоптических и океанических вихрей циклонального типа, которые могут рассматриваться, как фронт завихренности, взаимодействие вихрево-пылевых систем, а также динамика заряженных нитей, представляющих собой потоки заряженных частиц в однородном магнитном поле в рамках 2-мерной модели плазмы Тэйлора-Макнамара.

Результаты численных экспериментов позволяют заключить, что модифицированный метод КД является весьма эффективным при исследовании вихревых явлений, наблюдаемых в средах, где присутствуют локальные вихревые области, между которыми происходит взаимодействие. Получаемые в численных экспериментах результаты, наряду с их очевидной значимостью для адекватной интерпретации эффектов, связанных с турбулентными процессами в газах и жидкостях (в частности, вихревых движений в атмосфере Земли с учетом кориолисовых сил), могут быть также полезны при описании турбулентных процессов в плазме (например, при описании плазмы непрерывной моделью или моделью кулоновски взаимодействующих квазичастиц и заряженных «нитей»), а также при изучении динамики альфвеновских вихрей в ионосферной и магнитосферной плазме.

СИЛОВЫЕ И БЕССИЛОВЫЕ КОНФИГУРАЦИИ В 3D-КИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АСИММЕТРИЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ДИФFUЗИОННОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЕ В ИМПЕДАНСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ

В.М. Губченко

ИПФ РАН, Нижний Новгород, Россия, ua3thw@appl.sci-nnov.ru

Представленная алгебраическими выражениями в Фурье образах трехмерная асимметричная электронная диффузионная область (АЭДО) магнитного пересоединения – это структура электромагнитных полей и вихревых токов общего вида, индукционно возбуждаемых потоком плазмы, движущихся относительно стороннего источника магнитного поля. Для источника магнитного поля АЭДО является импедансной нагрузкой, активная часть импеданса характеризует процесс ускорения частиц, реактивная часть импеданса - накопление энергии взаимодействия. Выражения для импеданса определяются свойствами потока и пространственной конфигурацией полного тока в источнике.

В фурье-представлении полученная АЭДО - это суперпозиция эллиптически поляризованных плоских «волн» с комплексными амплитудами. Спектры волн и другие параметры Стокса для магнитостатического поля зависят от направления и модуля волнового вектора, они могут быть определены движущимися через АЭДО магнитными датчиками. В частности, обнаружению поляризованной линейно гармонике поля соответствует силовая компонента (плоский токовый слой, цилиндрический «z» и «тета» пинчи) в АЭДО. Обнаружению поляризованной циркулярно гармонике соответствует бессиловая компонента (токовые слои с широм, скрученные цилиндрические магнитные трубки) в АЭДО. Формирование АЭДО в фурье-представлении - это медленный электромагнитный процесс, происходящий «волнами» квазимагнитостатики в горячей бесстолкновительной плазме, в «закритическом» режиме, внутри резонансной линии поглощения плазмы на «нулевой» частоте, поэтому здесь требуется его кинетическое описание с учетом формы функции распределения электронов (ФРЧ). В зависимости от формы ФРЧ плазма внутри линии ведет себя и как проводник, и как магнетик (диамагнетик, парамагнетик), что определяется на основе параметра электромагнитной добротности потока. Структура полей АЭДО определяется индуцированными кинетическими масштабами пространственной дисперсии движущейся плазмы.

Конфигурация тока в источнике исходного магнитного поля вводится на основе суперпозиции дипольных и тороидальных распределенных в пространстве намагниченностей, топологическое различие пространственной структуры которых обуславливает появление бессиловой компоненты в трехмерной структуре АЭДО, что уменьшает общий импеданс.

Работа поддержана грантами РФФИ (проекты № 14_02_00133, № 17_02_00910), мегагрантом (контракт № 14.Z50.31.0007), программами ОФН и Президиума РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Gubchenko V.M., *Geomagnetism and Aeronomy*, 2015.Vol. 55, No. 7, pp 831-845, No. 8, 1009-1025. DOI: 10.1134/S0016793215070099, 10.1134/S0016793215080101

ОБРАЗОВАНИЕ ШУМОИНДУЦИРОВАННЫХ СТРУКТУР В ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ПЛАЗМЕННЫХ СРЕДАХ ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Д.С. Ряшиков, Н.Е. Молевич, Д.И. Завершинский

Самарский университет, СФ ФИАН, г. Самара, Россия, ryashchikovd@gmail.com

Тепловые неустойчивости играют важную роль в образовании различных пространственно-временных структур в хромосфере и короне Солнца, межзвёздном газе и планетарных туманностях. С ними связывают возникновение ударных волн, образование солнечных протуберанцев и конденсаций в этих средах. В подобных средах присутствуют неадиабатические процессы нагрева и охлаждения, связанные с радиационным охлаждением, протекающими в средах химическими реакциями и т. п. Такие процессы описываются аналитически с помощью введения источника тепловыделения, зависящего от температуры и плотности. При определённых параметрах источника может реализовываться положительная обратная связь между акустическими возмущениями и активной средой.

Один из видов тепловых неустойчивостей, реализующихся в подобных средах, изэнтропическая неустойчивость, приводит к усилению акустических мод, а также образованию серии ударноволновых импульсов, обладающих свойствами солитонов и автоволн [1]. Ранее параметры данных импульсов в плазме были определены аналитически в зависимости от параметров среды и источника тепловыделения [2-4]. Также было произведено численное моделирование подобных структур в одномерной геометрии. Однако, поскольку магнитогидродинамические (МГД) волны проявляют сильную анизотропию, более полное исследование формирующихся структур должно производиться в двумерной геометрии.

В текущей работе рассматривается эволюция шума в идеальной изэнтропически неустойчивой плазменной среде с источником тепловыделения, зависящим от температуры и плотности, в двумерной геометрии. Показано, что данные двумерные структуры в сечении представляют собой импульсы, полученные ранее в одномерном приближении. Кроме того, при слабых магнитных полях образуется ячеистая структура, аналогичная полученной ранее структуре в колебательно-возбуждённом газе с отрицательной второй вязкостью. Однако, с увеличением магнитного поля происходит упорядочивание МГД структур, и формируется страйп-структура, вытянутая поперёк магнитного поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Molevich N.E., D.I. Zavershinsky, R.N. Galimov, V.G. Makaryan, Traveling self-sustained structures in interstellar clouds with the isentropic instability // *Astrophysics and Space Science*. – 2011. – Vol. 334. – I. 1. – P. 35-44.
2. Завершинский Д.И., Н.Е. Молевич, Магнитоакустический автоволновой импульс в тепловыделяющей ионизированной газовой среде // *Письма в ЖТФ*. – 2013. – Т. 39. – № 15. – С. 18-25.
3. Zavershinskiy D.I., N.E. Molevich, D.S. Ryashchikov, Structure of Acoustic Perturbations in Heat-Releasing Medium // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 106. – P. 363-367.
4. Molevich N.E., D.I. Zavershinskiy, D.S. Ryashchikov, Investigation of the MHD-wave dynamics in thermally unstable plasma // *Magnetohydrodynamics* – 2016. – Vol. 52 – P. 191-198.

НЕОДНОМЕРНЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ ИОННО-ЗВУКОВЫЕ ВОЛНЫ В ПЛАЗМЕ С УЧЕТОМ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭФФЕКТОВ

В.Ю. Белашов

К(П)ФУ, г. Казань, Россия, vybelashov@yahoo.com

В работе на основе модели уравнения Кадомцева-Петвиашвили (КП), обобщенного введением релятивистского фактора u/c , когда коэффициенты при нелинейном члене и члене, описывающем дисперсию, определяются этим отношением, аналитически и численно изучается структура и динамика ионно-звуковых волн в плазме без магнитного поля, включая случай столкновительной слаборелятивистской плазмы, когда должны учитываться высокоэнергетичные потоки частиц. В частности, когда кинетическая энергия ионов при $u_0/c \sim 0.1$ достигает значений ~ 4.7 МэВ, двумерные слаборелятивистские ионно-звуковые уединенные волны будут описывать движение энергичных протонов со скоростью, приближающейся к скорости света, что наблюдается в магнитосферной плазме.

Показано, что если скорость частиц в плазме приближается к скорости света, то при распространении двумерной уединенной ионно-звуковой волны начинают играть существенную роль релятивистские эффекты, которые определяющим образом влияют на фазовую скорость, амплитуду и характеристические размеры двумерной волны. Полученные результаты включают и рассматривавшиеся ранее другими авторами предельные случаи, однако они являются существенно более общими.

Результаты могут быть полезны при изучении нелинейных волновых процессов в магнитосфере. Они также имеют очевидные приложения в таких физических системах, как лазерная плазма и астрофизика (включая компактные астрофизические системы, например, белые карлики).

ДИСПЕРСИЯ ФАЗОВОЙ И ГРУППОВОЙ СКОРОСТИ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПЛАЗМЕ С ОБОБЩЕННЫМ ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЯ

Д.И. Завершинский, Н.Е. Молевич

Самарский университет, СФ ФИАН, г. Самара, Россия, dimanzav@mail.ru

Примерами плазменных сред с обобщенным источником теплотыделения являются, в частности, солнечная атмосфера и межзвездный газ, нагрев которых происходит в результате различных экзотермических реакций, а охлаждение обуславливается в первую очередь радиационными потерями. Наличие подобных неадиабатических процессов может приводить как к дополнительному затуханию, так и усилению магнитоакустических мод в среде, а кроме того приводит к частотной зависимости фазовых и групповых скоростей магнитоакустических волн. В работе было проведено исследование, возникающей частотной зависимости фазовых и групповых скоростей магнитоакустических волн в плазме с обобщенным источником теплотыделения.

В ходе исследования был проведен анализ полной системы магнитогазодинамических уравнений, дополненных для учета влияния неадиабатических процессов. На основе проведенного анализа, в явном виде были определены выражения для фазовых скоростей быстрых и медленных магнитоакустических волн в рассматриваемой теплотыделяющей плазме. Временным масштабом по отношению, к которому весь спектр возможных частот может быть разделен на высокочастотный и низкочастотный диапазон, является характерное время нагрева/охлаждения среды. На основе полученной аналитической зависимости были определены скорости низкочастотных и высокочастотных магнитогазодинамических волн. Показано, что высокочастотные фазовые скорости совпадают по виду с фазовыми скоростями волн в равновесной плазме, а низкочастотные существенно зависят от свойств обобщенного источника теплотыделения (зависимостей мощностей нагрева/охлаждения от температуры и плотности среды). В ходе исследования было учтено влияние внешнего магнитного поля, направленного под произвольным углом к направлению распространения волн. Были построены и проанализированы полярные диаграммы фазовых скоростей магнитогазодинамических волн с учетом акустической дисперсии в качественно разных областях параметра бета плазмы (отношения газодинамического и магнитного давления).

В приближении слабого усиления/затухания на длине волны были получены выражения для групповой скорости акустических и магнитоакустических волн в теплотыделяющей плазме. Зависимость групповой скорости волн от частоты отличается от аналогичной зависимости фазовой скорости волн и имеет экстремум в окрестности частоты обратно пропорциональной характерному времени нагрева/охлаждения среды. Исследованы предельные переходы полученных выражений для групповых скоростей магнитоакустических волн. Показано, что в случае отсутствия обобщенного источника теплотыделения, полученные выражения, сводится к классическому выражению магнитогазодинамических волн в равновесной среде, а в случае отсутствия магнитного поля сводится к выражению для групповой скорости акустических волн. Показано, что выражение для групповой скорости акустических волн в теплотыделяющей плазме совпадает по форме с видом групповой скорости, полученной ранее для релаксирующей среды. Также были построены и проанализированы поляры групповых скоростей (диаграммы Фридрихса) магнитогазодинамических волн с учетом акустической дисперсии в качественно разных областях параметра бета плазмы.

ЛИТЕРАТУРА

Zavershinskiy, D.I. Investigation of the MHD wave dynamics in thermally unstable plasma [Текст] / N.E. Molevich, D.I. Zavershinskiy, D.S. Ryashchikov // Magnetohydrodynamics. – 2016. – Т. 52. – С. 191-198.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ КВАЗИРЕЗОНАНСНОЕ УСИЛЕНИЕ АЛЬФВЕНОВСКИХ ВОЛН В ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕЙ ИЗОЭНТРОПИЧЕСКИ НЕУСТОЙЧИВОЙ СРЕДЕ

С.А. Белов, Н.Е. Молевич, Д.И. Завершинский

Самарский университет, СФ ФИАН, г. Самара, Россия, mr_beloff@mail.ru

Мощная альфвеновская волна, вышедшая из конвективной зоны, из-за своей несжимаемости может достигнуть солнечной короны и распасться там на альфвеновские волны меньшей частоты и магнитоакустические волны, затухание которых может приводить к нагреву солнечной короны. Наблюдения за солнечными областями обнаружили там альфвеновские волны с энергией, достаточной для ускорения солнечного ветра и нагрева короны до наблюдаемых скоростей и температур [1]. Однако, механизм возникновения альфвеновских волн с наблюдаемой энергией остается неизвестным.

В тоже время, известно, что в тепловыделяющей среде при условии изоэнтропической неустойчивости возможно усиление магнитоакустических и акустических волн и образование ударных импульсов значительной амплитуды [2, 3, 4]. В качестве возможного механизма возникновения высокоэнергетических альфвеновских волн мы рассмотрели коллинеарное квазирезонансное трехволновое взаимодействие между мощной магнитоакустической волной с волновым вектором k_2 и частотой ω_2 и двумя линейно поляризованными слабыми альфвеновскими волнами с волновыми векторами k_0, k_1 и частотами ω_0 и ω_1 соответственно в изоэнтропически неустойчивой среде, описываемой системой идеальных МГД-уравнений. Волновые векторы и частоты, рассматриваемых волн, подчиняются следующим соотношениям: $\omega_2 = \omega_0 + \omega_1 + \Delta\omega$ и $k_2 = k_0 + k_1$.

В слабонелинейном приближении была получена система укороченных уравнений, описывающих нестационарное квазирезонансное взаимодействие. Анализ решений этих уравнений показал, что при $\Delta\omega = 0$ рост альфвеновских волн в результате параметрического распада мощной магнитоакустической волны происходит при $cs/ca > 1$. При этом усиление в среде с изоэнтропически неустойчивостью происходит беспорогово и би-экспоненциально. В случае $cs/ca < 1$ происходит только слабая модуляция амплитуды альфвеновских волн [5]. По мере роста отстройки по частоте $\Delta\omega$ сначала происходит резонансное беспороговое усиление альфвеновских волн в результате параметрической перекачки энергии из неустойчивой акустической волны (при $cs/ca > 1$), затем усиление альфвеновских волн замедляется, а в результате альфвеновские волны претерпевают сначала модуляцию, которая затем сменяется би-экспоненциальным усилением.

ЛИТЕРАТУРА

1. McIntosh S.W., de Pontieu, B., Carlsson, M., Hansteen, V., Boerner, P., Goossens, M.: Alfvénic waves with sufficient energy to power the quiet solar corona and fast solar wind. *Nature* 475, 477 (2011).
2. Molevich N.E., Zavershinsky, D.I., Galimov, R.N., Makaryan, V.G.: Traveling self-sustained structures in interstellar clouds with the isentropic instability. *Astrophys. Space Sci.* 334, 35 (2011).
3. Molevich N.E., Zavershinskiy D.I., Ryashchikov D.S.: Investigation of the MHD-wave dynamics in thermally unstable plasma. *Magnetohydrodynamics* 52, 191 (2016).
4. Zavershinsky D.I., Molevich, N.E.: A magnetoacoustic autowave pulse in a heat-releasing ionized gaseous medium. *Tech. Phys. Lett.* 39, 676 (2013).
5. Zavershinsky D. I., Molevich, N. E.: Parametrical amplification of Alfvén waves in heat-releasing ionized media with magnetoacoustic instability. *Astrophys Space Sci* 358, 22(2015).

КИНЕТИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ ДЛЯ СИСТЕМЫ С НЕЛИНЕЙНЫМ РЕЗОНАНСНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ «ВОЛНА-ЧАСТИЦА»

А.А. Васильев, А.В. Артемьев, А.И. Нейштадт
*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г.Москва, Россия*

Исследуется модельная система, описывающая нелинейное резонансное взаимодействие частицы с волной, включающее рассеяния на резонансе, захваты в резонанс и выбросы из резонанса. Получено соотношение между вероятностью захвата в резонанс и скоростью дрейфа, связанного с нелинейным рассеянием на резонансе. Это соотношение, наряду с полученными ранее формулами, описывающими прохождение через резонанс, позволяет записать кинетическое уравнение для функции распределения ансамбля частиц, включающее в себя диффузионный член, дрейф, обусловленный рассеянием, и нелокальный член, описывающий эффекты захвата в резонанс и выброса из резонанса. Сравнение численного решения этого уравнения с результатом прямого интегрирования траекторий ансамбля частиц демонстрирует, что полученное кинетическое уравнение хорошо описывает эволюцию функции распределения.

НАБЛЮДЕНИЕ СЛОЖНОЙ ДИНАМИКИ В СПЕКТРАХ СТИМУЛИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОННО-ЦИКЛОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ В ЛАБОРАТОРНОЙ МАГНИТНОЙ ЛОВУШКЕ

М.Е.Викторов, А.Г.Шалашов, Д.А.Мансфельд, С.В. Голубев
ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, mikhail.viktorov@appl.sci-nnov.ru

Обнаружена сложная динамика в спектрах стимулированного электронно-циклотронного излучения неравновесной плазмы, удерживаемой в компактной лабораторной магнитной ловушке открытого типа. Особенностью данных спектров излучения является быстрый дрейф частоты внутри волновых пакетов, повторяющихся почти периодически. Подобные структуры плохо объясняются в рамках квазилинейного подхода, стандартного для описания генерации широкополосного излучения в плазме. С другой стороны, одновременное наблюдение нескольких волновых пакетов с дрейфом частоты в одном диапазоне является типичным при образовании самосогласованных нелинейных структур в фазовом пространстве вблизи резонансов волна-частица (модель Берка и Брейзмана [Berk H.L., Breizman B.N., Petviashvili N.V. // Phys. Lett. A, V.234, P.213, 1997]). Представленные результаты являются первым экспериментальным свидетельством в пользу функционирования данного механизма в электронно-циклотронном диапазоне частот.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСЛЕДНИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА КРУПНОМАСШТАБНОМ СТЕНДЕ «КРОТ» ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ОКОЛОЗЕМНОЙ ПЛАЗМЕ

Н.А. Айдакина, А.Г. Галка, В.И. Гундорин, М.Е. Гушин, И.Ю. Зудин, С.В. Коробков, А.В. Костров, К.Н. Лоскутов, С.Э. Привер, А.В. Стриковский, Д.В. Янин
ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, mguschin@appl.sci-nnov.ru

Доклад содержит последние результаты, полученные на плазменном стенде «Крот» (ИПФРАН, Нижний Новгород). Эта уникальная по своим параметрам установка (объем квазиоднородной холодной плазмы – до 80 м^3) позволяет, с учетом преобразования подобия, моделировать волновые и транспортные процессы в ионосфере и магнитосфере в приближении «безграничной» плазмы – с подавлением влияния стенок вакуумной камеры на протекающие в плазме процессы.

В 2016 году на стенде проведен обширный цикл экспериментальных исследований в части распространения волн свистового диапазона частот в плазме с системами мелкомасштабных неоднородностей, вытянутых вдоль внешнего магнитного поля. В околоземной плазме такие неоднородности могут возникать как спорадически, так и при проведении нагревных экспериментов в модифицированной области ионосферы. Интерес представляет, во-первых, динамика формирования системы таких неоднородностей, во-вторых – свойства таких неоднородностей как волноводных структур для низкочастотного излучения. В лабораторных экспериментах такие неоднородности формировались набором ВЧ источников нагрева, разнесенных на различные расстояния поперек магнитного поля. Эксперименты были проведены в гелиевой плазме, с замагниченными ионами, что приближает условия моделирования к реализуемым в верхней ионосфере.

Вторая группа исследований связана с отработкой в лабораторной плазме нового средства диагностики плотности плазмы на борту ИСЗ – зонда с ВЧ резонатором на четвертьволновом отрезке двухпроводной линии. Данная система предлагается для установки на ИСЗ «Чибис-Трабант». Текущий этап разработки подразумевает испытания макета бортового датчика в масштабе 1:1 в лабораторной плазме для проверки и демонстрации принципиальной работоспособности системы. Обсуждаются полученные при макетных испытаниях результаты, а также необычные для лабораторной плазмы вопросы создания, диагностики и контроля параметров плазмы с концентрацией меньше 10^6 см^{-3} .

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИОННО-ЦИКЛОТРОННЫХ ВОЛН В ПРИСУТСТВИИ НЕОДНОРОДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

А.А. Ильясов, А.А. Чернышов, М.М. Могилевский

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, asjosik@mail.ru

Исследуется возбуждение электромагнитных ионно-циклотронных волн в присутствии скрещенных полей: однородного магнитного и неоднородного электрического поля. Эта задача представляет интерес в связи с процессами в авроральной зоне, в которой часто встречаются неоднородности электрического поля. Ранее эта задача исследовалась только в случае электростатических волн в локальном приближении. Для изучения нелокальной неустойчивости, приводящей к генерации электромагнитных волн вблизи гирочастоты ионов, проведено численное моделирование плазменных процессов. Для этой цели разработан вычислительный алгоритм, использующий метод частиц-в-ячейках. Главным достоинством этого метода является возможность непосредственного вычисления функции распределения частиц плазмы на всех этапах ее эволюции, что позволяет учитывать различные кинетические эффекты и микромасштабные процессы в плазме. В приложении к задачам авроральной области магнитосферы и ионосферы Земли, метод частиц в ячейках позволит моделировать кинетические неустойчивости с учетом различных неоднородностей с высокой точностью. С помощью разработанного численного кода качественно исследован процесс ускорения ионов вдоль магнитного поля в присутствии неоднородностей электрического поля. Получен спектр неустойчивых электромагнитных ионно-циклотронных волн.

СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ГИБРИДНОЙ ГЛОБАЛЬНОЙ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ МАГНИТОСФЕРЫ

О.В. Мингалев¹, И.В. Мингалев¹, Х.В. Малова^{2,3}, М.Н. Мельник¹,
Л.М. Зеленый³

¹Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия,
tingalev_o@pgia.ru

²Научно-исследовательский институт ядерной физики
им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва, Россия

³ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), Москва, Россия

Существующие глобальные численные модели обтекания магнитосферы солнечным ветром относительно используемых систем уравнений можно разделить на 3 типа. К первому типу относятся глобальные магнитогазродинамические модели (далее сокращенно ГМГД-модели), в которых используются уравнения одножидкостной магнитной гидродинамики либо в идеальном приближении, либо с модельной конечной проводимостью. Ко второму типу относятся так называемые гибридные модели, в которых для «кинетических» ионов, попавших в магнитосферу из солнечного ветра, рассматриваются уравнения Власова, а для электронов используются равновесная система гидродинамических уравнений с изотропным давлением. При этом уравнения Максвелла рассматриваются в безызлучательном пределе. К третьему типу относится единственная кинетическая модель, основанная на методе частиц, в которой рассматривается модельная система уравнений Власова-Максвелла с «модельными» очень тяжелыми «электронами» (в 16 раз легче протона) и с «модельной» скоростью света, которая как минимум на порядок меньше реальной. Отметим, что используемые в ГМГД-моделях системы уравнений и численные методы их решения не позволяют правильно описывать ни динамику ионов, ни, тем более, динамику электронов. Поэтому эти модели не могут достаточно реалистично воспроизвести даже известную крупномасштабную картину обтекания магнитосферы солнечным ветром. Наилучшие результаты на текущий момент дают гибридные модели, которые верно описывают динамику ионов, но содержат ряд нефизических модельных слагаемых (например, модельная проводимость), и не описывают правильно динамику замагниченных электронов. Однако и для этих моделей уровень реалистичности воспроизведения известной крупномасштабной картины обтекания магнитосферы солнечным ветром оставляет желать лучшего. Кинетическая модель помимо перечисленных выше ее модельных упрощений имеет очень грубое пространственное и временное разрешение, а также очень малое число модельных частиц в ячейке сетки (30-50). Поэтому результаты ее применения также далеки от желательного уровня реалистичности.

В этой работе предложен новый вариант гибридной глобальной численной модели обтекания магнитосферы солнечным ветром с использованием уравнения Власова для протонов и гидродинамических уравнений Чу-Гольдберга-Лоу для замагниченных электронов, а также неявная итерационная схема численного решения этих уравнений. Предложенная модель по сравнению с существующими гибридными моделями должна лучше описывать динамику как ионов, так и замагниченных электронов, а также в разы лучшее пространственное и временное разрешение. При этом основной объем вычислений в новой модели будет выполняться на графических процессорах (GPU), в то время как существующие модели используют для вычислений процессоры кластерных суперкомпьютеров. В результате новая модель должна дать выигрыш в быстродействии на несколько порядков, что позволит более детально исследовать с ее помощью крупномасштабную структуру магнитосферы.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО УСКОРЕНИЯ ПРОТОНОВ В МАГНИТНОМ ОСТРОВЕ В СКЛАДКЕ ГЕЛИОСФЕРНОГО ТОКОВОГО СЛОЯ

О.В. Мингалев¹, О.В. Хабарова^{2,3}, Х.В. Малова^{4,3}, И.В. Мингалев¹, Р.А. Кислов³, М.Н. Мельник¹, П.В. Сецко¹, Л.М. Зелёный³

¹ Полярный геофизический институт РАН, Апатиты, Россия, mingalev_o@pgia.ru

² Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Московская обл., г. Троицк, Россия

³ ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

⁴ Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва, Россия

В работе предложена аналитическая модель электромагнитного поля в электронейтральном периодически колеблющемся магнитном острове. В модели электрическое поле является чисто индукционным и имеет существенную продольную компоненту почти во всем острове во время большей части его периода колебаний. С помощью этой модели был выбран ряд модельных параметров, которые согласуются с околоземными наблюдениями магнитных островов с размерами ~ 0.01 а.е., распространяющихся вместе с солнечным ветром вдоль гелиосферного токового слоя (ГТС). Было выбрано широкое множество начальных точек внутри острова, и набор начальных моментов времени, которые соответствуют различным фазам колебаний острова. В качестве начальных скоростей использовалась подробная сетка в пространстве скоростей в сферической системе координат с начальными кинетическими энергиями в диапазоне от 10 эВ до 100 кэВ и шагом в 1° по углам направления скорости. Начальная энергия менялась с шагом 10 эВ в диапазоне от 10 эВ до 0.5 кэВ и с шагом 0.5 кэВ в диапазоне от 0.5 кэВ до 100 кэВ. Для каждого варианта поля модельного острова и для каждого начального условия (начальной точки, начального момента времени и начальной скорости) были проведены расчеты траекторий протонов вплоть до вылета из острова в системе отсчета, движущейся вместе с солнечным ветром. По результатам этих расчетов для каждой начальной точки, начального момента времени и для каждого уровня начальной энергии были найдены средняя (по углам направления начальной скорости), максимальная и минимальная энергия вылетевших из острова протонов, а также среднее (по углам направления скорости), максимальное и минимальное время нахождения траектории в острове. Также для диагностики анизотропии скоростей вылета рассчитывалась функция распределения траекторий по углам направления скорости вылета. Показано, что для начальных энергий в диапазоне от 0.5 кэВ до 100 кэВ имеют место резонансные эффекты ускорения протонов продольным электрическим полем до средней энергии вылета в сотни кэВ и даже свыше 2 МэВ, причем направления скорости ускоренных протонов имеют сильную анизотропию, а максимально достижимая энергия существенно зависит от начальных параметров. Таким образом, колеблющийся магнитный остров в солнечном ветре может являться эффективным ускорителем протонов. Проведенное моделирование позволяет объяснить часто наблюдаемые вблизи гелиосферного токового слоя анизотропные потоки частиц с энергиями от сотен кэВ до нескольких МэВ. Продольное индукционное электрическое поле в магнитном острове, расположенном внутри колеблющейся крупномасштабной складки ГТС, способно эффективно ускорять падающие на магнитный остров протоны, предускоренные до энергий порядка кэВ или десятков кэВ. Первичное ускорение может происходить в результате магнитного пересоединения, квазирегулярно протекающего по всей поверхности ГТС, или же в результате сжатия или слияния магнитных островов внутри складок ГТС. Примечательно, что средняя энергия вылета из системы очень слабо зависит от начальной энергии предускоренных протонов, то есть частицы с меньшими начальными энергиями испытывают большее относительное ускорение, чем частицы с изначально более высокими начальными энергиями.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО АБЕРРАЦИИ ПЛАЗМЕННЫХ ХВОСТОВ КОМЕТ

Е.Р. Моженков, О.Л. Вайсберг

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, egoroz@mail.ru

В результате взаимодействия солнечного ветра с таким газовым препятствием как комета, у последней образуется плазменный хвост. Несмотря на возможность аппроксимировать направление распространения солнечного ветра радиальным относительно Солнца на больших расстояниях от звезды, по причине движения кометы по собственной орбите и азимутальной составляющей солнечного ветра, возникают отклонения хвоста от строго антисолнечного направления - такое явление было названо абберрацией. В данной работе, на основании имеющихся данных о абберрации плазменного хвоста кометы C/2012 S1 и измерений солнечного ветра, была оценена возможность применимости такого метода определения скорости солнечного ветра. Результатом стало сравнение экспериментально полученных скоростей, измеренных прибором космического аппарата, и расчетных данных, полученных в результате анализа абберраций.

ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ У ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ ПРИ ЕЁ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ХВОСТОМ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Т.И. Морозова, С.И. Попель

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, timoroz@yandex.ru
МФТИ (ГУ), г. Долгопрудный, Московская область, Россия*

Представлено описание волновых процессов при взаимодействии хвоста магнитосферы Земли с пылевой плазмой у поверхности Луны. Показано, что возбуждение волн возможно для параметров фотоэлектронов, характеризующихся квантовым выходом лунного реголита из работы [1]. Ионно-звуковые волны возбуждаются в областях магнитного переходного и/или пограничного слоев магнитосферы в результате развития линейной гидродинамической неустойчивости, тогда как генерация пылевых звуковых волн обусловлена развитием линейной кинетической неустойчивости во всей области взаимодействия хвоста магнитосферы с пылевой плазмой у Луны. В обеих ситуациях развитие неустойчивостей обусловлено относительным движением ионов магнитосферы и заряженных пылевых частиц. Исследованы процессы развития ионно-звуковой и пылевой звуковой турбулентности. Ионно-звуковая турбулентность рассматривается с позиций сильной турбулентности, тогда как для описания пылевой звуковой турбулентности используется теория слабой турбулентности. Для случаев ионно-звуковой и пылевой звуковой турбулентности определены плотности энергии колебаний, эффективные частоты столкновений, а также возникающие в системе электрические поля. Оказывается, что при развитии ионно-звуковой турбулентности в плазменно-пылевой системе у Луны могут возбуждаться электрические поля, несколько меньшие электрических полей у поверхности Луны, возникающих в процессе зарядки её поверхности при взаимодействии Луны с солнечным излучением, но, тем не менее, вполне значимые для установления адекватной картины электрических полей над Луной. Полученные эффективные частоты столкновений следует учитывать при записи гидродинамических уравнений для ионов пылевой плазмы с учетом её турбулентного нагрева [2].

Работа выполнена по Программе № 7 фундаментальных исследований Президиума РАН “Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звезд”, по Программе Международного института по космическим наукам (International Space Science Institute) “Dusty Plasma Effects in the System Earth-Moon”, а также при поддержке РФФИ (проект № 15-02-05627-а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Willis R.F., Anderegg, M., Feuerbacher, B., Fitton, B., in: Photon and Particle Interactions With Surfaces in Space, ed. by R.J.L. Grard, D.Reidel, Dordrecht (1973), p. 389.
2. Morozova T.I., Kopnin, S.I., Popel, S.I., Plasma Phys. Rep., 2015, 41, 799.

ФАЗОВОЕ СМЕШЕНИЕ АЛЬВЕНОВСКИХ ВОЛН, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ В БЕЗОТРАЖАТЕЛЬНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЫ

М.С. Рудерман^{1,2}, Н.С. Петрухин³

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия *m.s.ruderman@sheffield.ac.uk*

²Шеффилдский университет, Шеффилд, Англия

³Национальный исследовательский институт, Высшая школа экономики, г.Москва, Россия

Возможность обеспечить эффективную диссипацию альвеновских волн в плазме со слабой диссипацией с помощью фазового смешения сделала этот процесс популярным для объяснения нагрева солнечной короны. Первоначально этот процесс был исследован в невозмущённых конфигурациях с прямыми линиями магнитного поля и альвеновской скоростью, изменяющейся только в направлении перпендикулярном магнитному полю. Позже анализ фазового смешения альвеновских волн был обобщён в различных направлениях. В частности, фазовое смешение было изучено в двумерных конфигурациях замагниченной плазмы. Аналитическое исследование было выполнено в предположении, что длины альвеновских волн много меньше характерной длины изменения невозмущённых величин. Это предположение позволило использовать ВКБ. В том случае, когда оно не выполнено, возможно только численное исследование. Это верно даже тогда, когда невозмущённое состояние одномерно, но длина волны сравнима с характерной длиной изменения невозмущённых величин. Однако есть одно важное исключение из этого правила, это так называемые безотражательные конфигурации. В том случае, когда невозмущённое состояние является безотражательным, волновое уравнение с переменной фазовой скоростью, описывающее распространение альвеновских волн, сводится к уравнению Клейна-Гордона с постоянными коэффициентами. В нашей работе теория безотражательного распространения волн используется для исследования фазового смешения альвеновских волн в двумерных плоских конфигурациях замагниченной плазмы. С помощью введения криволинейных координат уравнение, описывающее фазовое смешение альвеновских волн, сводится к одномерному уравнению, являющемуся волновым уравнением в отсутствие диссипации. Это уравнение приводится к одномерному уравнению Клейна-Гордона без учета диссипации. Показано, что оно имеет постоянные коэффициенты, если выполнено определённое соотношение между плотностью плазмы и величиной магнитного поля, которое соответствует безотражательным невозмущённым состояниям. С помощью уравнения Клейна-Гордона с постоянными коэффициентами исследуется фазовое смешение альвеновских волн в различных безотражательных конфигурациях. Подчёркнём, что результаты этого исследования справедливы и в том случае, когда длины волн сравнимы с характерной длиной изменения невозмущённых величин. В частности, исследовано затухание вследствие фазового смешения альвеновских волн в конфигурации с постоянной плотностью плазмы и экспоненциально расходящимися линиями магнитного поля. Показано, что в этом случае происходит ускоренное затухание альвеновских волн с длиной затухания пропорциональной $\ln(\text{Re})$, где Re – число Рейнольдса. Ранее этот результат был получен для коротких волн с помощью ВКБ метода. Обсуждается приложение полученных результатов к проблеме нагрева солнечной короны. Показано, что несмотря на увеличение эффективности диссипации вследствие фазового смешения альвеновские волны с периодами порядка минуты могут затухать в нижней короне, то есть на высоте порядка 200 Мм, только в том случае, если сдвиговая вязкость в солнечной короне на 6 порядков больше величины полученной на основе классической теории столкновительной плазмы.

О ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ СТЕПЕННЫХ СПЕКТРАХ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ (ГКЛ)

В.Ф. Туганов

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, ya.princet@yandex.ru

Высокоэнергичные спектры ГКЛ $J(X)$ (с энергиями $X \gg 1 \div 10$ ГэВ), будучи степенными (с показателями $\beta \sim 2.7 \div 2.8$), имеют, как правило, еще и максимум при энергии X_0 порядка нескольких ГэВ [1, 2]. Поэтому при обработке наблюдаемых спектров их подчас аппроксимируют простой, удовлетворяющей этим условиям функцией $J(\xi; \alpha, \beta) \propto \exp(-\alpha/\xi) \xi^{-\beta}$ (см., например, [3]). Здесь параметры $\alpha > 0$, $\beta > 0$, а $\xi = X/\langle X \rangle$ - энергия в долях среднего по спектру значения $\langle X \rangle$ на одну частицу, которое, очевидно, существует в силу $\beta > 2$. Чего, однако, нельзя сказать о дисперсии энергии σ^2 и соответствующем коэффициенте ее вариации $d = \sigma^2 / \langle X \rangle^2$ - они не определены, поскольку σ^2 - расходящаяся величина для $\beta \leq 3$. Кроме этого ситуацию с обработкой спектров усугубляет и формальный расчет первых трех моментов распределения $J(\xi; \alpha, \beta)$: ограничивая связь двух параметров условием $\alpha = \beta - 2$, он дает еще и соотношение $\beta = \beta(d) = 3 + 1/d$. А оно для всех допустимых значений $0 \leq d \leq \infty$ требует необходимого при этом условия $\beta(d) \geq 3$, которое противоречит значениям показателей $\beta \sim 2.7 \div 2.8$ в наблюдаемых степенных спектрах ГКЛ.

Следовательно, форма спектра $J(\xi; \alpha, \beta)$, используемая при обработке и интерпретации наблюдаемых данных должна быть изменена, как минимум, так, чтобы дисперсии σ^2 была конечной величиной. При этом возможны две процедуры, которые к тому же еще и отвечают имеющимся предположениям относительно существующей природы ГКЛ: а) обрезание их спектров, например экспоненциальным фактором типа $\exp(-b\xi)$, где $b > 0$, и б) ограничение спектров конечной областью их существования, когда $X_0 < X \leq X_{\max}$.

В случае а), как бы ни был мал обрезаящий фактор ($b \ll 1$) в функции $J(\xi; \alpha, \beta, b) = J(\xi; \alpha, \beta) \exp(-b\xi)$, он при $\xi \gg 1/b > 1$ снизит её значение быстрее, чем одна лишь степенная функция $\xi^{-\beta}$ с параметром $\beta \leq 3$. И, препятствуя указанной расходимости дисперсии σ^2 (вариации d), этот фактор, изменив еще и соотношение $\beta = \beta(d)$ на $\beta = \beta(d, b)$, собственно и разрешит указанные выше проблемы интерпретации наблюдаемых при $1 \ll \xi \ll 1/b$ спектров с $\beta \leq 3$. Естественно, что такой экспоненциально обрезаящий фактор должен быть присущ самому механизму ускорения ГКЛ, и он, - в свою очередь, - может быть определен из соответствующего интеграла столкновений, определяющего функцию распределения частиц.

Что до случая б), то ситуация здесь очевидна: ограниченность спектральной области энергий ГКЛ приводит и к зависимости параметра β от предельного значения X_{\max} их энергии, и к конечности ее дисперсии σ^2 , а значит и коэффициента вариации d .

ЛИТЕРАТУРА:

1. Птускин В.С. УФН, **177**, с. 558–565 (2007) URL: <http://ufn.ru/ru/articles/2007/5/f/>
2. Птускин В.С. УФН, **180**, с. 1000–1004 (2010) URL: <http://ufn.ru/ru/articles/2010/9/k/>
3. Крымский Г.Ф., Григорьев В.Г., Стародубцев С.А., Танеев С.Н. Письма в ЖЭТФ, том 102, вып. 6, с. 372–379 (2015)

**секция ВОЗДЕЙСТВИЕ КОСМИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ НА АТМОСФЕРУ
И КЛИМАТ ЗЕМЛИ**

МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРОГРАММА VARSITI И ПРОЕКТ ROSMIC

А.А. Криволуцкий

*Центральная аэрологическая обсерватория (ЦАО) Росгидромета,
г. Долгопрудный Московской обл., Россия, Krivolutsky@mail.ru*

Представлена информация о проведенных и будущих мероприятиях в рамках инициированной SCOSTEP международной программы по солнечно-земной физике VarSITI и входящего в нее проекту ROSMIC, посвященному роли средней атмосферы в качестве звена, передающего внешнее воздействие в климатическую систему Земли. Как известно, первый международный симпозиум по программе VarSITI был проведен в 2014 году в Китае. Второй симпозиум по этой программе планируется провести летом 2017 года в России (Иркутск), на базе Института Солнечно-Земной Физики СО РАН. В 2016 году на базе Института Физики Атмосферы (Кюлленсборн, Германия) был проведен Симпозиум по проекту ROSMIC с участием специалистов из России.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИОНОСФЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ПО ДАННЫМ РАДАРА ЕКВ ИСЗФ СО РАН

О.И. Бернгардт, К.А. Кутелев

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, berng@iszf.irk.ru

Когерентный радар декаметрового диапазона ЕКВ ИСЗФ СО РАН на настоящее время является единственным импульсным загоризонтным научным радаром в РФ, работающим в режиме круглосуточного мониторинга. Сектор сканирования радара по азимуту составляет 50 градусов и покрывает примерный сегмент Екатеринбург - Новая Земля - Норильск площадью порядка 1млн. кв.км. Пространственное разрешение радара составляет 15-60 км в зависимости от режима. Временное разрешение радара составляет 1-2 минуты. Диапазон частот радара 8-20МГц.

Приемо-передающая аппаратура радара создана в Университете Лейстера (Великобритания) на средства СО РАН, и представляет собой аналог стерео радара CUTLASS сети SuperDARN. Радар установлен и введен в эксплуатацию в конце 2012 года совместно с Институтом Геофизики УрО РАН в obs.Арти ИГФ УрО РАН и с тех пор более 97% времени работает в непрерывном режиме.

Основой работы радара является прием сигнала, рассеянного как на ионосферных неоднородностях методом обратного однократного рассеяния, так и сигнала рассеянного на неоднородностях земной поверхности (возвратно-наклонное зондирование).

Коротковолновой диапазон наиболее подвержен влиянию различных факторов космической погоды, и выглядит наиболее перспективным для создания многофункциональных средств по ее контролю. В работе на основе данных радара за 2013-2016 годы с 2-х минутным временным разрешением проведен морфологический анализ эффектов солнечных вспышек, проведена классификация наблюдаемых эффектов. На примере нескольких вспышек (11/04/2013, 25/10/2013, 08/05/2014) проведена оценка динамики коэффициента поглощения.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН No 7, функционирование радара ЕКВ проводится при финансовой поддержке проекта II.12.2.3.

ВАРИЦИИ ЗАРЯЖЕННОЙ И НЕЙТРАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ

В.С. Махмутов, Ю.И. Стожков, Ж.-П. Ролан, Г.А. Базилевская,
М.В. Филиппов, Ж. Такза, А. Марун, Г.Фернандес
ФИАН, г. Москва, Россия, makhmutv@sci.lebedev.ru
Университет Макензи, г. Сан Пауло, Бразилия
Астрономический комплекс КАСЛЕО, г. Сан Хуан, Аргентина

В работе представлены результаты анализа данных измерений потоков заряженных частиц, нейтронов, гамма излучения и приземного электрического поля, полученных в 2016 году в астрономическом комплексе КАСЛЕО (Аргентина). Выделен особый класс событий, связанных с вариациями напряженности электрического поля в приземном слое атмосферы. Представлены основные временные и энергетические характеристики этих событий. Обсуждается связь этих событий с вариациями геомагнитного поля.

СОЛНЕЧНЫЕ ПРОТОННЫЕ СОБЫТИЯ 23-24-ГО СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ ПО ДАННЫМ РОССИЙСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ЭФФЕКТЫ В ОЗОНОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

И.Н. Мягкова¹, А.А. Криволицкий²

¹*МГУ имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, г. Москва, Россия, irina@srd.sinp.msu.ru*

²*Центральная Аэрологическая Обсерватория, г. Долгопрудный, Россия*

Мощные солнечные вспышки, как правило, являются источником протонов солнечных космических лучей (СКЛ), или как их ещё называют — солнечных протонных событий (СПС). СПС влияют на околоземную среду и атмосферу Земли, поскольку солнечные протоны, проникая в атмосферу Земли на высоких широтах, вызывают её ионизацию и изменение её химического состава. Реакция озонового слоя в средней атмосфере зависит не только от интенсивности потока протонов СКЛ, но и от их спектра, а также границ проникновения протонов СКЛ в магнитосферу Земли, особенно в периоды геомагнитных бурь, когда наблюдаются сильные вариации размеров полярных шапок. Данная информация может быть получена из экспериментов на ИСЗ с круговыми полярными орбитами.

Следовательно, моделирование процессов в атмосфере Земли должно быть основано на экспериментальных данных о потоках и спектрах протонов СКЛ, а также об их границах проникновения в магнитосферу Земли.

В настоящей работе представлен обзор спутниковых измерений потоков протонов солнечных космических лучей (СКЛ) в околоземном космическом пространстве (ОКП), осуществлявшихся на российских космических аппаратах, функционирующих на разных орбитах. Регистрация протонов СКЛ проводится как на регулярной основе (например, спутники серии «Метеор» — круговая полярная орбита, ЭЛЕКТРО-Л - геостационарная орбита), так и в периоды отдельных экспериментов (например, спутники серии КОРОНАС, в частности КОРОНАС-Ф), студенческий спутник МГУ «Университетский-Татьяна» и некоторые другие.

Наибольшее внимание при этом уделено регистрации энергичных протонов во время наиболее мощных солнечных протонных событий (СПС) и производимые ими эффекты в полярных областях. Максимально подробно исследованы и описаны события 23-го цикла активности Солнца (14 июля 2000 г., 28 октября 2003 г. и др.).

Также кратко представлены результаты численных расчетов и анализа наблюдений, свидетельствующие о последствиях воздействия СПС на полярную озоносферу и нижнюю ионосферу.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫСЫПАЮЩИХСЯ ЭЛЕКТРОНОВ НА АТМОСФЕРУ ЗЕМЛИ

И. Миронова¹, А. Артамонов², А. Мишев², В. Махмутов³

¹СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, *i.a.mironova@spbu.ru*

²Space Climate Research Unit, University of Oulu, Finland

³Физический Институт им. Лебедева, Москва, Россия

Оценка воздействия протонов на химический состав атмосферы детально исследовался во многих работах. Однако роль высыпающихся из радиационных поясов электронов в вариациях озона и климатических изменениях до сих пор не ясна по причине того, что реальные скорости ионизации атмосферы под воздействием этих частиц неизвестны. Один из поднимаемых дискуссионных вопросов также связан с диапазоном энергий электронов, которые могут быть наиболее или наименее важными для вариаций атмосферных химических изменений.

В данной работе мы представляем скорости ионизации атмосферы, вызванные электронами различных энергий, с учетом изотропного и углового распределения выпавших частиц. Здесь так же рассмотрены различные спектры потоков электронов, которые обычно берутся во внимание для данных полученных во время баллонных измерений релятивистских электронов, наблюдений со спутников и спектры, восстановленные с использованием геомагнитных индексов. Скорости ионизации от данных энергетических спектров охватывают широкий диапазон характеристических энергий высыпающихся электронов. Ионизация создаваемая тормозным излучением также принимается во внимание.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ АЗОТНЫХ ОКИСЛОВ В ПОЛЯРНОЙ АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СКЛ В ПЕРИОД ПРОТОННЫХ ВСПЫШЕК: АНАЛИЗ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ ФОТОХИМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.А. Куколева, А.А. Криволицкий, Т.Ю. Вьюшкова

*ЦАО Росгидромет, г. Долгопрудный, Московской обл., Россия,
kuan-2012@yandex.ru*

По данным спутниковых измерений содержания азотных составляющих в полярной атмосфере Земли в периоды СПС 14 июля 2000 г. и 28 октября 2003 г. проведены оценки эффективности их образования на каждую пару ионов, образованных при торможении солнечных протонов в атмосфере. Для анализа были использованы данные измерений состава со спутников UARS (прибор HALOE) и ENVISAT (прибор MIPAS). Скорости ионизации были рассчитаны по данным спутниковых измерений потоков протонов в различных каналах их энергий (GOES). Оценки эффективности дополнительного образования молекул окиси азота дали несколько меньшие значения, чем теоретические для атомов азота. Таким образом, часть атомов азота распределяется среди других азотных окислов (NO_2 , NO_3 , N_2O_5 и др.). Проведенное фотохимическое моделирование подтвердило это предположение.

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЕТРА В ПОЛЯРНОЙ АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ ПОСЛЕ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ СОБЫТИЙ (ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ)

А.А. Криволицкий

*Центральная аэрологическая обсерватория (ЦАО) Росгидромета,
г. Долгопрудный Московской обл., Россия, Krivolutsky@mail.ru*

Представлены результаты численного моделирования отклика полярной атмосферы Земли на наиболее сильные протонные события 23-го цикла активности Солнца (14 июля 2000 г. и 28 октября 2003 г.). Для реализации численных сценариев была использована модель общей циркуляции атмосферы ARM (Atmospheric Research Model), созданная в Лаборатории химии и динамики атмосферы ЦАО Росгидромета. Возмущения, вызванные данными СПС, были обусловлены изменениями в содержании озона, которые в свою очередь предварительно рассчитывались с помощью трехмерной фотохимической модели CHARM (Chemical Atmospheric Research Model), разработанной в Лаборатории химии и динамики атмосферы ЦАО. Временные изменения трехмерных полей озона вводились в радиационный блок модели ARM. Результаты моделирования обнаружили сложную структуру отклика полярной температуры и ветра. Было показано, что в области разрушения озона температура понижается на 5-7 К. В нижней термосфере была обнаружена слоистая структура отклика, обусловленная, как показал специальный анализ, нарушением условий распространения внутренних гравитационных волн. Было также показано, что разрушение полярного озона, вызванное СПС, приводит к ослаблению все компонент ветра.

РОЛЬ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В НАБЛЮДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА В XX ВЕКЕ

Г.А. Жеребцов, В.А. Коваленко, К.Е. Кириченко
ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, vak@iszf.irk.ru

Изучение влияния солнечной активности (СА) на погоду и климат имеет давнюю историю. Сравнение характеристик климата и солнечной активности на больших временных масштабах демонстрирует большое сходство в их поведении. Тем не менее, вопрос вносит ли солнечная активность значимый вклад в изменение погоды и климата до сих пор остается дискуссионным.

По измерениям на космических аппаратах за три последних цикла солнечной активности солнечная постоянная изменялась на 0,1 %, что соответствует изменениям температуры воздуха не более чем на 0,1 °С. Именно данная характеристика включается во все численные климатические модели. В связи с этим многие климатологи решительно отвергают саму возможность воздействия солнечной активности на погоду и климат.

В ИСЗФ СО РАН разработана принципиально иная физическая модель воздействия солнечной активности на погодно-климатические характеристики и циркуляцию тропосферы через атмосферное электричество. Ключевая концепция модели — влияние СА на параметры земной климатической системы, управляющие потоком длинноволнового излучения, уходящего от Земли в высокоширотных областях. По данным измерений параметров атмосферного электричества во время геомагнитных возмущений, также как и в периоды вторжения больших потоков солнечных космических лучей в области полярных широт наблюдается значительное возрастание электрического поля в тропосфере и тока ионосферы — Земля. Изменения электрического поля оказывают влияние на высотное распределение заряженных аэрозолей, которые являются ядрами конденсации и, следовательно, могут воздействовать на условия формирования облачности. Появление облачности приводит к изменению радиационного баланса, уменьшению радиационного выхолаживания, изменению термобарического поля тропосферы, меридионального градиента температуры, который определяет меридиональный перенос тепла. Вследствие этого изменяется теплосодержание земной климатической системы и глобальный климат [1].

На основе комплексного анализа данных наблюдений гидрометеорологических характеристик тропосферы и океана в рамках полуэмпирических модели выявлен вклад солнечной активности в изменения приземной температуры воздуха, температуры поверхности океана и осадков.

Установлено, что климатический отклик на воздействие солнечной и геомагнитной активности характеризуется значительной пространственно-временной неоднородностью, носит региональный характер и зависит от климатической эпохи.

Выявлены области в Мировом океане, в которых в течение всего рассматриваемого периода времени (1868-2015 гг.) долговременные изменения поверхностной температуры определяются в основном СА. К ним относятся районы в Атлантическом океане (30–40° с.ш.; 60–70° з.д. и 20–50° ю.ш.; 0–30° з.д.) и район в индийском секторе Южного океана (40–50° ю.ш.; 30–60° в.д.).

Выявлено, что солнечная активность внесла значительный вклад в изменении глобального климата в период первого потепления в XX веке (1910-1944 гг.) и в период 2000-2015 гг. Первый период характеризуется значительным положительным трендом уровня геомагнитной активности, максимальным за весь рассмотренный временной интервал (1868-2015 гг.), который совпал с усиленным меридиональным переносом тепла в Северной Атлантике. Во второй период наблюдается понижение уровня геомагнитной активности и минимальные значения площади льда в Арктическом бассейне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A., Molodykh S.I. The physical mechanism of the solar variability influence on electrical and climatic characteristics of the troposphere // Adv. SpaceRes. 2005a. V. 35. P. 1472–1479.

МОДЕЛИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА ДЛЯ АЭРОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ

А.А.Нусинов, Т.В.Казачевская, В.В.Катюшина
ФГБУ «ИПГ», г. Москва, Россия, nusinov@mail.ru

Разработаны две модели коротковолнового излучения Солнца для расчетов скоростей процессов ионизации и фотодиссоциации газов верхней атмосферы. Входным параметром для обеих моделей является поток $I_{L\alpha}$ излучения в линии H I L_{α} (длина волны $\lambda = 121.6$ нм). В отсутствие прямых измерений величина $I_{L\alpha}$ может быть рассчитана по данным о потоке радиоизлучения Солнца на волне 10.7 см ($F_{10.7}$). Для моделирования потоков излучения в ионизирующей области спектра (крайнее ультрафиолетовое излучение, КУФ, $\lambda < 120$ нм) используется квадратичный закон связи интенсивностей излучения в отдельных линиях и спектральных интервалах с интенсивностью в линии H I L_{α} . Для потоков в диссоциирующей области спектра (ДУФ, $120 \text{ нм} < \lambda < 310 \text{ нм}$) используется линейная зависимость. Коэффициенты регрессии соответствующих уравнений получены по данным длительных измерений спектров коротковолнового излучения при разных уровнях солнечной активности в последние десятилетия (от максимума 23-го до минимума и максимума 24-го циклов солнечной активности) на космических аппаратах UARS, SORCE, TIMED и SDO. Сравнение с наблюдениями показало, что модели спектров отображают существующие измерения с погрешностью в несколько процентов, что позволяет использовать их для расчетов воздействия коротковолнового солнечного излучения на различные слои верхней атмосферы.

НЕЛИНЕЙНЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОСМОГЕННОГО ИЗОТОПА С14 ЗА 12 ТЫСЯЧ ЛЕТ, О РЕЗКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА И ПРОГНОЗЕ НА БУДУЩЕЕ

Т.В. Кузнецова

ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, tvkuz2@yandex.ru

Установлено, что климат может быстро меняться на шкалах столетий, иногда десятилетий. Глобальность и скорость этих изменений не может быть объяснена инсоляционной астрономической теорией климата Миланковича. Резкие сдвиги климата с периодом $T \sim 1500$ лет в последнем ледниковом периоде были обнаружены по данным кернов Гренландии. Хуже изучен T этих циклов и их связь с климатом в голоцене. Согласно Бонду (*Bond et al, 1997*) в северной Атлантике в голоцене существовал цикл с $T \sim 1470$ лет. Выявлено 8 событий на основе обломков айсбергов. Причины ~ 1500 лет осцилляций в настоящее время неизвестны и являются предметом изучения, внимание направлено на атмосферную циркуляцию. Описание событий Бонда (СБ) указывает, что в них проявляется нелинейность и резонанс. Для их изучения нужны методы нелинейного спектрального анализа. В работе использован метод глобального минимума (МГМ), который позволяет выделять из данных самосогласованные тренды и нестационарные колебания, а также определять время развития нелинейных процессов в спектральных компонентах (*Tsirulnik and Kuznetsova, 1997*). Использован ряд С14 с 9700 г. до н.э. по 1980 г. н.э. Источником С14 в стратосфере являются галактические космические лучи, контролируемые межпланетным и земным магнитным полями, что позволит учесть их влияние на климат. Цель работы – определить времена роста и спада амплитуды наиболее мощных колебаний, а также резких изменений их параметров (развития нелинейных процессов) для сопоставления с СБ и температурой (керны GISP1,2), а также тренд. Тренд, описываемый синусоидой с $T = 18,6$ тыс. лет, имеет самую большую амплитуду и подходит к минимуму С14. Предыдущий минимум был ~ 17 тыс. лет до н.э. Цикл с $T = 18,5$ тыс. лет был найден в палеоклиматических данных. Следующая по мощности синусоида с $T = 6500$ л связана с СБ, так как 6 СБ происходили вблизи ее экстремумов. Нестационарная синусоида с $T = 2600$ л показывает интервалы затухания и роста амплитуды, а также смены режима колебаний. Амплитуда быстро растет и, достигнув максимума за 11,6 тыс. л, продолжает расти. Сравнение с GISP показало, что абсолютный максимум С14 этих колебаний в ~ 780 г. н.э. совпал с минимумом температуры. Цикл, как и тренд, достигнет абсолютного минимума С14 (максимума температуры) в ~ 2050 г. (экстраполяция). У мощной нестационарной гармонике с $T = 2230$ л амплитуда тоже растет. Нелинейные процессы, связанные с раскачкой колебаний, происходили намного позже и медленнее, но амплитуда уже приблизилась к амплитуде 6500л цикла. Сравнение с GISP показало, что минимуму С14 этого цикла в ~ 600 г. н.э. был близок к максимуму температуры и СБ1. Причина резких изменений С14 в СБ1 связана с тем, что два нестационарных цикла колеблются со сдвигом фазы ~ 200 л на этой ветви роста амплитуды: переход от минимума С14 2230л цикла к абсолютному максимуму 2600л цикла (от потепления к похолоданию) за 200л. Аналогично с СБ2 в ~ 800 г. до н.э. - переход от максимума С14 2230л цикла к минимуму 2600л цикла за ~ 170 л. Кроме того, периоды этих двух циклов находятся в резонансе с $T = 1500$ л, что создает характерный профиль. $T = 1500$ л между СБ1 и СБ2 появляется как интервал между последовательными минимумами и максимумами этих двух циклов. Закономерность означает появление абсолютного минимума С14 2600л цикла в ~ 2060 году (близко к независимой экстраполяции). Последствия близости минимума С14 (наибольших температур за 12тыс. л) к ожидаемому минимуму С14 тренда трудно прогнозировать, но очевидна реорганизация геофизических систем в будущем. В заключение обсуждаются особенности проявления резких изменений с $T \sim 1500$ лет в данных С14 и температуре Гренландии, основанные на интерпретации периодов наиболее мощных колебаний спектра периодами астрономического происхождения и возможном объяснении 1500-летних осцилляций.

НАБЛЮДЕНИЯ УФ-РАДИАЦИИ В АНТАРКТИДЕ (СТ.НОВОЛАЗАРЕВСКАЯ) НА СТАДИИ ПОДЪЕМА 24-ГО ЦИКЛА АКТИВНОСТИ СОЛНЦА

С.Н. Шаповалов, О.А. Трошичев

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический НИИ, Санкт-Петербург, Россия,
shapovalov@aari.ru*

Данные спектральных наблюдений УФ-радиации в зените атмосферы, полученные на ст.Новолазаревская (Антарктида) за период с 2008 г. по 2015 г. с помощью оптоволоконного спектрометра AvaSpec-2048 (www.avantes.com), показали зависимость флуктуаций УФ от таких солнечных факторов, как солнечные космические лучи и радиоизлучение 245-8800МГц, которые воздействуют на уровень и амплитуду мезопаузы, содержание H₂Oice, O₃ и другие показатели верхней мезосферы (AIM, <http://aim.hamptonu.edu>).

Временной анализ среднесуточных стандартных отклонений (SD) интенсивности флуктуаций в диапазоне 297-330нм, зафиксированных в сезон антарктического лета (сентябрь-февраль), показал линейную связь этих флуктуаций с радиоизлучением в диапазоне 245-8800МГц (<http://www.sws.bom.gov.au>). Максимальная корреляция $R \sim 0.9$ наблюдалась в случае низкочастотного радиоизлучения солнечной короны (245МГц), интенсивность которого не демонстрирует явной зависимости от цикла солнечной активности, в отличие от интенсивности высокочастотного (> 2800 МГц) радиоизлучения солнечной хромосферы. Этот результат свидетельствует о том, что состояние верхней мезосферы может контролироваться иными, чем солнечная активность, факторами.

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ МЕЗОСФЕРНЫХ ОБЛАКОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВАРИАЦИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

И. Миронова

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, i.a.mironova@spbu.ru

Полярные мезосферные облака или другими словами серебристые облака образуются в регионе летней мезопаузы около 80 км, когда температура в этой области опускается приблизительно ниже -80°C . Результаты исследования показали, что резкое уменьшение температур в данной области может быть следствием изменений скоростей ионизации атмосферы во время солнечных протонных событий и вариаций химического состава атмосферы. Данная работа направлена на разработку параметризации учитывающей поведение свойств мезосферных облаков во время вариаций солнечной активности на коротких и длинных временных интервалах.

ТРЕХМЕРНОЕ ФОТОХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В ОЗОНОСФЕРЕ И НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЕ ЗЕМЛИ В ЦИКЛЕ АКТИВНОСТИ СОЛНЦА

А.А. Криволуцкий, Л.А. Черепанова, Т.Ю. Вьюшкова

*Центральная аэрологическая обсерватория (ЦАО) Росгидромета,
г. Долгопрудный Московской обл., Россия, Krivolutsky@mail.ru*

Представлены результаты численного моделирования отклика озоносферы и нижней ионосферы (область D) Земли на вариации УФ радиации Солнца в цикле его активности. Был рассмотрен период с 2003 по 2009 гг., обеспеченный детальными спутниковыми измерениями солнечного ультрафиолета с помощью прибор SIM (Solar Irradiance Monitor). Были использованы данные о потоках УФ радиации в диапазоне длин волн 100-300 нм, которые важны для расчета скоростей фотодиссоциации и фотоионизации (в линии Лайман-альфа). Для реализации численных сценариев была использована трехмерная фотохимическая модель CHARM-I (Chemical Atmospheric Research Model with Ions), созданная в Лаборатории химии и динамики атмосферы ЦАО Росгидромета. Модель воспроизводит глобальные распределения концентраций более 70 нейтральных и заряженных компонент в диапазоне высот 0-90 км, участвующих в 200 химических реакций, реакций фотодиссоциации и ионизации. Для расчета нейтральных составляющих (озон и др.) был использован алгоритм, основанный на технологии «химических семейств». Расчет заряженных составляющих был основан на реализации условия электронной нейтральности на каждом шаге интегрирования модели. Временной шаг интегрирования составлял 100 сек. Результаты реализованных численных сценариев показали, что изменения в содержании озона в стратосфере и мезосфере приблизительно вдвое больше, чем в предыдущих циклах. Отклик электронной концентрации, зависящий как от ионизирующих факторов (в первую очередь интенсивности солнечной радиации в линии Лайман-альфа), так и от вариаций нейтрального состава, которые, в свою очередь, определяются вариациями УФ радиации в цикле активности Солнца. Таким образом, интерпретация результатов, полученных в модели для области D ионосферы, является достаточно непростой задачей. Расчеты выявили не только уменьшение электронной концентрации в минимуме активности Солнца на мезосферных высотах, но и область некоторого повышения вблизи 60 км (где абсолютная электронная концентрация, правда, значительно ниже). Представляется важным в дальнейшем провести сопоставление с имеющимися для этого периода наблюдениями.

**секция ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЕ
ТОКОВЫХ СЛОЕВ**

THE TRAJECTORY METHOD OF CHARGED PARTICLES DYNAMICS DESCRIPTION IN ARBITRARY MAGNETIC CONFIGURATIONS BASED ON THE ANALYSIS OF ANGULAR VARIABLES

Yu. L. Sasunov, G. Swarzbauer, M.L. Khodachenko, I.I. Alexeev, E.S. Belenkaya

The description of charged-particles motion in an inhomogeneous magnetic field is a fundamental problem in the space plasma physics. Since this motion is essentially non-linear, the traditionally used approaches consist in imposing of specific conditions regarding the scales of magnetic field and particle trajectory, and involve assumptions about conservation of specific invariants (e.g., the magnetic momentum), as well as other integrals of action. We propose an analytical approach to study the motion of particles in an arbitrary magnetic field, which is based on the analysis of two variables: the particle pitch-angle and phase of rotation. Such analysis reveals a mutually related behavior of pitch-angle and phase of rotation, which enables constructing of a self-consistent solution for a current sheet by an appropriate averaging of the particle trajectories of the current carriers.

РАЗРЫВНЫЕ ТЕЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ ВБЛИЗИ ПЕРЕСОЕДИНЯЮЩЕГО ТОКОВОГО СЛОЯ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ

Н.П. Колесников, С.И. Безродных, Б.В. Сомов
ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, nick206265@gmail.com

В приближении сильного магнитного поля исследуется модель магнитного пересоединения в плазме высокой проводимости в короне Солнца, включающая в себя токовый слой Сыроватского и присоединенные к его концам магнитогидродинамические (МГД) разрывы [1]. С использованием двумерного аналитического решения для магнитного поля [2] выполнен расчет распределений скоростей течения плазмы и ее плотности в окрестности соответствующей токовой конфигурации. Исследованы свойства скачков плотности и скорости вдоль присоединенных разрывов. Исходя из характера изменения магнитного поля и течений плазмы на МГД-разрыве, показано, что при рассмотренных значениях параметров МГД-разрыв включает в себя области транс-альвеновской, быстрой и медленной ударных волн. Полученные результаты могут быть полезны для объяснения наличия "сверхгорячей" (с эффективной электронной температурой более 10 кэВ) плазмы в солнечных вспышках [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Somov B.V. Plasma Astrophysics. N.-Y.: Springer, 2013.
2. Безродных С.И., В.И.Власов, Б.В.Сомов. Обобщенные аналитические модели токового слоя Сыроватского // Письма в астрон. журн. 2011. Т. 37, № 2. С. 133-150.
3. Sui L., G. D. Holman, Astrophys. J. **596**, 251 (2003).

СТРУКТУРА ТОКОВЫХ СЛОЕВ В ОБЛАСТИ БЛИЖНЕГО ХВОСТА МАГНИТОСФЕРЫ МАРСА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СПУТНИКА MAVEN

Е.Е. Григоренко, С.Д. Шувалов, В.Н. Ермаков, Х.В. Малова, В.Ю. Попов, О.Л. Вайсберг, Л.М. Зеленый

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, elenagrigenko2003@yandex.ru

Токковые слои (ТС) являются одними из самых распространенных магнитоплазменных структур, наблюдаемых в космической и лабораторной плазме. Понимание механизмов самоорганизации и поддержания квазиравновесных конфигураций ТС, а также происходящих в них процессов, связанных с накоплением и трансформацией энергии, являются актуальными проблемами физики плазмы на протяжении многих десятилетий. Интенсивные исследования ТС в бесстолкновительной космической плазме показали, что присутствие в плазме нескольких ионных популяций, различных по массовому и/или энергетическому составу, могут существенно влиять на структуру и динамику ТС, в частности, способствуя формированию вложенных токовых конфигураций. Последние могут стать источником свободной энергии для возбуждения различных плазменных неустойчивостей в ТС, что в результате может привести к ослаблению/разрушению ТС и магнитному пересоединению.

В течение последних 15 лет ТС были интенсивно исследованы в хвосте земной магнитосферы, в плазме которого, доминирующей ионной компонентой являются протоны с небольшой (как правило, не более 20%) добавкой тяжелых ионов, в частности ионосферных ионов O^+ . Напротив, в хвосте магнитосферы Марса преобладающими компонентами ионной популяции являются тяжелые ионы O^+ и O_2^+ , а доля легких ионов - протонов - незначительна. В этой связи представляет интерес исследование структуры таких «кислородных» ТС и их стабильности. В настоящее время на марсианской орбите работает спутник MAVEN с уникальным набором научной аппаратуры на борту, позволяющей проводить измерения магнитного поля и трехмерных функций распределения различных ионных компонент и электронов с высоким временным разрешением. В данной работе представлена статистика наблюдения ТС спутником MAVEN в ближнем хвосте магнитосферы Марса. Выполнен анализ пространственной структуры ТС и получены оценки толщины слоев в зависимости от относительных концентраций легких и тяжелых ионов, доли неадиабатической ионной популяции и наличия ускоренных потоков. Показано, что аналогично ТС в земной магнитосфере, сложность структуры ТС в магнитосфере Марса (наличие вложенных и/или периферийных токовых структур) зависит от относительной доли неадиабатических частиц в слое.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЛАЗМЫ В ПЛАЗМОИДОПОДОБНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ СО СДВИГОВОЙ КОМПОНЕНТОЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

А.Ю. Малыхин¹, Е.Е. Григоренко¹, Х.В. Малова^{1,2}

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия, anmaurdreg@gmail.com

²НИИЯФ (МГУ) им.Скобелева, г. Москва, Россия

Многочисленные спутниковые наблюдения показывают наличие разнообразных плазмоидоподобных структур в хвосте магнитосферы Земли (Scholer et al., [1984], Moldwin and Hughes [1992], Stein Haland et al., [1992]). Также было показано наличие сдвиговой компоненты поля, тангенциальной токовому слою в плазмоиде (Vu), в геомагнитном хвосте (Linto and Moldwin. [2009], Grigorenko et al., [2013]). В данной работе была исследована динамика плазмы в плазмоидах со сдвиговой компонентой магнитного поля методом тестовых частиц. Рассмотрены пространственные распределения плотности и токов для различных функций распределения ионов, описывающих различные популяции плазмы в геомагнитном хвосте. Из полученных результатов следует, что плазма захватывается вблизи центра плазмоида, а наличие сдвиговой компоненты магнитного поля приводит к появлению внутренних токовых структур. Показано, что динамика тепловой плазменной популяции может создавать четко выраженный кольцевой ток внутри плазмоида и, тем самым, поддерживать Vu компоненту поля в токовом слое плазмоида. Также показано, что высокоэнергичные потоки частиц, приходящие в плазмод из внешнего источника ускорения (например, из X-линии), нарушают регулярную токовую структуру внутри плазмоида. В силу использования параметров задачи соответствующих параметрам геомагнитного хвоста, были получены оценки плотности токов, а с помощью функции распределения была определена доля частиц, отвечающих за перенос тока, и получены оценки плотности частиц, которые согласуются с наблюдениями.

ПРОДОЛЬНЫЕ И ПОПЕРЕЧНЫЕ ТОКИ В ТОКОВЫХ СЛОЯХ, ФОРМИРУЕМЫХ В 2D И 3D МАГНИТНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ

А.Г. Франк, С.Н. Сатунин

ИОФ РАН, г. Москва, Россия, annfrank@fpl.gpi.ru

Анализ структуры магнитных полей и токов в токовых слоях, формируемых в 2D и 3D магнитных конфигурациях с особой линией X типа, позволил установить, что наряду с основным (продольным) током, который разделяет магнитные поля противоположных направлений, в большинстве случаев возникают также поперечные токи. При развитии токовых слоев в 2D магнитных конфигурациях поперечные токи – это токи Холла [1], тогда как в 3D конфигурациях появление поперечных токов связано также с захватом и усилением в слое продольной компоненты магнитного поля [2].

Основные результаты базируются на экспериментах, выполненных с помощью экспериментальной установки ТС-3D, в которой токовые слои создаются в магнитных полях с X линией, $\mathbf{B} = \{h^*y; h^*x; B_z^0\}$, при возбуждении в плазме тока J_z . Структура и эволюция поперечных токов, возникающих в плоскости (x,y) , идентифицировались на основе пространственно-временных характеристик продольной компоненты магнитного поля B_z , которая создавалась токами плазмы и, соответственно, значительно отличалась от вакуумного магнитного поля B_z^0 .

Особенности эволюции и структуры токов Холла исследовались «в чистом виде» при создании токовых слоев в 2D магнитных конфигурациях, при $B_z^0 = 0$, и в плазме с ионами различной массы. В 3D конфигурациях ($B_z^0 \neq 0$) поперечные токи – это не только токи Холла, но и токи, поддерживающие усиление в слое B_z компоненты. Для выделения каждого из этих эффектов измерения проводились при различных направлениях B_z^0 компоненты, в различных областях токовых слоев.

На ранней стадии эволюции доминирующим эффектом является возбуждение в токовом слое токов Холла, которые по абсолютной величине могут быть соизмеримы с основным продольным током. Со временем токи Холла затухают, и на более поздних стадиях поперечные токи, связанные с усилением B_z компоненты, могут значительно превысить токи Холла. Приводятся соотношения между продольными и поперечными токами в различных условиях и в различных областях токовых слоев.

Таким образом, структура токов и магнитных полей в токовых слоях имеет существенно 3D характер [3], даже в простейшем случае, когда токовых слой формируется в 2D магнитной конфигурации с нулевой линией.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 01200953488, при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 15-02-03644, и Программой ОФН РАН IV.2.14 «Динамика разреженной плазмы в космосе и в лаборатории».

ЛИТЕРАТУРА

1. Frank A.G., Bugrov S.G., Markov V.S. // Phys. Plasmas 2008. V. **15**. P. 092102.
2. Frank A.G., Bugrov S.G., Markov V.S. // Phys. Lett. A 2009. V. **373**. P. 1460.
3. Франк А.Г., Артемьев А.В., Зелёный Л.М. // ЖЭТФ 2016. Т. 150. С. 807.

FORCED MAGNETIC RECONNECTION AND ONSET OF PLASMOID INSTABILITY

G. Vekstein

*JBCA, School of Physics and Astronomy, University of Manchester, UK,
g.vekstein@manchester.ac.uk*

The primary focus of modern magnetic reconnection research has been to explain why observed reconnection rates in highly conducting hot plasmas are much faster than predicted by conventional resistive-magnetohydrodynamical models. A novel trend in this field is associated with discovery of the so-called plasmoid (secondary tearing) instability of reconnecting current sheets (CS). This instability breaks an initially elongated CS into a large number of separate magnetic islands (plasmoids), nonlinear evolution of which makes the rate of magnetic reconnection much faster.

Theoretical analysis of this process requires self-consistent description of the CS evolution and stability, which, in general, is quite a complicated task. Here we demonstrate how this problem can be solved for the case when reconnection in an otherwise MHD stable magnetic configuration is triggered by some external perturbation of the system (hence, the name "forced" magnetic reconnection).

Then, the reconnection scenario is determined by two threshold values for the amplitude of the external perturbation. If the latter is small enough and does not exceed the lower threshold, the reconnection proceeds in the linear slow mode. In the intermediate case the well-known Rutherford regime of slow nonlinear reconnection takes place. Finally, when the perturbation is strong enough to exceed the upper threshold, the plasmoid instability comes into play, paving the way to fast magnetic reconnection.

МЕХАНИЗМЫ УСКОРЕНИЯ ЧАСТИЦ В ТОКОВОМ СЛОЕ ХВОСТА МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Е.И. Жукова¹, В.Ю. Попов^{2,1,3}, Х.В. Малова^{4,1}, Е.Е. Григоренко¹

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

²Физический факультет МГУ, Москва, Россия

³Финансовый Университет при Правительстве РФ, Москва, Россия

⁴НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

В рамках численной модели исследовано ускорение частиц плазмы в процессе магнитных диполизаций (скачкообразных изменений магнитного поля) хвоста магнитосферы Земли, сопровождаемых сильной плазменной турбулентностью. Рассмотрены отдельные вклады каждого из механизмов (диполизация, турбулентность и их совместное действие) на ускорение частиц трех сортов: электронов, протонов, и тяжелых ионов кислорода. Построены степенные энергетические спектры ускоренных частиц с начальным максвелловским распределением. Показано, что результаты теоретической модели согласуются с экспериментальными данными, полученными спутниками Cluster. Продемонстрировано, что турбулентность способствует дополнительной энергизации частиц плазмы, ускоряющихся индуктивным электрическим полем во время магнитных диполизаций, что важно для интерпретации наблюдательных данных во время магнитосферных возмущений и перестройки магнитосферного хвоста.

НАБЛЮДЕНИЕ ЭНЕРГИЧНЫХ ЧАСТИЦ, УСКОРЕННЫХ ДО НЕСКОЛЬКИХ МЭВ В ОКРЕСТНОСТИ ПЕРЕСОЕДИНЯЮЩИХСЯ ТОКОВЫХ СЛОЕВ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ

О.В. Хабарова¹, G.P. Zank²

¹*ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, habarova@izmiran.ru*

²*Center for Space Plasma and Aeronomic Research (CSPAR),
University of Alabama in Huntsville, Huntsville, AL 35805, USA*

Представлено доказательство комбинированного ускорения энергичных протонов и электронов до нескольких МэВ в окрестности токовых слоев в солнечном ветре, испытывающих магнитное пересоединение. Пересмотрены результаты ключевой работы Gosling et al. JRL, 2005, в которой утверждалось отсутствие заметного ускорения частиц рядом с пересоединяющимися токовыми слоями в солнечном ветре на 1 а.е. Анализ данных всех детекторов КА ACE показал, что случаи, рассмотренные в работе Gosling et al. 2005, ассоциировались с более интенсивными потоками энергичных частиц, наблюдавшихся в течение гораздо более длительного времени, чем ожидалось в Gosling et al. 2005 при предположении пересоединения Петчековского типа. Результаты подкреплены статистическим анализом 127 случаев наблюдения пересоединяющихся токовых слоев на 1 а.е., подтверждающим выраженное ускорение частиц, наблюдающееся +/- 1 день в окрестности таких токовых слоев (использован полный список reconnection exhaust events, составленный J. Gosling). Предполагается, что изначальное ускорение пересоединением дополняется удержанием частиц и их ускорением в мелкомасштабных магнитных островах, присутствующих рядом с сильными токовыми слоями. Дополнительное ускорение происходит в рамках моделей и наблюдений Zank et al. ApJ, 2014, 2015; Khabarova et al. ApJ, 2015, 2016.

МГД-МОДЕЛЬ ВЫСОКОШИРОТНОГО ТОКОВОГО СЛОЯ В ГЕЛИОСФЕРЕ

Р.А. Кислов¹, О.В. Хабарова², Х.В. Малова^{1,3}

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия, kr-rk@bk.ru

²ИЗМИРАН, г.Москва (г.Троицк), Россия

³Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, НИИ
ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Отдел излучений и вычислительных
методов, г.Москва, Россия

Построена аналитическая МГД — модель квазистационарного конусообразного токового слоя, который был обнаружен по данным Ulysses над южным полюсом Солнца. В рамках модели удаётся описать основные черты наблюдаемой структуры: резкое увеличение по сравнению с окружающим солнечным ветром магнитного поля, концентрации плазмы, электрического поля, температуры, а также провала в величине скорости солнечного ветра и плазменного бета. Происхождение данной токовой структуры является ещё не решённой проблемой, однако из наблюдений известно, что токовый слой является долгоживущим, наблюдался в различные годы, и схожая “магнитная труба” меньших размеров была обнаружена одновременно с токовым слоем в солнечной короне.

секция ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И ХАОС

ПЕРЕМЕЖАЕМОСТЬ ПОТОКА ПЛАЗМЫ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ВБЛИЗИ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН

**М.О. Рязанцева¹, Л.С. Рахманова¹, В.П. Будаев^{1,2}, Н.Л. Бородкова¹,
Г.Н. Застенкер¹, Я. Шафранкова³, З. Немечек³, Л. Прех³, А. Питна³, Ф. Немец³**

¹ФГБУН Институт Космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г.Москва, Россия, orearm@gmail.com

²Российский Научный центр «Курчатовский Институт» (РНЦ КИ), г.Москва,
Россия

³Charles University in Prague, Czech Republic

Рассматриваются свойства турбулентных флуктуаций параметров плазмы солнечного ветра (СВ) вблизи межпланетных ударных волн (МУВ) по данным измерений прибора БМСВ (эксперимент Плазма-Ф), установленного на спутнике СПЕКТР-Р. Проведено сравнение функций распределения мелкомасштабных флуктуаций плазмы СВ и их статистических характеристик (структурных функций и моментов их высших порядков) вверх и вниз по потоку относительно фронта МУВ, выявлены отличия от функции распределения Гаусса. Проведено сравнение характеристик турбулентности плазмы полученных в экспериментальных наблюдениях СВ с характеристиками соответствующими различным статистическим моделям турбулентности. Показано, что уровень перемежаемости в СВ либо возрастает после прихода МУВ либо остаётся неизменным. При этом скейлинги структурных функций для плазменных измерений в потоке СВ после прихода МУВ в большей степени (по сравнению со скейлингами структурных функций по измерениям в потоке перед фронтом МУВ) отличаются от скейлингов классической Колмогоровской модели, и могут быть успешно описаны с помощью Лог-Пуассоновской модели турбулентности. Использование этой модели для параметризации скейлингов структурных функций выявило наличие филаментарных структур в плазме СВ как до так и после прихода МУВ. Детальный анализ структурных функций высших порядков демонстрирует расширенное самоподобие турбулентного потока плазмы вверх и вниз по потоку относительно фронта МУВ.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ТОКИ, ИНДУЦИРОВАННЫЕ ИОННО-ЗВУКОВЫМИ СОЛИТОНАМИ В ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ ПЛАЗМЕ

Ф.М. Трухачев, А.В. Томов

*Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Беларусь, ftru@mail.ru
Могилевский государственный университет, г. Могилев, Беларусь*

В работе [1] была построена и детально проанализирована МГД модель переноса заряженных частиц электрическим полем ионно-звуковых солитонов. Было показано, что токи, индуцированные солитонами, имеют вид однополярных импульсов, выполнена оценка временного разрешения измерительной аппаратуры, необходимого для регистрации таких импульсов в космической плазме. Показано, что среднее значение ионного тока, обусловленного движением ансамбля солитонов, по величине сопоставимо с током, создаваемым пучками ионов. В работе [1] рассчитаны параметры переноса только для холодных частиц. В данной работе проведен расчет основных параметров токов, обусловленных движением горячих популяций заряженных частиц в электрическом поле ионно-звуковых солитонов. Как правило, электрическое поле ионно-звукового солитона является медленно движущейся потенциальной ямой для электронов. В простейшем случае можно считать, что электроны имеют распределение Больцмана. Такая ситуация может реализоваться в столкновительной плазме. В бесстолкновительной плазме важную роль в формировании солитонов играют захваченные частицы, которые во многом определяют параметры солитонов. Космическую плазму в большинстве случаев можно считать бесстолкновительной.

В настоящей работе, на основе уравнений Власова-Пуассона [2] и МГД уравнений рассчитаны основные параметры электронных токов, индуцированных ионно-звуковыми солитонами в двухкомпонентной плазме с горячими электронами и холодными ионами. Показано, что электронный ток, также как и ионный, имеет импульсную структуру со значительной постоянной составляющей. Проведены оценки пространственного и временного разрешения токоизмерительного оборудования космических аппаратов необходимого для регистрации структуры таких токов в космосе. Показано, что токи, индуцированные группой солитонов необходимо учитывать при анализе процессов переноса в космической плазме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трухачев Ф.М., А.В. Томов. Электрические токи в плазме, индуцированные солитонами // Космические исследования, Том 54, №5, - 2016. – С. 377 – 383.
2. Алешин И.М., Д.В. Перегудов. Некоторые новые свойства сильно нелинейного ионного звука // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон. 2000. № 1. - С. 8 – 11.

ГРАФОДИНАМИКА АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ, ДИСКРЕТНЫЙ ЛАПЛАСИАН И ВСПЫШКИ

Н. Макаренко¹, А. Лукьянов², И. Князева¹

¹ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, ng-makar@mail.ru

²Ярославский государственный университет, г. Ярославль, Россия

Основой предсказания вспышечной активности считаются существенные изменения наблюдаемой сложности магнитных паттернов активных областей (АО). Для количественного описания пространственной сложности полей используют арифметизацию богатой наблюдательной феноменологии вспышек. Ее дополняют характеристиками магнитного поля, которыми можно наделить структуры магнитограммы, исходя из теоретических соображений. Полученное таким способом число параметров сложности для SDO/HMI магнитограмм достигает величины 30 и более. Однако, пространство признаков с такой высокой размерностью обладает неприятными свойствами концентрации меры. Так, любой нелинейный AR предиктор, как случайная функции большого числа слабо связанных переменных, почти наверное, будет мартингалом, т.е. будет совпадать с своим средним. Эффективность прогноза «по мартингалу» не превысит оценок, ожидаемых на основе вспышечной истории различных морфологических классов АО. Собственно этот результат и получается в большинстве публикаций. В этой работе мы используем, в качестве признаков, экстремальные точки наблюдаемой скалярной компоненты магнитного поля. При этом, максимумы и минимумы поля вычисляются в Scale-Space, для диффузного образа магнитограммы, полученного последовательными свертками с гауссовским ядром. Такой подход эквивалентен решению второй краевой задачи и позволяет получить корректные оценки Лапласиана для так называемого бета-устойчивого масштаба сглаживания. Экстремумы поля, которые содержатся в Лапласиане, используются как вершины критической сети. Критическая сеть это граф, полученный соединением каждого минимума поля в диффузном образе, с ближайшими максимумами. Граф изменяется при эволюции АО, и кодирует ее динамику перестройкой своей симплициальной структуры. Количественное описание графодинамики АО можно получить методами спектральной геометрии, т.е. вычислением спектра собственных значений матрицы Лапласа (дискретного Лапласиана) для графа. В определенном смысле, полный спектр позволяет «услышать» форму графа, т.е. восстановить его в рамках обратной задачи. Мы использовали только разность первых двух собственных значений, так называемый спектральный зазор, для описания вспышечных режимов АО. На примере нескольких вспышечных АО мы показываем связь спектра критической сети с вспышечной активностью.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

секция ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЦА

ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ПЯТЕННЫХ И МЕЖПЯТЕННЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ ИСТОЧНИКОВ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ СОЛНЦА

В.Е. Абрамов-Максимов, И.А. Бакунина

*Национальный Исследовательский Университет Высшая Школа Экономики,
НИУ ВШЭ, г.Нижний Новгород, Россия, rinbak@mail.ru*

В работе рассматриваются колебания микроволнового излучения активных областей (АО) Солнца с периодами в несколько десятков минут по наблюдениям на радиогелиографе Нобеля на частоте 17 ГГц, а также колебания магнитного поля на уровне фотосферы по данным SDO/HMI. Сопоставлены колебания магнитного поля пятен, микроволнового излучения источников над пятнами и колебания радиоизлучения межпятенных источников. В одном из рассмотренных случаев выявлена задержка в 15-20 минут цуга колебаний излучения межпятенного источника по отношению к колебаниям магнитного поля пятна.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АРКАДЫ ВСПЫШЕЧНЫХ ПЕТЕЛЬ

Л.В. Филатов¹, В.Ф. Мельников²

¹Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Россия

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Согласно представлениям стандартной модели двухленточных вспышек на Солнце, зарождение вспышечных петель происходит в токовом слое, в зоне пересоединения магнитных силовых линий, с последующим их сжатием до некоторого стабильного состояния в нижней части короны. Процесс пересоединения продолжителен во времени и в ходе вспышки возникает последовательность сжимающихся магнитных петель, расположенных друг над другом.

Ранее нами исследовалась динамика распределения радиояркости одиночной сжимающейся вспышечной петли (Filatov, Melnikov A&G 2013). В настоящей работе мы рассмотрели динамику интегральных характеристик радиоизлучения образующейся в ходе вспышки аркады вспышечных петель. Сохраняя подход к моделированию каждой вспышечной петли как одномерной магнитной ловушки с инжектированными в нее быстрыми нетепловыми электронами, при моделировании излучения учитывались процессы переноса электронов вдоль ловушки и их высыпание через конус потерь, ускорение бетатронным механизмом и механизмом Ферми, процессы кулоновского рассеяния на частицах фоновой плазмы. В результате такого моделирования удалось объяснить часто наблюдаемые случаи появления максимумов радиояркости в вершинах вспышечных петель. Также становится понятным происхождение аномально больших (минута и более) задержек между временными профилями микроволнового излучения из вершины и оснований вспышечных петель, наблюдаемых на радиогелиографе Нобеяма.

ИЗМЕНЕНИЯ КОНФИГУРАЦИИ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ СОЛНЦА ПЕРЕД БОЛЬШИМИ ВСПЫШКАМИ

А.Г. Тлатов, В.Е.Абрамов-Максимов, В.Н.Боровик
ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрена эволюция активных областей перед большими солнечными вспышками (класса M5 и выше по рентгеновской классификации). Для описания эволюции сконструированы индексы, в которых входит параметр, обратно пропорциональный расстоянию между разнополярными магнито-связанными областями. Представлено исследование ряда активных областей (АО) на Солнце, наблюдавшихся в 2010-2015 гг. Анализ проводился на основе наблюдений космической обсерватории HMI/SDO, взятых со скважностью 1 час. Рассмотрены индексы, в которых входит расстояние между областями вычислялось (а) между границами, по пороговому магнитному полю ($\sim \pm 500$ Гс), а также (б) длина силовых линий магнитного поля, вычисленная в потенциальном приближении. Подтверждено, что вспышки происходят в период уменьшения значений таких параметров, после прохождения локального максимума. Таким образом, перед большими солнечными вспышками наблюдается взаимное сближение разнополярных областей, а затем их достаточно быстрое (на интервале 1-10 часов) взаимное удаление.

СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАЗ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ КАТАЛОГА СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ СОБЫТИЙ 23 ЦИКЛА СА

В.Н. Ишков, Л.П. Забаринская, Н.А. Сергеева
*ИЗМИРАН, г. Москва, Троицк, Россия, ishkov@izmiran.ru,
ГЦ РАН, г. Москва, Россия*

Развитие исследований солнечных активных явлений в эру космических исследований потребовало систематизации данных о вспышках солнечных космических лучей, выявление источников и изучение последствий воздействия активных процессов на Солнце на околоземное космическое пространство. Особое значение имеет однородное представление информации о солнечных протонных событиях (СПС). Эту задачу рационально решать созданием серии однотипных каталогов, охватывающих продолжительные временные интервалы. Представляемая последовательность каталогов (6 отдельных выпусков) уже охватывает период с 1970 по 2009 годов (19 – 23 циклы солнечной активности) и будет продолжен на 24 цикл и, надеемся, все последующие циклы. В Каталогах собраны и систематизированы данные о СПС с генерацией протонов, для которых максимальный поток протонов с энергией $E_p > 10$ МэВ превышал значение $J_p \geq 1 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1} (\text{pfu})$. Во всех выпущенных каталогах принята одинаковая основа представления информации, которая, правда, расширяется от выпуска к выпуску, что неотвратимо из-за получаемых более полных и разнообразных данных о солнечных космических лучах, большего числа космических аппаратов и более совершенной исследовательской аппаратуры. Последний Каталог содержит данные о солнечных протонных событиях (СПС) 1996 – 2008 г. Таких событий в 23-м цикле солнечной активности оказалось 142. Кроме данных о потоках протонов, измеренных несколькими космическими аппаратами, в Каталоге приведены сведения об источниках частиц и о связанном с данным событием электромагнитном излучении во всём доступном наблюдениям диапазоне. Для каждого события приведен интегральный энергетический спектр зарегистрированных протонов в максимуме временного профиля интенсивности. В отличие от предыдущих Каталогов каждое событие теперь иллюстрируется обзорными графиками рентгеновского излучения, потоков электронов и протонов, скорости солнечного ветра, напряженности межпланетного магнитного поля и Dst-вариаций в околоземном космическом пространстве во временном интервале, охватывающем данное событие. Большой объём информации, собранный в последнем Каталоге потребовал использовать современные методы оформления, для удобства перехода к отдельным частям «Описания» Каталога, обращения к любому протонному событию, включённому в данный Каталог, быстрому возврату к странице «Содержание» и быстрого поиска нужных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Логачёв Ю.И., Г.А. Базилевская, Э.В. Вашенюк, Е.И. Дайбог, В.Н. Ишков, Л.Л. Лазутин, Л.И. Мирошниченко, М.Н. Назарова, И.Е. Петренко, А.Г. Ступишин, Г.М. Сурова, О.С. Яковчук. Каталог солнечных протонных событий 23-го цикла солнечной активности (1996–2008 гг.). ESDBrepository, ГЦ РАН, Москва, doi: 10.2205/ESDB-SAD-P-001-RU.
2. http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/Catalog_SPE_23_cycle_SA.ru.pdf,
http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/Catalog_SPE_23_cycle_SA.pdf (Англоязычная версия)

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ КРИВЫЕ СИБИРСКОГО РАДИОГЕЛИОГРАФА

В.С. Кобец, С.В. Лесовой

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Россия, svlesovoi@gmail.com

Сибирский солнечный радиотелескоп находится в стадии модернизации. Цель модернизации – изменить текущий принцип формирования изображения, за счет частотного сканирования и вращения Земли, на апертурный синтез и получить рабочий диапазон частот 4-8 ГГц. В настоящее время запущена первая очередь модернизированного радиотелескопа – Сибирского Радиогелиографа. В настоящий момент радиогелиограф состоит из 48-антенной Т-образной решетки и приемной системы обеспечивающей апертурный синтез. Один из видов данных Сибирского Радиогелиографа это корреляционные кривые (badary.iszf.irk.ru/srhCorrPlot.php). Такого рода данные гелиографов, ведущих регулярные наблюдения, очень информативны и публикуются наряду с изображениями Солнца. Корреляционные кривые получают путем суммирования комплексных коэффициентов корреляции, получаемых различными парами антенн. Можно рассматривать каждую точку такой кривой, как интеграл по пространственному спектру наблюдаемого объекта. Пределы интегрирования (суммирования) определяются задачей. Для получения динамики только компактных объектов, суммируются значения высоких гармоник пространственного спектра. Для получения максимальной чувствительности суммируется весь спектр. Характерная особенность корреляционных кривых – высокая чувствительность во всем диапазоне частот 4-8 ГГц. Уверенно фиксируются, ранее недоступные для исследования в микроволновом диапазоне, всплески с потоком до 10^{-4} от полного потока Солнца. В докладе показано, что представляют собой корреляционные кривые и как их можно интерпретировать.

САМОФОКУСИРОВКА ТЕПЛА ВО ВРЕМЯ ВСПЫШЕЧНОГО НАГРЕВА С УЧЕТОМ ЛУЧИСТОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

В.А. Ковалев¹, Е.С. Куркина², Е.Д. Куретова²

¹ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, vic.kov@yandex.ru

²МГУ им.М.В.Ломоносова, факультет ВМК, г. Москва, Россия

На основании решения уравнения теплопроводности показано, что охлаждение, уменьшающееся с ростом температуры, приводит к локализации (“самофокусировке”) тепла во время нагрева. Соответствующие модифицированные условия получены для обобщенного источника, представленного в виде разности степенных функций нагрева и охлаждения. Применительно к солнечной вспышке получены решения уравнения энергии, в котором учтена известная немонотонная функция лучистого охлаждения. Вспышка рассматривается как результат тепловой неустойчивости плазмы магнитной трубки в стационарной точке, в которой нагрев уравнивается охлаждением. В результате возникают структуры с сокращающейся полушириной области интенсивного энерговыделения, что приводит к уменьшению фактора заполнения излучающего объема горячей плазмой и проявляется как эффект уменьшения меры эмиссии, наблюдаемый на ранней фазе вспышки.

МИКРОСТРУКТУРА МАГНИТНЫХ ТРУБОК И НАГРЕВ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ

В.А. Ковалев

ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, vic.kov@yandex.ru

Рассмотрен механизм нагрева короны до \sim МК в результате диссипации диамагнитного тока в магнитной трубке. Показано, что для поддержания нагрева, компенсирующего большие лучистые потери горячей плазмы, достаточно классической проводимости. Скорость диссипации диамагнитного тока значительно (на несколько порядков) возрастает благодаря возникающей в результате тепловой неустойчивости мелкомасштабной (~ 10 м) ячеистой микроструктуре поперечного сечения магнитной трубки в виде стоячих термомагнитных волн. Области с относительно сильным магнитным полем, разделены областями с повышенным газовым давлением и более слабым магнитным полем. Диамагнитные токи уменьшают магнитное поле в горячих областях на величину избыточного газового давления в них. Охлаждение, уменьшающееся с ростом температуры, способствует локализации (“самофокусировке”) тепла и нагреву плазмы.

СИБИРСКИЙ РАДИОГЕЛИОГРАФ: КАЛИБРОВКА НАБЛЮДЕНИЙ И ПОСТРОЕНИЕ РАДИОКАРТ СОЛНЦА

А.А.Кочанов, С.В.Лесовой, А.Т.Алтынцев, В.В.Гречнев, А.Ю.Федотова
Институт солнечно-земной физики СО РАН, г.Иркутск, Россия,
svlesovoi@gmail.com, kochanov@iszf.irk.ru

В 2016 г. в ИСЗФ СО РАН начаты многоволновые наблюдения Солнца на Сибирском радиогелиографе (СРГ-48). Это открывает новые возможности исследования плазмы и магнитных полей в солнечной короне, ускоренных частиц, эруптивных явлений и других проявлений солнечной активности. Представлены наблюдения Солнца на СРГ-48 в диапазоне 4-8 ГГц. Показаны методики обработки и калибровки первичных данных. Приведены примеры синтезированных радиокарт Солнца на нескольких частотах.

МЕРИДИОНАЛЬНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ КРУПНОМАСШТАБНОГО ПОЛЯ В МИНИМУМЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ЦИКЛА

В.Н. Обридко, Б.Д. Шельтинг

ИЗМИРАН, г.Москва (г.Троицк), Россия, obridko@izmiran.ru

Известно, что полярное поле вблизи минимума цикла коррелирует с высотой следующего максимума числа солнечных пятен. Однако, что влияет на само полярное поле? Есть основание полагать, что здесь важную роль играет взаимодействие полушарий. Одним из индексов связи полушарий может быть меридиональная составляющая крупномасштабного магнитного поля. Для анализа были использованы реконструированные данные о крупномасштабном магнитном поле за 1915-1986 годы. Показано, что при в большинстве циклов таким образом удастся описать не только высоту, но и общий ход цикла с заблаговременностью около 6 лет. По современным данным с 1976 по 2016 годы такая связь подтвердилась, однако более перспективным оказался параметр отношения меридионального поля к полной абсолютной величине вектора поля на высоте около 70 Мм над фотосферой. Оценка даты предстоящего минимума - середина 2018 года.

О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА ЭФФЕКТА ЗЕЕМАНА ПРИ ПОИСКЕ ЛИНИИ НЕЙТРАЛЬНОГО ВОДОРОДА В МИКРОВОЛНОВОМ ИЗЛУЧЕНИИ СОЛНЦА

Н.Г. Петерова¹, А.Ф. Дравских¹, Н.А. Топчило²

¹СПбФ САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, peterova@yandex.ru

²СПб ГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

В сложном спектре излучения Солнца линия атомарного водорода ($H_{3.04}$) на частоте 9850 МГц (3.04 см), связанная с переходом $2^2P_{3/2} - 2^2S_{1/2}$ между уровнями тонкой структуры нейтрального водорода, занимает особое место. Это практически единственная линия водорода, которую в радиодиапазоне можно ожидать в излучении Солнца. Впервые на перспективность наблюдений Солнца в линии $H_{3.04}$ было указано в 1952 г. Уайлдом, которым был рассчитан профиль линии (триплет), выполненный в рамках модели “спокойного” Солнца, характеризующегося слабым магнитным полем (несколько Гс). Мы предлагаем расчеты профиля линии с учетом сильных магнитных полей в активных областях Солнца (сотни Гс) и показываем, что эффект Зеемана приводит к расщеплению линии на ряд дополнительных компонент, зависящих от величины и направления магнитного поля, и значительному изменению вида профиля линии в целом. Возможно вследствие этого, результаты поиска линии $H_{3.04}$ не позволяют до сих пор уверенно заявить об ее обнаружении. Приведены новые результаты наблюдений Солнца на радиотелескопе РАТАН-600 в диапазоне образования линии $H_{3.04}$ и их анализ с учетом эффекта Зеемана.

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРОГРАММ HMI/SDO ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ В НИЖНИХ СЛОЯХ СОЛНЕЧНОЙ АТМОСФЕРЫ С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

И.Н. Шарыкин^{1,2}, А.Г. Косовичев^{3,4}, И.В. Зимовец^{1,5,6}, В.М. Садыков³

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук,
г. Москва, Россия, ivan.sharykin@phystech.edu

²Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения
Российской академии наук, г. Иркутск, Россия

³New Jersey Institute of Technology, Newark, USA

⁴New NASA Ames Research Center, Mountain View, California, USA

⁵National Key Laboratory of Space Weather, National Space Science Center,
Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

⁶International Space Science Institute, Beijing, China

Исследуется солнечная вспышка X класса, произошедшая 23 октября 2012 года в 03:15 UT. Во время данного события было зарегистрировано гелиосейсмическое возмущение («солнцетрясение») с помощью прибора Helioseismic Magnetic Imager (HMI) на борту космической обсерватории Solar Dynamics Observatory (SDO), что указывает на сильное энерговыделение в нижних слоях солнечной атмосферы. HMI также зарегистрировал интенсивное излучение в видимом свете из источников в виде лент во время импульсной фазы вспышки. Главной целью работы является исследование вспышечного энерговыделения в нижних слоях солнечной атмосферы в выбранном событии с высоким пространственным и временным разрешением. Это необходимо для того, чтобы сравнить динамику излучения фотосферных источников в области генерации солнцетрясения с временным профилем потока жесткого рентгеновского излучения по данным Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI). В исследовании используются фильтрограммы HMI (level-1 данные), имеющие скважность по времени 3,6 секунд. На примере рассматриваемого события демонстрируется метод работы с такими данными. В результате сравнения фильтрограмм HMI с временными профилями темпа счета RHESSI показана временная задержка между высыпанием ускоренных электронов в хромосферу и фотосферным излучением. Пик жесткого рентгеновского излучения предшествует пику фотосферного излучения по данным HMI. Величина задержки составляет примерно 10 секунд и соответствует предсказаниям численного моделирования.

ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА ПРИЭКВАТОРИАЛЬНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ СОЛНЦА

Л.И. Старкова

ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, starkova@izmiran.ru

Изучены временные изменения свойств подфотосферного источника приэкваториальных активных областей. Анализировались долгоживущие активные области NOAA 7870 и NOAA 7882 с использованием синоптических карт обсерватории Kitt Peak. В качестве индикатора положения магнитного источника принимались координаты места максимальной напряженности магнитного поля по каждому кэррингтоновскому обороту. Сама величина напряженности рассматривалась как отражение мощности изучаемого источника. Временные изменения отмеченных параметров проявили колебательные свойства с периодом 70 - 80 суток. Были обнаружены временные совпадения между локальными минимумами мощности источника и пиковыми величинами скорости его вращения. Найденные особенности вариации указанных параметров позволяют оценить условия колебания источника активной области. В случае преимущественно радиальных перемещений магнитного источника средняя скорость составляет ~ 5 м/с и колебания происходят от уровня на глубине 35 тыс. км под фотосферой.

ВЛИЯНИЕ АНОМАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА ПОВЕДЕНИЕ ИНДЕКСА Fe/O В МИНИМУМЕ СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

Г.С. Минасянц¹, Т.М. Минасянц¹, В.М. Томозов²

¹Астрофизический институт им.В.Г.Фесенкова НАН РК (АФИФ), г. Алматы, Казахстан, genpadii_minasya@mail.ru

²Институт солнечно-земной физики СО РАН (ИСЗФ), г. Иркутск, Россия, tom@iszf.irk.ru

Используя наблюдательные данные, полученные на космических аппаратах ACE и WIND, построены энергетические спектры ионов кислорода и железа в периоды отсутствия пятен на Солнце в минимуме 23-го цикла. С их помощью для восьми отдельных участков энергии от 0.06 до 192.39 МэВ/н, рассчитаны значения отношения Fe/O в спокойном солнечном ветре. Описаны источники энергичных частиц различной природы, определяющие физические условия в солнечном ветре в период минимума активности. Действие аномальной компоненты космических лучей в диапазоне низких энергий $\sim 2-30$ МэВ/н приводит к усилению интенсивности потоков ионов с высоким первым потенциалом ионизации - FIP (H, He, N, O), а элементы с низким FIP (C, Mg, Si, Fe), показывают ослабление потоков. Минимальные значения индекса $Fe/O = 0.004$ и 0.010 при энергии ионов $E_{kc} = 5.3$ и 13.0 МэВ/н, соответственно, хорошо объясняются влиянием аномальной компоненты космических лучей.

АНАЛИЗ СПЕКТРА МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗАЛИМБОВОЙ ВСПЫШКИ 1 СЕНТЯБРЯ 2014 г.

М.С. Торопова, Л.К. Кашапова

ИГУ, ИСЗФ, г. Иркутск, Россия, locle@mail.ru

Солнечные вспышки, произошедшие на обратной стороне Солнца и сопровождающиеся очень быстрыми корональными выбросами и мощными событиями солнечных космических лучей, представляют интерес как для исследователей физики солнечных эруптивных событий, так и для тех, кто занимается явлениями космической погоды. Примером такого события является вспышка 1 сентября 2014 года, произошедшая в активной области с координатами N14E126 (Pesce-Rollins et al., 2016). В данном событии был зарегистрирован необычно высокий уровень микроволнового излучения на частотах до 16 ГГц, что необычно для такого типа событий. Pesce-Rollins et al (2016) выдвинули гипотезу о том, что частицы были ускорены на ударных волнах коронального выброса и вынесены этими волнами на видимую поверхность Солнца. Eoin & Vilmer (2016) сделали предварительные оценки магнитного поля, предполагая, что микроволновое излучение имеет гиротронную природу, принадлежит корональному выбросу и формируется в нижней короне Солнца. Задачей данной работы является оценка магнитного поля на основе моделирования спектра микроволнового излучения с помощью программы GX_Simulator (Nita et al., 2005). В качестве параметров тепловой вспышечной плазмы используются стандартные значения (температура, плотность). Параметры ускоренных частиц (спектральный индекс, плотность потока ускоренных электронов) были оценены на основе результатов, полученных в работе (Pesce-Rollins et al., 2016). Для расчетов было использовано магнитное поле, полученное из магнитограмм HMI/SDO. Результаты моделирования сравниваются с наблюдавшимся микроволновым спектром и обсуждаются с точки зрения различных гипотез его возникновения.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ФОТОСФЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В 21 - 23 СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛАХ

Е.С. Вернова¹, М.И. Тясто¹, Д.Г. Баранов²

¹СПб филиал ИЗМИРАН, г. С.-Петербург, Россия; helena@EV13934.spb.edu

²ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. С.-Петербург, Россия

Исследованы группы фотосферных магнитных полей, отличающихся по напряженности, по данным синоптических карт обсерватории Китт Пик. Широтные профили магнитных полей (зависимость магнитного потока от гелиошироты) рассмотрены на основе усредненных за период 1976 - 2003 гг. синоптических карт отдельно для каждого интервала напряженности шириной 5 Гс (0 - 5 Гс, 5 - 10 Гс и т.д.). Обнаружены характерные гелиошироты (5°, 40°, и 60°), разделяющие области локализации магнитных полей разной величины. Наиболее значительные изменения широтной структуры магнитных полей наблюдаются для относительно слабых полей (меньше 50 Гс). Широтные распределения более сильных полей практически не зависят от интенсивности и определяются доминирующим вкладом полей солнечных пятен. Самые слабые поля (меньше 5 Гс) по локализации и временным изменениям находятся в противофазе с более сильными полями. Совершенно особый вид имеет широтный профиль полей с напряженностью $5 < B < 10$ Гс: магнитный поток практически не изменяется от -60° до $+60^\circ$ и резко возрастает к полюсам. Если рассмотреть вклад магнитных полей разной интенсивности в общий поток магнитного поля Солнца, то именно группа 5 - 10 Гс будет иметь наибольшее значение потока. Полученные результаты свидетельствуют о том, что широтное распределение магнитных полей существенно изменяется при определенных значениях напряженности поля: 5 Гс, 15 Гс и 50 Гс. Магнитный поток для различающихся по напряженности групп полей монотонно падает с ростом напряженности, при этом потоки южного полушария превосходят потоки северного полушария.

О ПЕРЕНОСЕ ВОЛНОВОЙ ЭНЕРГИИ НИЗКОЧАСТОТНЫМИ МГД МОДАМИ В НЕИЗОЛИРОВАННЫХ МАГНИТНЫХ ТРУБКАХ НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЫ СОЛНЦА

Ю.Т. Цап, Ю.Г. Копылова

НИИ «КРАО», Крым, пгт Научный, Россия

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, yur_crao@mail.ru

Считается, что нагрев верхней атмосферы Солнца и звезд происходит либо в результате диссипации квазистационарных электрических токов, либо вследствие затухания МГД волн, генерируемых конвективными движениями плазмы. В последнем случае магнитные трубки выступают в качестве волноводов, обеспечивающих эффективную передачу механической энергии из фотосферы в хромосферу и корону Солнца. В представленной работе на основе линейного приближения рассмотрены особенности распространения низкочастотных (с периодами большими несколько десятков секунд) МГД мод в неизолированных тонких магнитных трубках. Приведены оценки групповой скорости собственных мод, а также скорости роста их амплитуд с высотой. Показано, что крутильные и изгибные МГД волны переносят волновую энергию наиболее эффективно. Обсуждены следствия полученных теоретических результатов и их связь с наблюдениями.

ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОГО АНАЛИЗА РЕНТГЕНОВСКИХ И РАДИО ИЗОБРАЖЕНИЙ ВСПЫШКИ 10 НОЯБРЯ 2002 г.

А.Н. Шабалин¹, Ю.Е. Чариков¹, С.А. Кузнецов^{2,3}

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия,
taoastronomer@gmail.com

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
г. Санкт-Петербург, Россия

³НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

Для моделирования процесса ускорения электронов во время вспышек чрезвычайно важным является определение питч-угловой и энергетической зависимостей функции распределения электронов. Непосредственно из наблюдений это сделать в настоящее время не удастся. Поэтому необходимо проводить численное моделирование процесса распространения ускоренных электронов в магнитном поле вспышечной петли (петель), рассчитывать рентгеновское и радиоизлучение. В работе, на примере вспышечного события 10 ноября 2002г., получено качественное и количественное совпадение моделируемых рентгеновских и радио карт с наблюдаемыми на спутнике RHESSI в диапазоне 30 кэВ – 2 МэВ и радиогелиографе Нобеяма на частотах 17 и 34 ГГц, в модели с параметрами в узком диапазоне, а именно: анизотропного источника электронов в вершине петли с питч-угловой зависимостью $S(\alpha) = \cos^8(\alpha)$, энергетического спектра, состоящего из двух популяций электронов, где низкоэнергетичная часть до переходной области 350–420 кэВ характеризуется наклоном спектра с показателем $\delta_1 = 2.7\text{--}2.9$, выше 420 кэВ спектр по энергиям более жесткий с $\delta_2 = 2\text{--}2.3$.

СВЯЗЬ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ И СКОРОСТИ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ С ХАРАКТЕРНЫМИ РАЗМЕРАМИ ЭЛЕМЕНТОВ КРУПНОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА

Е. В. Иванов

ИЗМИРАН, г.Москва (г. Троицк), Россия, ivstp@mail.ru

Исследована связь между изменениями энергии и линейной скорости корональных выбросов массы с изменениями характерных размеров элементов крупномасштабной структуры магнитного поля Солнца (КМПС) за 1996-2014 годы. Показано, что для Солнца с его крупномасштабной структурой магнитного поля (КМПС) и интенсивностью магнитных полей, как правило, не превышающих 4000-6000 Гс, существует вполне определённый предел энергии корональных выбросов массы (КВМ), определяемый произведением максимальной интенсивности магнитного поля в области, занятой комплексом активных областей, на площадь этого комплекса. Поскольку объединённые в комплексы активные области возникают на границах структурных элементов КМПС, максимальная площадь комплекса активных областей (АО) определяется характерными размерами элементов КМПС. При росте индекса эффективного солнечного мультиполя n , определяющего характерные размеры элементов КМПС, до значений $n \sim 4.0$ (и соответствующем уменьшении размеров элементов КМПС) условия для объединения активных областей в комплексы становятся всё более благоприятными в результате чего размеры комплексов АО растут, достигая своих максимальных значений при $n \sim 4.0-4.4$. Далее при росте n от $n \sim 4.4$ до $n \sim 4.6$ и более (и соответствующем уменьшении характерных размеров элементов КМПС) размеры комплексов АО начинают уменьшаться, что приводит к соответствующему уменьшению энергии КВМ. Наиболее отчетливо зависимость линейной скорости и энергии КВМ от величины индекса n проявилась именно в 24-м цикле активности с его аномально большими значениями индекса n и соответственно аномально малыми характерными размерами структурных элементов КМПС.

МАГНИТНОЕ СОЛНЦЕ И ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ: ЦИКЛ 13.5 СУТОК

В.А. Котов

КрАО РАН, п. Научный, Бахчисарайский р-н, Крым, Россия, vkotov@craocrimea.ru

В течение почти полвека в КрАО регулярно измерялось общее магнитное поле Солнца, – уникальный эксперимент, поддержанный шестью другими обсерваториями. В результате за 49 лет (1968 – 2016 гг.) получено более 26 тыс. суточных значений среднего продольного поля фотосферы. Оказалось, что оно пульсировало с периодом $P_G = 13.4577(16)$ сут, игнорируя 11-летний цикл и дифференциальное вращение Солнца (амплитуда 0.13 Гс). Это заставляет считать “магнитную пульсацию” P_G основой *солнечного секторного магнетизма*.

Для объяснения явления рассмотрены движения (сидерические) планет и массивных спутников. С достоверностью 8 σ показано, что наилучший соизмеримый (резонансный, или “синхронизирующий”) период планетной системы равен 13.4577(10) сут, что совпадает с P_G . Выдвинута гипотеза, что резонанс “Солнце-система” вызван когерентными, с периодом P_G , колебаниями гравитационного поля внутри системы.

О ПРОБЛЕМЕ “ЯРКОГО МОЛОДОГО СОЛНЦА”

Ю.В. Думин

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, dumin@yahoo.com

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

Одной из актуальных проблем современной солнечно-земной физики является так называемый парадокс “тусклого молодого Солнца”, состоящий в том, что светимость Солнца на ранних стадиях его эволюции (2-4 млрд. лет назад) оказывается недостаточной, чтобы обеспечить благоприятные условия для геологической и биологической эволюции Земли. Для решения этой проблемы предлагаются различные гипотезы (парниковый эффект, выделение геотермальной энергии, эволюция орбиты Земли и т.д.), однако в целом на сегодняшний день вопрос остается открытым.

Цель настоящего сообщения – обратить внимание на тот факт, что при некоторых попытках интерпретации парадокс “тусклого” молодого Солнца вполне может превратиться в парадокс “слишком яркого” молодого Солнца. Конкретно, речь идет о гипотезе Кризека и Сомера о том, что уменьшение светимости Солнца при движении назад по времени может быть скомпенсировано уменьшением радиуса орбиты Земли за счет эффекта локального хаббловского расширения [1,2]. При этом значение локальной постоянной Хаббла $H_0^{(loc)}$ должно составлять примерно 0.5–0.55 от ее глобального (межгалактического) значения H_0 .

То же самое предположение о наличии локального хаббловского расширения позволяет объяснить и ряд других особенностей в эволюции Солнечной системы [2], в частности, в динамике системы Земля–Луна [3,4]; однако при этом необходимо использовать существенно большие значения локальной постоянной Хаббла: $H_0^{(loc)} = (0.65–0.85) H_0$. В результате, орбита Земли должна быть расположена еще ближе Солнцу, чем в модели Кризека–Сомера; и “стандартное” молодое Солнце (с увеличением светимости на 30% с момента его рождения) оказывается уже не тусклым, а слишком ярким для обеспечения благоприятных условий эволюции Земли [5]. В настоящий момент остается неясным, какие коррекции можно было бы предпринять для устранения этого противоречия.

В заключение, любопытно отметить, что более ранние модели солнечной эволюции, развивавшиеся в 1950–60-е годы (см., например, монографию [6], где впервые было указано на существование парадокса “тусклого молодого Солнца”), предсказывали изменение светимости Солнца за время его жизни на 40–60%. В этом смысле, они оказывались в лучшем согласии с космологической гипотезой Кризека–Сомера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Krizek M., *New Astron.*, v.17, p.1 (2012).
2. Krizek M., L. Somer. *Grav. & Cosmol.*, v.21, p.59 (2015).
3. Dumin Yu.V. *Adv. Space Res.*, v.31, p.2461 (2003).
4. Dumin Yu.V. In: *Proc. 11th Marcel Grossmann Meeting on General Relativity*, p.1752 (World Scientific, Singapore, 2008).
5. Dumin Yu.V. *Astron. Tsirkulyar*, v.1623, p.1 (2015).
6. Schwarzschild M. *Structure and Evolution of the Stars* (Princeton Univ. Press, Princeton, 1958).

секция ИОНОСФЕРА

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ СФЕРОИДА В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАСТИ ГЕНЕРАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО ОПТИЧЕСКОГО СВЕЧЕНИЯ ИОНОСФЕРЫ В ЛИНИИ 630 НМ

А.В. Шиндин¹, В.В. Клименко^{1,2}, С.М. Грач¹, Д.А. Когогин³, И.А. Насыров³,
А. Б. Белецкий⁴, Е.Н. Сергеев¹

¹ННГУ, г. Нижний Новгород, Россия, freaз@bk.ru,

²ИГФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия,

³КПФУ, г. Казань, Россия,

⁴ИСЗФ РАН, г. Иркутск, Россия

Представлены предварительные результаты моделирования области генерации искусственного оптического свечения ионосферы в линии 630 нм для решения обратной задачи определения пространственных характеристик области генерации при вертикальном воздействии на нее мощным КВ радиоизлучением стенда «Сура». Используемая модель представляет собой функцию распределения концентрации возбужденных атомов кислорода по пространству в виде трехмерного распределения Гаусса с изоповерхностями в виде сфероидов. Модель имеет 8 свободных параметров: 1) максимальная концентрация; 2) и 3) характерные горизонтальный и вертикальный масштабы распределения; 4) и 5) углы поворота сфероидов вокруг вертикальной и вокруг горизонтальной оси; 6) высота точки над поверхностью Земли с максимальной концентрацией; 7) и 8) географические широта и долгота этой точки. Обратная задача решалась с помощью комбинации методов случайного поиска и Нелдера-Мида.

Данная модель использовалась при обработке данных экспериментов, проведенных 24 и 26 августа 2014 года. В этих экспериментах две высокочувствительных ПЗС-камеры, располагались в пунктах наблюдения на расстоянии ~ 166 км друг от друга. Первый пункт наблюдения располагался в непосредственной близости от передатчиков стенда (56,15° с.ш., 46,10° в.д., р/п Васильсурск, Нижегородская обл.) и был оснащен камерой с полем зрения ~ 20,5°. Второй пункт располагался вблизи г. Зеленодольск (55,93° с.ш., 48,74° в.д., р. Татарстан) и был оснащен камерой с полем зрения ~ 145°.

Предварительный анализ результатов показал, что в этих экспериментах 1) точка с максимальной концентрацией возбужденных атомов всегда находилась приблизительно над передатчиками стенда на высоте 240-260 км вне зависимости от высоты отражения волны накачки; 2) характерный вертикальный масштаб распределения был до двух раз больше, чем характерный горизонтальный масштаб; 3) максимальная концентрация возбужденных атомов находилась в диапазоне (0.2-2)·10³ см⁻³. Моделирование позволяет также определить ориентацию осей вращения сфероида.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-32-60176.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ГЕНЕРАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО ОПТИЧЕСКОГО СВЕЧЕНИЯ ПО ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ (ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА GPS-СИГНАЛОВ) И ОПТИЧЕСКОГО СВЕЧЕНИЯ В ЛИНИИ 630 НМ В ИОНОСФЕРЕ, ВОЗМУЩЕННОЙ МОЩНЫМ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕМ

Д.А. Когогин¹, А.В. Шиндин², И.А. Насыров¹, С.М. Грач², В. О. Дементьев¹

¹ФГАОУ ВПО К(П)ФУ, г. Казань, Россия, dkogogin@kpfu.ru

²ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия, sgrach@rf.unn.ru

В статье представлены результаты синхронных измерений вариаций искусственного свечения ионосферы в красной линии оптического спектра атомарного кислорода (630 нм) и полного электронного содержания (ПЭС) на траектории распространения сигнала навигационного спутника системы GPS. Данные для анализа были получены в период с 2010 по 2016 гг. в экспериментах на стенде «СУРА» при использовании различных режимов воздействия на ионосферу мощным радиоизлучением. Всего в этот период удалось провести 5 синхронных сеансов измерений.

Регистрация сигналов навигационных спутников осуществлялась с помощью ГНС-приёмника «Прего-Т», оптического свечения – с помощью ПЭС камеры S1C-3, оснащенной светосильным объективом HC-2 и соответствующим светофильтром. Приборы были расположены в непосредственной близости от стенда «Сура». Для сопоставления вариаций ПЭС и искусственного оптического свечения использовалась следующая методика: (1) Удаление регулярного тренда вносимого движением спутника из исходной зависимости ПЭС от времени; (2) пространственная и временная привязка изображений ночного неба полученных с помощью ПЭС-камеры и нанесение траектории движения спутника на эти изображения; (3) выделение области искусственного оптического свечения на изображениях ночного неба; (4) расчёт средней интенсивности свечения из области изображения (11×11 пикселей), соответствующей местоположению спутника в данный момент времени и динамики средней интенсивности свечения для реконструированного набора изображений; (5) для улучшения соотношения сигнал/шум вариации ПЭС и оптического свечения усреднялись по нескольким циклам методом наложения эпох.

По результатам анализа показано, что в 3 из 5 случаев при включении волны накачки происходит увеличение интенсивности оптического свечения и уменьшение ПЭС. Отмечено, что подобное соотношение выполняется лишь в случаях, когда выполняется соотношение $f_0 F2 / f_0 > 1$ (где $f_0 F2$ - критическая частота F2 слоя ионосферы; f_0 – частота волны накачки). В случаях же, когда соотношение $f_0 F2 / f_0 \leq 1$ мы наблюдаем обратную картину, с включением волны накачки происходит увеличение ПЭС и уменьшение интенсивности оптического свечения. В одном из экспериментов проведенных 17 марта 2010 года, в течение одного сеанса измерений наблюдались сразу оба эффекта. В первые два цикла воздействия, когда $f_0 F2 / f_0 > 1$, наблюдалось увеличение интенсивности свечения и уменьшение ПЭС, в следующих двух сеансах при достаточно резком уменьшении критических частот, $f_0 F2 / f_0 \leq 1$ мы наблюдали обратную картину, при этом оптическое свечение было крайне слабым. Таким образом, можно сделать вывод, что при достаточно высоких критических частотах ($f_0 F2 - f_0 > 0.2$ МГц), когда уверенно выполняется соотношение $f_0 F2 / f_0 > 1$, областью генерации искусственного свечения является область пониженной электронной концентрации. Анализ процессов происходящих при $f_0 F2 / f_0 \leq 1$ требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (№ 14-12-00706).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шиндин А.В., и др.//Вестник ННГУ. 2012. № 4. С.105-113.

КЛИМАТОЛОГИЯ ВЕТРОВОГО ПОЛЯ НА ВЫСОТАХ 80-100 КМ ПО ДАННЫМ МЕТЕОРНОГО РАДАРА SOD (67°2' N, 26°3' E)

Р.Ю. Лукьянова¹, А.Е. Козловский²

¹*Геофизический Центр РАН, г.Москва, Россия, r.lukianova@gcras.ru*

²*Геофизическая Обсерватория Соданкюля, Финляндия*

По среднечасовым данным измерений отражений от метеорных следов в области авроральной мезосферы-нижней термосферы с помощью метеорного радара SKIYMET, обс. Соданкюля, за период с декабря 2008 по март 2016 гг. построены годовые карты зонального и меридионального ветра в координатах «время-высота». Усредненная картина меридионального ветра состоит из потока (скорость – несколько м/с), направленного в зимний период к северу, и более интенсивного потока летом к экватору. Максимум летнего ветра (~15 м/с) находится несколько ниже мезопаузы. Зональный ветер (~10 м/с) зимой направлен на восток во всем интервале высот. Летом в нижних слоях поток идет на запад, а в верхних – на восток, так что в области мезопаузы наблюдается сдвиг ветра до 50 м/с. Наблюдаемая структура соответствует полярной ветви сезонной межполушарной циркуляции мезосферных ветров. Максимум амплитуды полусуточных приливного ветра (>30 м/с) наблюдается выше 90 км в зимний период. Второй, максимум приходится на август-сентябрь. Суточный прилив примерно в два раза слабее, а максимум амплитуды приходится на лето. В межгодовой изменчивости доминируют зимние внезапные стратосферные потепления. Во время больших потеплений в январе 2009 и 2013 гг. по всей толщине слоя 80-100 км происходит усиление ветра, направленного к северу до 10 м/с. Зональный ветер, направленный на восток, на нижних высотах достигает 25 м/с.

ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ В РЕГИОНЕ Г. ФЭРБЭНКС (АЛЯСКА, США)

Я.А. Илюшин, В.И. Захаров, Н.Ю. Борисова, А.Ф. Хамидуллин
*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
г.Москва, Россия, ilyushin@phys.msu.ru*

Акустико-гравитационные волны (АГВ) в слоисто-неоднородной атмосфере являются эффективным механизмом взаимодействия нижней и верхней атмосферы. Волновые возмущения в ионизированных слоях верхней атмосферы надежно фиксируются средствами радиозондирования и могут использоваться в качестве индикатора возмущений атмосферы в нижних ее слоях. Целью данной работы является исследование атмосферно-ионосферных взаимодействий в масштабе региона на основе синтеза различных методов дистанционного и контактного зондирования атмосферы, применяемых в настоящее время для опытных измерений и регулярного мониторинга состояния окружающей среды.

Метод выделения перемещающихся ионосферных возмущений (ПИБ), применяемый в данной работе, основан на использовании комбинации регистрируемых фаз навигационных GPS-частот L1 и L2 и дальнейшей фильтрации сигнала для выделения характерных периодов волн. В качестве объекта исследования был выбран регион г.Фэрбенкс (Аляска, США) в летний период 2010 г. Всего в анализе принимало участие 18 станций наземной сети приемников GPS региона Фэрбенкс, которые образовывали от 15 до 18 ячеек. Рассмотрено около 700 тыс. часов наблюдений. Для анализа использовался пакет прикладных программ комплексного регионального анализа спутниковых сигналов CRASS_GPS созданный на физическом факультете МГУ.

По результатам сравнительного анализа вариаций амплитуды пространственных спектров неоднородностей вертикальных профилей атмосферных параметров с наблюдаемыми количественными показателями присутствия волновых неоднородностей в ионосфере выявлено недельное запаздывание динамики неоднородностей ионосферы относительно соответствующей динамики амплитуды спектра стратосферных флуктуаций. Фактически, имеет место соответствие относительных вариаций амплитуды стратосферных флуктуаций и флуктуаций числа и скорости перемещающихся ионосферных возмущений с недельным лагом.

Непосредственное сопоставление спектров вертикальных профилей неоднородностей стратосферы со спектром вертикальных волновых чисел зарегистрированных ПИБ в значительном числе случаев позволяет выявить однозначное соответствие максимумов амплитуды спектра вертикальных температурных профилей стратосферы с вертикальными компонентами волновых чисел перемещающихся ионосферных возмущений, зарегистрированных в соответствующем временном интервале (в пределах нескольких часов после регистрации стратосферного профиля).

В работе предложен и опробован метод индикации волновой активности в стратосфере по ее ионосферным проявлениям. Суть заключается в том, что выделенные методами GPS-интерферометрии в случае спокойных гео-гелиофизических условий являются индикатором волновых явлений в нижней атмосфере. Анализ реальных данных показывает эффективность предложенного независимого метода выявления волновых структур. Проведенный анализ показывает, что выявляемые нами разными методами АГВ-волны в стратосфере являются важной частью энерго-обмена в среде геосфер и должны быть приняты во внимание при обработке данных радио и метео-зондирования. Ионосферные явления при этом носят роль индикатора волновой активности, которая должна быть принята во внимание при анализе профилей атмосферы в РЗ экспериментах.

Исследование выполнено за счет средств гранта 15-45-03266 Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ МАРСА ПО ДАННЫМ РАДАРА ПОДПОВЕРХНОСТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ MARSIS

В.Н. Марчук, В.М. Смирнов, О.В. Юшкова

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (ФИРЭ РАН), г. Фрязино, Россия, Marchuk@ms.ire.rssi.ru

Рассмотрена возможность использования радара подповерхностного зондирования грунта Марса для определения структуры окружающей его плазменной оболочки. На основе результатов обработки реальных данных радара MARSIS, полученных при зондировании грунта Марса показано, что режим работы, применяемый для исследования грунта, может быть использован для оценки полного электронного содержания ионосферы Марса вдоль трассы полета космического аппарата.

Длинноволновый радар MARSIS установлен на борту аппарата «Mars-Express» и предназначен для исследования диэлектрических характеристик и морфологии грунта Марса. Радар работает в 4-х диапазонах, центральные частоты которых 1.8, 3, 4, 5 МГц, ширина спектра сигналов 1 МГц. При радиолокационном зондировании используется ЛЧМ сигнал. Авторами показано, что по запаздыванию отдельных частей ЛЧМ сигнала можно оценить полное электронное содержание ионосферы Марса. Теоретические оценки подтверждены результатами численного моделирования и результатами обработки экспериментальных данных.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звёзд».

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЬНОГО НОЧНОГО ПРОВАЛА ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ С ПОВЕДЕНИЕМ ТЕС

О.А. Мальцева, Т.В. Никитенко

НИИФ ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, Россия, mal@jp.rsu.ru

Провал является переходной зоной между средними широтами и авроральной областью. Большая изменчивость положения и формы провала затрудняют построение его эмпирической модели. В работе [Karpachev et al., 2016] разработана глобальная модель электронной концентрации NmF2 (то же и foF2) для ночных зимних спокойных условий северного и южного полушарий. Поскольку существует возможность непрерывного и глобального измерения полного электронного содержания ионосферы ТЕС, зависящего в свою очередь от NmF2, то возникает ряд вопросов: 1) насколько поведение ТЕС согласуется с моделью провала [Karpachev et al., 2016], 2) можно ли использовать данные ТЕС для уточнения (дополнения, построения) модели провала? В данной работе проводится сравнение модели ГИП [Karpachev et al., 2016] с измерениями ТЕС системой GPS в северном полушарии. В работе [Karpachev et al., 2016] тестирование модели проводилось для европейской (15 °E), азиатской (120 °E) и американской (270 °E) зон для вечерних (18:00 LT), ночных (00:00 LT) и утренних (06:00 LT) локальных времен. В данной работе сравнение проводится для европейской (30 °E) и американской (285 °E) зон, которые характеризуются наименьшими и наибольшими значениями foF2 вдоль широтных разрезов. Для ответа на первый вопрос сравнивались результаты для декабря 2002 (средний индекс F10.7=152.26) и декабря 2006 (81.28). Эти результаты включали зависимость от широты абсолютных значений foMIT и ТЕС и вариаций δ foMIT и δ ТЕС относительно значений на нижней границе (45°). Для долготы Long=30° и LT=6 для высокой солнечной активности (F10.7=110-200) абсолютные значения обеих величин увеличиваются с ростом F10.7, а относительные вариации уменьшаются по величине и хорошо соответствуют друг другу. Минимумы ТЕС смещены к более низким широтам по отношению к минимумам foMIT. Для LT=0 отрицательные δ foMIT уменьшаются по величине с ростом F10.7, а δ ТЕС увеличиваются. При LT=18 значения δ foMIT практически сливаются в диапазоне F10.7=110-200. Для δ ТЕС кривая для F10.7=200 сильно отличается. Для декабря 2006 (F10.7=75-100) и LT=0, 6, 18 для Long=30° соответствие хорошее, для Long=285° в некоторых случаях нет даже качественного соответствия. Для ответа на второй вопрос проводится сравнение модели ГИП и ТЕС с плазменными частотами, измеренными на спутнике CHAMP. Времена привязаны к моментам пролета спутника вдоль выбранных широтных разрезов. Предварительные результаты сводятся к следующему. Для европейской зоны форма провала для медиан fne(CHAMP), ТЕС и fo(ГИП) хорошо совпадает для всех уровней F10.7 и LT. В конкретные дни могут быть существенные отклонения от медиан. Для американской зоны в условиях высокой активности (F10.7=200) и LT=2, 4 ни медианы, ни мгновенные значения fne(CHAMP) и ТЕС не имеют экваториальной стенки, свойственной поведению foГИП. Поведение fne(CHAMP) и ТЕС характеризуется плавным увеличением значений с уменьшением широты от 57° до 45° или плато. Для F10.7=150 и LT=2, 4 провал в данных fne(CHAMP) и ТЕС отсутствует. Для F10.7=100 и LT=2, 4 наблюдаются существенные различия как между fo(ГИП) и значениями ТЕС (отсутствует провал), так и fne(CHAMP). Для F10.7=75 характер поведения медиан fne(CHAMP) и ТЕС совпадает, но сильно отличается от поведения fo(ГИП). Сделана попытка рассчитать широтный разрез fne(DMSP), однако в отличие от спутника CHAMP здесь не удается получить значения вдоль всего диапазона широт модели (45-75°). На отдельных участках разреза видно наличие провала.

СУТОЧНЫЕ ВАРИАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОВАЛА ИОНИЗАЦИИ В СЕВЕРНОМ И ЮЖНОМ ПОЛУШАРИЯХ ПРИ НИЗКОЙ И ВЫСОКОЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

А.Т. Карпачев¹, В.В. Афонин²

¹ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, karp@izmiran.ru

²ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

Впервые выделены и исследованы суточные вариации положения ионосферного провала в северном и южном полушариях для низкой (НСА) и высокой солнечной активности (ВСА). Для этого использованы данные спутников Космос-900 (2500 витков), Интеркосмос-19 (3500) и CHAMP (30 000) для спокойных геомагнитных условий $K_p=1-3$. Обнаружено, что при НСА провал расположен намного выше по широте, чем при ВСА в послеполуночные/утренние часы и немного ниже по широте днем. При любой СА в дневном секторе провал находится гораздо выше по широте в северном полушарии, чем в южном, ночью разница небольшая. В итоге суточные вариации положения провала в южном полушарии при НСА не превышают 12°

ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ «ПУЗЫРИ»: МЕХАНИЗМ ПЕРЕДАЧИ ПРИЛИВНОГО ТРОПОСФЕРНОГО ВЛИЯНИЯ

Л.Н. Сидорова, С.В. Филиппов

ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, Isid@izmiran.ru

При исследовании путей передачи влияния тропосферных волн (DE3) на характер долготных вариаций статистики плазменных «пузырей» выявлено, что основным каналом передачи являются термосферные ветры, модулированные приливами (Сидорова и Филиппов, Геомagnetизм и аэрономия, 2016). Этот вывод основан на выявлении значительной корреляции долготных вариаций вероятности наблюдения плазменных «пузырей» с вариациями плотности нейтральной атмосферы ($R \approx 0.79$) и девиаций зонального ветра ($R \approx 0.68$). При наличии столь значительной корреляции обоснованно встает вопрос о деталях механизма передачи такого влияния. В настоящей работе выдвигается идея о влиянии модулированных термосферных ветров на плазменные «пузыри» на этапе их генерации. Предполагается, что долготные вариации зонального западного ветра, наведенные приливными волнами DE3, «отражаются» на долготных вариациях вероятности появления «затравочных» возмущений, развивающихся на этапе развития столкновительно-сдвиговой неустойчивости. «Затравочные» возмущения – первичные возмущения плазмы, в свою очередь, на этапе развития неустойчивости Релея-Тейлора эволюционируют в плазменные «пузыри». Для обоснования выдвигаемой идеи приводятся численные оценки.

ИМПУЛЬСНЫЕ ТЕС-АНОМАЛИИ НАКАНУНЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ЧИЛИ

Ю.Я. Ружин¹, В.М. Смирнов², Е.В. Смирнова²

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), г.Москва (г.Троицк), Россия, ruzhin@izmiran.ru

²Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН, г. Фрязино, Россия

Исследуются аномальные импульсные вариации ТЕС ионосферы, обнаруженные за 20 минут до землетрясения 27 февраля 2010 г. в Чили. Анализ состояния ионосферы проводился по данным измерений навигационной системы GPS. Непосредственно перед землетрясением по данным всех наблюдаемых в это время спутников отмечены мгновенные изменения скорости изменения электронного содержания, превышающие ее обычный фоновый ход. Всплески распределены хаотично как в пространстве в окрестности будущего эпицентра, так и во времени за 20 минут до первого толчка землетрясения магнитудой $M = 8.8$. При этом максимальное значение было отмечено в точке, практически совпадающей с эпицентром землетрясения и временем его возникновения.

Приводятся характеристики импульсных возмущений ионосферной плазмы и обсуждаются условия их образования. Показано, что наличие молниевых разрядов и условий для индуцированного высыпания энергичных частиц (данные спутника DEMETER) могли приводить к импульсному изменению концентрации плазмы ионосферы в диапазоне высот до 250-300 км, которые и явились причиной обнаруженной импульсной аномалии в изменении скорости нарастания ТЕС.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ ПЭС ИОНОСФЕРЫ НАКАНУНЕ ДВУХ МОЩНЫХ ЧИЛИЙСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Л.М. Ишкова, Ю.Я. Ружин, И.Н. Бершадская

ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, ishkova@izmiran.ru

По данным сети станций GPS проведен анализ пространственно-временных вариаций полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы южно-американского региона в период подготовки мощного чилийского землетрясения в апреле 2014 г. (01.04.2014, 23:46UT, $\varphi=19.64^{\circ}\text{S}$, $\lambda=70.81^{\circ}\text{W}$, $M=8.2$). Проанализирован характер суточных вариаций величин ПЭС в период 25.03-03.04.2010 г. по отношению к соответствующим для данного времени суток десятидневным медианам (величины $\delta\text{ПЭС}$, %) в долготном секторе 30° - 105°W и в диапазоне широт 20°N - 60°S . Исследовано развитие в спокойных геомагнитных условиях на фоне форшоковой активности в этом регионе аномальных возмущений величин ПЭС в протяженных областях ионосферы.

Проведен сравнительный анализ характера возмущений ПЭС в рассмотренный период с полученными ранее аналогичными результатами за период 17-27 февраля 2010 г. Мощное землетрясение в Чили с магнитудой 8.8 произошло 27.02.2010 в 06:34UT ($\varphi=36.12^{\circ}\text{S}$, $\lambda=72.90^{\circ}\text{W}$).

Отмечено развитие в обоих случаях сильных положительных возмущений ПЭС в протяженных областях ионосферы, в ряде случаев до $+50\pm 60\%$ и выше относительно медианного уровня, за несколько суток до главного удара. В обоих случаях расстояния, на которых отмечались возмущения с величинами $\delta\text{ПЭС} \geq 30\%$, могли достигать нескольких тысяч километров, как в широтном, так и в меридиональном направлениях.

За трое суток до главного удара обоих землетрясений фаза положительных возмущений ПЭС сменилась фазой отрицательных возмущений: до $-30\pm -46\%$ относительно медианного уровня в феврале 2010 г. и до $-30\pm -49\%$ в апреле 2014 г. в областях ионосферы от двух до четырех тысяч километров в меридиональном и широтным направлениях.

Сделан вывод о сходном выраженном характере реакции южно-американской ионосферы на процессы подготовки указанных землетрясений в этом регионе в рассмотренные периоды. Отмечено соответствие характера вариаций $\delta\text{ПЭС}$ пространственно-временной картине сейсмической активности вдоль Андийской сейсмической зоны.

ТРЕХМЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШУМАНОВСКОГО РЕЗОНАТОРА

Е.С. Гончаров, А.Н. Ляхов, Т.В. Лосева
ИДГ РАН, г. Москва, Россия, eggoncharov@yandex.ru

В настоящей работе применен трехмерный способ расчета собственных частот методом конечных элементов (FEM), с самосогласованным определением высоты отражения электромагнитных волн в трехмерном диспергирующем резонаторе с реальной картой проводимости Земной поверхности. Расчет полого сферического резонатора с идеальными стенками показал соответствие собственных частот, а так же кратностей их вырождения с теоретическими значениями.

Однако, из экспериментальных данных следует, что реальные частоты резонатора Земля-ионосфера отличаются от теоретических значений. Это связано с тем фактом, что поверхность Земли и граница ионосферы не являются идеальными проводниками, кроме того, ионосфера представляет собой многокомпонентную магнитоактивную плазму, неоднородную как в вертикальном, так и в поперечном направлении.

При описании нижней ионосферы на высотах 40-100 км для сравнения использовались две модели, при помощи которых были созданы базы распределения диэлектрической проницаемости и электронной проводимости в полости волновода. Полученные распределения использовались в качестве исходных данных для решения задачи на собственные значения. Рассчитанные параметры Шумановского резонанса в случае невозмущенной ионосферы хорошо согласуются с экспериментом. На основе полученных результатов выполнен анализ параметров резонанса, получена оценка влияния проводимости земной поверхности. Воздействие солнечных рентгеновских вспышек на нижнюю ионосферу рассчитывалось по 22-х компонентной плазмохимической модели ионосферы, разработанной в ИДГ РАН, использующей измерения рентгеновских потоков на спутнике «GOES-15».

Проведена серия расчетов резонансных параметров для солнечных вспышек различных классов. Результаты показали монотонный рост собственных частот резонатора с увеличением интенсивности солнечной вспышки. Как видно, изменения собственных частот, вызванные увеличением интенсивности солнечного рентгена, можно с хорошей точностью аппроксимировать логарифмической зависимостью. Однако даже при очень мощных солнечных вспышках рост собственных частот составляет не более 5%, аналогичная тенденция наблюдается для добротностей.

МОНИТОРИНГ ШУМАНОВСКИХ РЕЗОНАНСОВ В ГФО «МИХНЕВО» КАК ИНСТРУМЕНТ ВЕРИФИКАЦИИ ИОНОСФЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

Е.С. Гончаров, А.Н. Ляхов, Т.В. Лосева, Ю.В. Поклад, Б.Г. Гаврилов,
Ю.И. Зецер

ИДГ РАН, г. Москва, Россия, eggoncharov@yandex.ru

С июля 2016 года в Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН (54°57' с.ш., 37°46' в.д) начата непрерывная регистрация параметров первых четырех Шумановских резонансов. Регистрация выполняется с помощью ВЧ магнитометра METRONIXADU07 по двум компонентам магнитного поля (восточная и северная). Из данных измерений определяются собственные частоты (Гц), амплитуды (нТл/Гц^{1/2}) и добротности. Данные доступны на сайте обсерватории «Михнево» (http://idg-comp.chph.ras.ru/~mikhnevo/metronix/METRONIX_FULL/SHUMAN/) в виде суточных JPG файлов и в формате MAT-файлов системы MATLAB.

Экспериментальное оснащение ГФО «Михнево» позволяет исследовать связь параметров Шумановского резонанса и нижней ионосферы с геомагнитной активностью, параметрами F2-слоя ионосферы, параметрами глобальной токовой цепи, сейсмическими и метеорологическими процессами.

Численное трехмерное моделирование Шумановских резонансов показало чувствительность результатов расчетов к используемым моделям нижней ионосферы. Ранее, по данным мониторинга СДВ-ДВ сигналов было показано неудовлетворительное качество стандартных моделей нижней ионосферы, входящих в пакет IRI.

Мониторинг Шумановских резонансов технологически много проще радиомониторинга и может использоваться для глобальной верификации численных прогностических моделей нижней ионосферы, по сравнению модельного отклика собственных частот, амплитуд и добротностей на гелиогеомагнитные возмущения с данными экспериментальной регистрации.

РЕЗОНАНСНОЕ УНЧ-ПОГЛОЩЕНИЕ В ВОЗМУЩЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В.И. Бадин

ИЗМИРАН, г.Москва (г. Троицк), Россия, badin@izmiran.ru

Наблюдение в земной ионосфере ультранизкочастотных (УНЧ) колебаний представляет значительный интерес для изучения магнитосферы Земли, ее взаимодействия с солнечным ветром, а также магнитосферно-ионосферного взаимодействия, как в спокойных, так и в возмущенных гелиогеофизических условиях. Возможные приложения таких наблюдений включают проблему происхождения геомагнитных пульсаций и изучение магнитогидродинамических (МГД) резонансов, т.е. возбуждения собственных колебаний магнитосферного МГД-резонатора. Вплоть до сегодняшнего дня в научной периодике можно найти противоречивые оценки резонансных частот и их изменчивости в зависимости от параметров солнечного ветра и геофизических индексов. Отсутствует экспериментальная методика, которая позволяла бы фиксировать совершенно достоверным образом возбуждение собственных колебаний магнитосферного МГД-резонатора. В данных обстоятельствах весьма актуальной остается задача экспериментальной идентификации магнитосферных резонансов. Наблюдение резонансного поглощения УНЧ-колебаний может внести свой вклад в решение этой задачи.

Для экспериментальной оценки резонансного поглощения УНЧ-колебаний в магнитосферном МГД-резонаторе использованы доплеровские измерения ионосферного радара когерентного рассеяния STARE. Обработка измерений включает усреднение данных вдоль каждого луча радара, вычисление быстрого преобразования Фурье (БПФ) усредненных данных и последующий вариационный анализ полученного Фурье-преобразования. Эффект резонансного поглощения проявляется резким падением спектральной мощности УНЧ-фона на нижней частотной границе резонансного континуума, которая представляет собой минимальную частоту резонансного поглощения, наблюдаемую данным инструментом в данном секторе местного времени (MLT). Вариационный анализ методом наименьших квадратов наилучшим образом вписывает ступенчатую модель резонансного поглощения в вычисленный профиль спектральной мощности БПФ, что позволяет получить количественную оценку минимальной частоты резонансного поглощения.

Воздействие солнечного ветра на магнитосферу Земли посредством высокоскоростных потоков плазмы, порождаемых солнечными вспышками и корональными выбросами массы и сопровождаемых поворотами вектора межпланетного магнитного поля, приводит к широкому разнообразию магнитосферных и геомагнитных возмущений, характеризующихся различными комбинациями геомагнитных индексов, например, *AE*, *Kp* и *Dst*. Анализ резонансного УНЧ-поглощения при геомагнитных возмущениях различных типов позволит уточнить наши представления об изменчивости геомагнитного поля, о границах, форме и плотности магнитосферы в возмущенных условиях.

Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 14-05-00179) и Программой 1.7 Президиума РАН.

К РАЗРАБОТКЕ МЕТОДА МОНИТОРИНГА ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ НЕПРЕРЫВНЫХ УНЧ-ЭМИССИЙ

Т.Н. Полюшкина¹, **А.С. Потапов¹**, Б. Цэгмэд², А.В. Ойнац¹, А.Ю. Пашинин¹,
И.К. Едемский¹, К.Г. Ратовский¹

¹ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, potapov@iszf.irk.ru

²ИАГ МАН, г. Улан-Батор, Монголия

В настоящее время зондирование ионосферы выполняется радиоволнами с земной поверхности или путем радиопросвечивания со спутников. Нашей целью является привлечь внимание к возможности диагностики ионосферных параметров путем регистрации ультранизкочастотных (УНЧ) электромагнитных эмиссий, возбуждаемых в ионосферном альвеновском резонаторе (ИАР). Для этого мы описываем наблюдения эмиссий ИАР, выполненные впервые одновременно на трех станциях с использованием идентичных индукционных магнитометров. Станции расположены вдоль одного меридиана; две из них среднеширотные, третья находится в авроральной зоне. Мы сравниваем основные характеристики наблюдаемого многополосного излучения (частоту, амплитуду и разности частот между соседними гармониками) с ионосферными параметрами, измеренными на станциях с помощью ионозондов и GPS-наблюдений. Сопоставляются также дневные вариации ионосферных параметров и характеристик УНЧ излучения. Результаты показывают, что существует достаточно надежная связь между частотами полос резонатора и критической частотой слоя F2 ионосферы, а именно, частота излучения ИАР изменяется обратно пропорционально критической частоте ионосферы. Это связано с тем, что частота колебаний, захваченных в резонаторе, в первую очередь определяется альвеновской скоростью (которая зависит от плотности плазмы) в ионосферном слое F2. Связь меняется на разных станциях, но, как правило, хорошо наблюдается вдоль всего меридиана. Это дает надежду на возможность выработать метод оценки критической частоты слоя F2 ионосферы по УНЧ наблюдениям в диапазоне частот 0,5–10 Гц. Этот метод особенно востребован на высоких широтах, так как там часто невозможно бывает измерить критическую частоту традиционными методами из-за значительных возмущений. Работа была поддержана грантом РНФ 14-37-00027; часть работы, выполненная Т.Н.П., была поддержана грантом РФФИ 16-05-00631.

О ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕШНЕГО РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНТЕННЫ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

И.В. Романов, М.Ю. Филиппов

ФГБУ «ИПГ», г. Москва, Россия, drsuvar@gmail.com

Предлагается к исследованию задача применения метода синтезированной апертуры антенн для внешнего радиозондирования ионосферы Земли. Данный метод успешно применяется в задачах радиолокации, радиообнаружения, а также зондирования поверхности Земли. Спецификой применения данного метода в ионосферном радиозондировании, является возможность работы в широкой полосе частот (1-20 МГц). Бортовой ионозонд синтезированной антенной позволит при сравнительно небольших размерах приёмопередающей антенны (диполь) обеспечить более высокое угловое разрешение и получать дополнительную информацию о структуре ионосферы (параметрах мелко-масштабных неоднородностей). Этот метод и алгоритмы, построенные на его основе, могут быть внедрены в аппаратуру ИСЗ находящихся как на околоземной круговой орбите, так и высокоэллиптической орбите.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ДОПЛЕРОВСКОГО СПЕКТРА СИГНАЛА НА ТРАССЕ НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ

Н.Т. Афанасьев, С.О. Чудаев

*Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия,
spaceaklay@gmail.com*

Исследование флуктуаций доплеровского смещения частоты сигнала на ионосферных радиотрассах имеет важное значение для повышения точности радиоизмерений и диагностики ионосферных неоднородностей. Решение этих вопросов на трассе наклонного зондирования ионосферы осложняется тем, что на частотах, близких к максимально-применимой частоте (МПЧ) трассы, когда в окрестности пункта наблюдения формируется каустика, лучевое описание поля не справедливо и определение флуктуаций доплеровского смещения частоты через производную флуктуаций фазы по времени некорректно. В данном случае уширение спектральной линии следует определять непосредственно из энергетического доплеровского спектра флуктуирующего сигнала на частотах вблизи МПЧ. Для расчета доплеровского спектра сигнала в условиях каустик в работе используется приближение интерференционного интеграла. Приведены результаты численного моделирования доплеровского спектра в случайно-неоднородной фоновой ионосфере в присутствии движущейся крупномасштабной регулярной неоднородности электронной плотности. Получена многокомпонентная структура доплеровского спектра, связанная с линзовыми рефракционными свойствами неоднородности. Рассмотрена возможность дополнительного уширения спектра вследствие рассеяния радиоволн на тонкой турбулентной структуре крупномасштабной неоднородности. Показано, что средняя форма доплеровского спектра хорошо отслеживает движение и структурные изменения крупномасштабной неоднородности. Это обстоятельство использовано при решении обратной задачи восстановления и мониторинга крупномасштабной неоднородности с тонкой турбулентной структурой по данным наклонного зондирования. Показано, что при интерпретации результатов измерений доплеровского спектра необходимо учитывать возможность статистического замыкания регулярных эффектов крупномасштабной неоднородности в структуре спектра эффектами рассеяния радиоволн в случайно-неоднородной фоновой ионосфере и на тонкой турбулентной структуре крупномасштабной неоднородности. Приведены результаты расчетов средних значений доплеровского смещения частоты радиосигнала в зависимости от типа временных изменений структуры крупномасштабной неоднородности. Рассмотрены особенности деформации доплеровского спектра при расплывании отдельной крупномасштабной неоднородности и в присутствии нескольких крупномасштабных регулярных образований в случайно-неоднородной ионосфере.

ТРАЕКТОРНЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛОВ ТРАНСИОНОСФЕРНОГО ДЕКАМЕТРОВОГО РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ

Н.Т. Афанасьев, В.П. Марков

*Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия,
spacemaklay@gmail.com*

Рассмотрены теоретические вопросы метода декаметрового радиозондирования ионосферы с космических аппаратов. Разработан аппарат численно-аналитического моделирования статистических траекторных и энергетических характеристик транссионосферных радиосигналов на рабочих частотах вблизи границы частотного диапазона радиопрозрачности ионосферы. Для расчета характеристик сигнала используется приближение интерференционного интеграла и метод геометрической оптики. Интерференционный интеграл позволяет корректно просуммировать лучи при появлении регулярных и статистических фокусировок различных типов, возникающих под воздействием возмущающих факторов как естественного, так и искусственного происхождения. Приведены примеры реализации разработанного аппарата при просвечивании случайно-неоднородной ионосферы с крупномасштабными регулярными неоднородностями электронной плотности. Развита метод детектирования крупномасштабных неоднородностей на основе численно-аналитического синтеза возмущенных дистанционно-частотных характеристик (ДЧХ) декаметровых радиосигналов, излученных с борта низкоорбитального или геостационарного космического аппарата. Оптимизация численно-аналитического метода синтеза деформаций ДЧХ транссионосферных радиосигналов значительно расширяет его возможности для диагностики параметров крупномасштабных ионосферных неоднородностей. Проведенное численное моделирование показало, что интенсивность и размеры крупномасштабной неоднородности могут быть восстановлены по возмущенным участкам трансionoграмм, отвечающим вариациям групповой задержки радиосигналов, распространяющихся сквозь ионосферу. Рассмотрены возможности диагностики тонкой турбулентной структуры ионосферы по статистическим энергетическим и траекторным характеристикам сигналов в окрестности каустики, образующейся в результате рефракции транссионосферных лучей на крупномасштабной неоднородности.

ПРОЦЕССЫ РЕЛАКСАЦИИ ВОЗБУЖДЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УРОВНЕЙ МОЛЕКУЛЯРНОГО КИСЛОРОДА В ВЕРХНИХ АТМОСФЕРАХ ЗЕМЛИ И ВЕНЕРЫ

О.В. Антоненко, А.С. Кириллов, Ю.Н. Куликов

*Полярный геофизический институт (ПГИ), г. Апатиты, Россия,
antonenko@pgia.ru*

Обсуждаются процессы релаксации электронно-возбужденных состояний молекулярного кислорода в атмосферах планет земной группы на высотах свечения ночного неба, где из-за диссоциации O_2 солнечным УФ-излучением наблюдаются относительно высокие концентрации атомарного кислорода. Рассмотрены процессы возбуждения атомарного кислорода в метастабильные состояния 1D , 1S при вторжении высокоэнергичных частиц в атмосферу. Обсуждаются принципиальные различия кинетики возбуждения электронных уровней энергии кислородных составляющих в атмосфере Земли и атмосферах Венеры и Марса. Рассчитаны константы гашения колебательных уровней электронно-возбужденных состояний молекулярного кислорода. Вышеназванные константы сравниваются с экспериментальными данными для условий ночного свечения этих атмосфер.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ ИСКАЖЕНИЯ ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ ФИДЕРОВ РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ФАЗИРОВАННЫМИ АНТЕННЫМИ РЕШЕТКАМИ

Л.Ю. Фадеева¹, В.Ю. Белашов²

¹КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань, Россия, milafadeeva@yandex.ru

²К(П)ФУ, г. Казань, Россия, vybelashov@yahoo.com

При диагностике и контроле фидеров радиоастрономических систем с фазированными антенными решетками с помощью метода синтезированного видеосигнала возникает ряд вопросов, например таких, как возможность учета влияния нелинейных эффектов, возникающих в связи со сложной геометрией линий КЛС с неоднородностями.

Ранее были получены результаты, в которых нелинейные эффекты не были учтены. В системах контроля с физическим формированием отраженного сигнала при синтезировании видеосигнала наличие дисперсии приводит к искажению исходной формы, причем степень искажений возрастает по мере удаления дефектов в КЛС от начала линии. При этом наличие дисперсии относится к числу ограничивающих факторов. Проявление искажений увеличивается, с одной стороны, с ростом дальности, с другой – по мере уменьшения частоты.

Учет нелинейных эффектов позволяет рассмотреть более общую картину. Решение этой задачи возможно при использовании в исследованиях распространения в КЛС импульсов тока и напряжения зондирующего синтезированного видеосигнала модели, построенной на основе системы уравнений КдВ-класса для длинных линий с нелинейной нагрузкой.

Учет нелинейных эффектов в кабельных линиях с дисперсией может приводить как к расплыванию распространяющихся импульсов и формированию высокочастотных цугов солитоноподобных структур, так и к параметрическому усилению сигнала.

ПРЕВОСХОДНЫЕ ЗИМНИЕ ВАРИАЦИИ ПЭС И КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ f_oF_2 ИОНОСФЕРЫ

Ружин Ю.Я.¹, Смирнов В.М.², Важеркин В.А.¹, Е.В.Смирнова², Панченко В.В.¹

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), г.Троицк, ruzhin@izmiran.ru

²Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН, г. Фрязино

По данным радиопросвечивания ионосферы сигналами спутников навигационной сети GPS обнаружены в декабре над Москвой предвосходные квазипериодические вариации ПЭС и критической частоты f_oF_2 основного слоя ионосферы с амплитудой достигающей 50% (около 1.5МГц). Наличие данных цепочки из трех приемных станций Обнинск – Троицк (ИЗМИРАН) – ФРЯЗИНО (ИРЭ РАН), вытянутых почти в вдоль меридиана, позволило определить направление среднemasштабных ПИВ и их характерный размер. Для выяснения природы обнаруженных возмущений проведен анализ высоты и скорости перемещения терминатора с учетом высоты экранирующего слоя озона как экрана для ионизирующего УФ излучения. Показано, что на высоте мезопаузы скорость перемещения превышает скорость звука и это могло быть причиной, но возможное воздействие – ожидается больше чем на час позже. Далее, по геомагнитным данным (индексы Dst, Kp, Ae) о геомагнитной активности в это время (3h-5h UT) не было обнаружено заметной авроральной активности с 21-го по 25 декабря, что исключает появление ПИВ со стороны полярной зоны.

По данным трех станций INTERMAGNET в Индийском океане, образующих почти равнобедренный треугольник (вблизи вершины которого находится область ионосферы магнитно – сопряженная Москве), рассмотрена ситуация в ионосфере южного полушария, где в это время развивалась система токов спокойной солнечно – суточной вариации S_s геомагнитного поля и определены величина и направление электрического динамо поля в окрестности точки, магнитно- сопряженной ИЗМИРАН.

Учитывая высокую проводимость плазмы вдоль магнитной силовой трубки это поле проникает на север в окрестности Москвы и способствует появлению **ExB** горизонтальных дрейфов и перераспределению ионосферной плазмы в предвосходный период. Сопоставление направления ожидаемых дрейфов генерируемых неоднородностей с экспериментальным направлением среднemasштабных волновых ПИВ показало удовлетворительное согласие.

секция МАГНИТОСФЕРА

ДНЕВНАЯ ПОЛЯРНАЯ СУББУРЯ В НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЕ МАГНИТНОЙ БУРИ 22 ЯНВАРЯ 2012 г.

Н.Г. Клейменова^{1,2}, Л.И. Громова³, С.В. Громов³, Л.А. Дремухина³,
Н.Р. Зелинский¹, Л.М. Малышева¹, Н.Э. Васильева¹

¹ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, kleimen@ifz.ru

²ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

³ИЗМИРАН, г. Москва (Троицк), Россия

Хорошо известно, что внезапное начало магнитной бури (SC) нередко сопровождается ночной магнитной суббурей в авроральных широтах. В случае магнитной бури 22 января 2012 г. этого не произошло, по-видимому, вследствие большой положительной (+30 нТл) Vz компоненты ММП в это время, несмотря на резко возросшее (до 10-20 нПа) динамическое давление солнечного ветра. Однако 3-мя часами позднее, когда Vy компонента ММП стала отрицательной и большой (-30 нТл), а Vz компонента ММП была ~+10 нТл, а динамическое давление солнечного ветра уменьшилось, но оставалось высоким (~8-12 нПа), в околополуденном секторе полярных широт Северного полушария появилась отрицательная магнитная бухта с амплитудой ~300 нТл. По нашей терминологии это дневная полярная суббурия. На геомагнитных широтах ниже 70° магнитных возмущений не наблюдалось, как и в ночном секторе магнитосферы (AL~100 нТл). По данным SUPERDARN архипелаг Шпицберген, где наблюдалась отрицательная магнитная бухта, находился в области отрицательного вихря конвекции. Сферический гармонический анализ данных регистрации магнитного поля на 66 коммерческих спутниках связи (высота ~750 км) проекта AMPERE показал, что это магнитное возмущение, оставаясь в полярных широтах, быстро расширялось в азимутальном направлении к вечеру, как и области втекающих и вытекающих продольных токов, рассчитанных по этим магнитным измерениям. В начале суббурии Шпицберген находился вблизи центра магнитного вихря с вращением по часовой стрелке, т.е. в области проекции усиленных втекающих токов, что было подтверждено данными AMPERE. Вероятно, именно усиление околополуденных продольных электрических токов в полярных широтах было источником дневной полярной суббурии. В то же время открытым остается вопрос о том, где эти токи могут замыкаться. Основываясь на картах геомагнитных возмущений AMPERE и положения аврорального овала по данным OVATION, было высказано предположение, что дневная полярная суббурия развивалась в области проекции полярной границы аврорального овала, т.е. вблизи границы замкнутых и открытых силовых линий геомагнитного поля.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ПЛАЗМЫ В ПЛАЗМОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ РАЗВИТИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ДЖЕТА В ИОНОСФЕРЕ

В.Л. Халипов, Г.А. Котова, Д.В. Чугунин

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия, khalipov@iki.rssi.ru

По данным измерений холодной плазмы на космических аппаратах проекта «Интербол» были обнаружены области, в которых плотность протонов повышена в 5 и более раз, по сравнению с окружающими областями. Как правило, такие структуры с повышенной плотностью наблюдаются после суббуревых возмущений. По наземным и спутниковым измерениям в ионосфере установлено, что при суббуревых возмущениях в полосе поляризационного джета формируются восходящие потоки плазмы из ионосферы, вертикальная скорость которых достигает 1.0 – 1.5 км/с на высотах спутников DMSP (~850 км). На отдельных примерах с учетом времени перемещения плазмы из ионосферы в плазмосферу проведено сопоставление зарегистрированных структур повышенной плотности в плазмосфере с наблюдениями быстрых потоков плазмы из ионосферы во время развития поляризационного джета. Выявлена взаимосвязь наблюдавшихся явлений.

Работа выполнена при частичной поддержке программы РАН П7.

СУББУРИЕВЫЕ ИНЖЕКЦИИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ И ГЕНЕРАЦИЯ ИРРЕГУЛЯРНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ

Р.А. Ковражкин¹, А.Л. Глазунов¹, Г.А. Владимирова¹, Д.Г. Баишев²

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия, rkovrazh@iki.rssi.ru

²Институт космофизических исследований и аэронауки СО РАН, Якутск, Россия

В работе представлены результаты по исследованию формирования инжекций электронов и протонов 0.1-20 кэВ по данным эксперимента ИОН спутника ИНТЕРБОЛ-2 в авроральной магнитосфере на высотах $\sim 2.7 - 3.0 R_E$ и геомагнитных пульсаций P12-P13 по данным цепочки магнитных обсерваторий Канады (CARISMA). В анализе использовались также магнитное поле по данным эксперимента ИМАП-3 спутника ИНТЕРБОЛ-2, магнитное поле по данным спутников GOES на геостационарной орбите $R=6.6 R_E$, планетарная картина полярных сияний по данным эксперимента UVI спутника POLAR и параметры солнечного ветра по данным космического аппарата WIND. Анализ выявил наличие двух этапов на фазе экспансии суббури 09.01.1997, первый из которых происходит на широтах аврорального овала, а второй - на широтах распространяющейся к полюсу авроральной выпуклости. Показано, что на втором этапе наблюдается зона инжекций ускоренных протонов вплоть до $E=10$ кэВ и пакетов высокоскоростных потоков электронов, ассоциирующихся с BBF – Bursty Bulk Flows, вплоть до $E=3$ кэВ. Выявлено, что инжекции ускоренных протонов в форме дисперсионных структур типа TDIS – Temporally Ion Dispersed Structures, инжекции электронов и P13 пульсации повторяются с периодом ~ 180 с. причем взаимосвязь инжекций и пульсаций наблюдается только для пульсаций на станциях с параметром $L \sim 11-12$. Характерно, что зона инжекций частиц проецируется в источник, расположенный в экваториальной плоскости, также на $R=11-13 R_E$. В хвосте магнитосферы, где действует этот локальный источник, могут образовываться транзиентные импульсные пересоединения магнитного поля. В этой же области геомагнитного хвоста происходит генерация альфеновских волн с периодами 170-240 с, вызывающих нагрев и ускорение частиц. При этом наблюдается возрастание потоков протонов до 10^6 и электронов до 10^7 частиц/см² с стер кэВ. Такая волна может стимулировать и появление цуга геомагнитных пульсаций P13 с амплитудой H-компонента до ± 50 нТ. Таким образом, совокупность экспериментальных результатов может свидетельствовать об отклике ускоренной плазмы и геомагнитных пульсаций P13 на альфеновскую волну на замкнутых силовых линиях в приполярной области центрального плазменного слоя.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ДЖЕТА

В.Л. Халипов¹, А.Е. Степанов², Е.Д. Бондарь²

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия, khalipov@iki.rssi.ru

²ИКФИА СО РАН, Якутск, Россия

Наблюдения поляризационного джета (ПД) на радаре когерентного рассеяния SuperDARN в Тасмании показали, что это явление может развиваться на взрывной фазе суббури. Это подтверждает аналогичный вывод, сделанный ранее по данным Якутской цепочки ионозондов, и является важным фактором при анализе возможных механизмов формирования ПД. Данные SuperDARN также свидетельствуют о наличии больших электрических полей в момент появления ПД, что может говорить об эффективности термоэлектрического механизма генерации электрического поля в режиме генератора напряжения. По одновременным измерениям на сети ионозондов и на спутнике AMPTE/CSE детально рассмотрена связь ПД с инъекцией энергичных ионов во внутреннюю магнитосферу. Показано, что ПД формируется на экваториальной границе области инъекции ионов с энергией 20-30 кэВ. По наблюдениям на долготной сети ионосферных станций скорость перемещения к западу источника, ответственного за возникновение ПД, составляет 3 часа MLT в час. Это соответствует скорости азимутального дрейфа ионов, наблюдаемых на спутнике AMPTE/CSE. Механизм генерации ПД эффективно работает в условиях высокой проводимости в летней освещенной ионосфере.

Работа выполнена при частичной поддержке программы РАН П7.

НАБЛЮДЕНИЯ СУББУРЕВЫХ СИЯНИЙ СИСТЕМОЙ КАМЕР MAIN В АПАТИТАХ ВО ВРЕМЯ ЗИМНИХ СЕЗОНОВ 2014-2016 гг.

И.В. Дэспирак¹, В. Гинева², Б.В. Козелов¹

¹Полярный геофизический институт (ПГИ) г. Апатиты, Мурманская область, Россия, despirak@gmail.com

²Институт Космических Исследований и Технологий (ИКИТ), БАН, г. Стара Загора, Болгария

Рассмотрены суббури, наблюдавшиеся во время двух зимних сезонов (2014-2016) системой авроральных камер MAIN (Multiscale Aurora Imaging Network) в Апатитах. Параметры и потоки солнечного ветра определялись по базе данных OMNI, использовался также каталог крупномасштабных явлений солнечного ветра (<ftp://ftp.iki.rssi.ru/omni/>). Авроральные возмущения определялись по данным цепочки магнитометров IMAGE и данным камеры всего неба в Апатитах. Были проанализированы суббуревые возмущения во время разных условий в солнечном ветре, во время бурь, вызванных разными межпланетными источниками (CIR, SHEATH, MC, EJECTA) и во время спокойных условий.

ВАРИАЦИИ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ В ВОЗМУЩЕННОЙ МАГНИТОСФЕРЕ: ДАННЫЕ ПРОЕКТОВ ЛОМОНОСОВ И БАРРЕЛ

В.В.Калегаев, М.И.Панасюк, Н.А.Власова, И.Н.Мягкова, А.В.Богомолов
НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, klg@dec1.sinp.msu.ru

Выполнен сравнительный анализ данных одновременных измерений потоков электронов на орбите КА «Ломоносов» и измерений, выполненных на аппаратах RBSP, во время полетов воздушных шаров проекта Баррел.

МАГНИТОСФЕРНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ НЕБОЛЬШИХ АКТИВИЗАЦИЙ В ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ЧАСТИ АВРОРАЛЬНОЙ ВЫПУКЛОСТИ В ПОЛУНОЧНОМ СЕКТОРЕ

Т.В. Козелова, Б.В. Козелов

Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия, Boris.Kozelov@gmail.com

Изучались небольшие суббуревые интенсификации в экваториальной части авроральной выпуклости в полуночном секторе ионосферы и связанные с ними вариации полей и частиц в сопряжённой части околоземного плазменного слоя на расстоянии 6-8.5 R_E по данным двух спутников THEMIS в интервале 20-23 UT 14 ноября 2014 г. Моменты уярчения сияний вблизи проекции спутника сопровождались в магнитосфере диполизацией магнитного поля, возрастаниями потоков энергичных частиц (ионов и электронов с энергией >10 кэВ), согласно наблюдениям THEMIS, и усилениями интенсивности ОНЧ волн (0.5-1 кГц), наблюдаемым на RBSP-B. Обсуждается связь наблюдаемых вариаций полей и потоков частиц в рассматриваемом интервале с изменениями z-компоненты межпланетного магнитного поля и скорости солнечного ветра, измеренными на спутнике ACE.

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ФОТОЭМИССИИ ОТ ПОТЕНЦИАЛА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В МАГНИТОСФЕРЕ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЙ СПУТНИКА «ИНТЕРБОЛ-2»

Н.Ф. Смирнова, Г. Станев

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, nsmirnova@romance.iki.rssi.ru

На основе результатов, полученных в космических экспериментах, выяснено, что все материалы обладают очень похожими фотоэмиссионными свойствами, когда они не подвержены влиянию атмосферного кислорода. А.Педерсон и его коллеги проанализировали данные измерения потенциала датчиками электрического поля на многих магнитосферных спутниках и предложили модель для определения плотности фотоэлектронов, уходящих в плазму (J_{ph} , мкА/м²), в зависимости от величины потенциала спутника (V_s, B):

$$J_{ph} = 50.75 \cdot \exp(-V_s/2.4) + 1.49 \cdot \exp(-V_s/12.63).$$

Эта модель справедлива только для положительного потенциала спутника. К.Торкар с соавторами применяли эту модель для определения концентрации электронов на основе данных, полученных со спутника «Интербол-2», но, как отмечено в их статье, они считали эти результаты предварительными и требующими дальнейших исследований.

Сопоставление одновременных измерений потенциала спутника «Интербол-2» относительно плазмы зондовыми приборами ИЭСП-2 (измеритель электрических полей) и КМ-7 (датчик электронной температуры) позволяет оценить плотность фотоэлектронного тока по методике, предложенной ранее авторами этого доклада. Таким образом, появляется возможность проверить адекватность модели на основе измерений «Интербол-2», когда потенциал спутника положительный. Для проверки модели выбирались участки орбиты, например, длительностью 10 минут с достаточно однородными измерениями, и оптимизировалась невязка между модельными значениями плотности фототока и определенными на основе измерений ИЭСП-2 и КМ-7. В результате минимизации этой невязки методом золотого сечения вычислялся потенциал спутника V_s . Отметим, что модель определяет плотность фотоэлектронного тока J_{ph} в зависимости от потенциала спутника V_s , а экспериментально измеряется разность потенциалов между спутником и зондом (U_{sp}). В магнитосферных измерениях для приведения потенциала зонда к потенциалу окружающей плазмы в зонд направляется ток смещения, при этом возможна остаточная разность потенциалов порядка 2В (известно из литературы). Эта остаточная разность потенциалов не вносит большую погрешность в определение V_s заменой на U_{sp} для спутников типа ISEE-1, которые функционировали с потенциалом порядка 20 В, но существенно меняет результат для спутника «Интербол-2» с типичным значением U_{sp} в интервале 2-5 В для тех измерений, когда потенциал спутника был положительный. В нашем исследовании определенный на основе модели потенциал V_s сравнивался с U_{sp} , а также вычислялись значения J_{ph} при замене V_s на U_{sp} . Если V_s и U_{sp} отличались менее чем на один вольт на участке орбиты, на котором осуществлялась проверка модели, то плотность фотоэлектронного тока достаточно адекватно определялась на основе модели, с ошибкой менее 20-30%.

Таким образом, можно сделать вывод, что эта модель была хорошо проверена на спутниках с потенциалом порядка 20 В, а для спутника «Интербол-2» подходит далеко не для всех данных, так как потенциал спутника V_s , входящий в модель, может отличаться на 50% и более от экспериментально определенного потенциала U_{sp} .

ВЛИЯНИЕ КРУПНОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРЫ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ПОЯВЛЕНИЕ СУББУРЬ НА ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

И.В. Дэспирак¹, А.А. Любчич¹, Н.Г. Клейменова², В. Гинева³

¹Полярный геофизический институт (ПГИ) г. Апатиты, Мурманская область, Россия, despirak@gmail.com

²Институт Физики Земли (ИФЗ РАН), г. Москва, Россия

³Институт Космических Исследований и Технологий (ИКИТ), БАН, г. Стара Загора, Болгария

На основе данных магнитных станций IMAGE, базы данных OMNI по солнечному ветру и каталога крупномасштабных явлений солнечного ветра (<ftp://ftp.iki.rssi.ru/omni/>) проведен сравнительный анализ условий появления двух типов суббурь на высоких широтах. Были проанализированы суббури, наблюдавшиеся в 1995, 1996, 1999 и 2000 годах на меридиональной цепочке (TAR-NAL) станций IMAGE. При этом исследовалось два типа суббурь, наблюдающихся на высоких геомагнитных широтах: 1) суббури, которые перемещаются из авроральных ($<70^\circ$) в полярные ($>70^\circ$) геомагнитные широты («расширенные» суббури), 2) суббури, которые наблюдаются только на широтах выше $\sim 70^\circ$ при отсутствии одновременных геомагнитных возмущений на широтах ниже $\sim 70^\circ$ («полярные» суббури). Всего за 4 года было зарегистрировано 198 «расширенных» и 184 «полярные» суббури. Показано, что «расширенные» суббури наблюдаются, в основном, во время высокоскоростных рекуррентных потоков солнечного ветра (FAST) и области сжатия плазмы перед этим потоком (CIR) – в 72.3% случаев; в 18.7% случаев - во время межпланетных проявлений корональных выбросов массы (SHEATH, SHEATH, FAST; EJECTA, FAST); в 7% случаев - во время медленных потоков (SLOW) и гелиосферного токового слоя (SLOW, HCS) и в 7% случаев – без определенных потоков. В то время как «полярные» суббури наблюдаются, в основном, во время медленных потоков солнечного ветра и гелиосферного токового слоя (SLOW; SLOW, HCS) – в 68.5% случаев; в 17.4% случаев - во время Ejecta, SLOW и MC, SLOW; в 14.1% случаев - в конце высокоскоростного потока (FAST), когда скорость солнечного ветра быстро уменьшается от больших значений к малым. Итак, в разных условиях космической погоды, определяемых крупномасштабной структурой солнечного ветра, на земной поверхности наблюдаются различные типы магнитных суббурь. «Расширенные», т.е. перемещающиеся к северу, суббури наблюдаются, в основном, во время высокоскоростных потоков из корональных дыр, а «полярные» суббури наблюдаются во время медленных потоков и гелиосферного токового слоя, а также некоторых межпланетных проявлений корональных выбросов массы.

СТРУКТУРЫ «КОСЫХ» АЛЬВЕНОВСКИХ ВОЛН В НЕОДНОРОДНОЙ ХОЛОДНОЙ МАГНИТОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ

М.А. Волков

*Мурманский государственный технический университет, г.Мурманск,
Россия, volkovma@mstu.edu.ru*

Изучены особенности распространения «косых» или дисперсионных альвеновских волн в неоднородной холодной плазме. Рассматривается плазма неоднородная поперек магнитных силовых линий в направлении север-юг и однородная в долготном направлении. Неоднородность вдоль магнитных силовых линий не учитывается, поэтому волны распространяются между сопряженными ионосферами, которые считаются тонкими слоями. Исследованы области прозрачности для этих волн в различных частотных диапазонах. Найдены условия, при которых частотный и пространственный спектр (в направлении север-юг) становится дискретным. Оценены масштабы поперечных структур «косых» альвеновских волн на уровне ионосферы. Обсуждается связь этих структур с авроральными явлениям.

ДАВЛЕНИЕ НА МАГНИТОПАУЗЕ НА ДАЛЬНИХ ФЛАНГАХ МАГНИТОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ THEMIS

С.С. Знаткова¹, Е.Е. Антонова^{1,2}, И.П. Кирпичев^{2,1}, М.С. Пулинец¹

¹НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия

svetlana.znatkova@yandex.ru; elizaveta.antonova@gmail.com

В работе исследуются пересечения магнитопаузы спутниками THEMIS весной 2008 года, когда спутник пересекал магнитопаузу на флангах при больших отрицательных X_{gsm} (от $-10 R_E$ до $-20 R_E$). Анализируются параметры плазмы и магнитного поля по данным приборов ESA и MGF. Производится анализ баланса давлений при пересечении магнитопаузы по отобраным событиям. Для расчета полного давления учитываются динамическое давление солнечного ветра, тепловое давление плазмы и магнитное давление. Обсуждается вопрос давления на магнитопаузе и доминирующие факторы для возникновения баланса давлений.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В МАГНИТОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ БУРИ

С.В. Смолин

*Сибирский Федеральный Университет, г. Красноярск, Россия,
smolinsv@inbox.ru*

Предложена нестационарная трехмерная математическая модель, описывающая эволюцию функции распределения заряженных частиц в магнитосфере. Для примера исследовано распределение протонов кольцевого тока во внутренней магнитосфере Земли во время магнитной бури. Временная и пространственная эволюция плотностей фазового пространства протонов (или функция распределения) в дипольном магнитном поле вычисляется, используя трехмерную модель, рассматривающую радиальную диффузию и диффузии по питч-углам и по энергии. Выражения потерь описываются вследствие обмена зарядами и взаимодействий волна-частица. Моделирование начинается с распределения магнитоспокойного времени. Модель тестируется сравнением вычисленных потоков протонов с измерениями на спутнике Polar/MICS во время магнитной бури 21 -- 22 октября 1999 года. Получено хорошее согласие модельных питч-угловых распределений протонов с экспериментальными данными.

Используя соответствующие экспериментальные данные, предложенная модель, вероятно, может быть использована для моделирования динамики заряженных частиц в магнитосферах Юпитера и Сатурна.

27 AUGUST 2001 SUBSTORM: PRE-ONSET PHENOMENA, TWO MAIN ONSETS, FIELD-ALIGNED CURRENT SYSTEMS, AND PLASMA FLOW CHANNELS IN THE IONOSPHERE AND MAGNETOSPHERE

V.V. Mishin, V.M. Mishin, S.B. Lunyushkin
ISTP SB RAS, Irkutsk, Russia, vladm@iszf.irk.ru

We describe the equatorward plasma flow in the nightside ionosphere from the high-latitude polar cap area to the auroral oval during the substorm pre-onset phase and two expansion onsets, EO1 and EO2 produced by reconnection in the closed magnetotail (MR1) and in the open tail lobes (MR2), respectively. We discuss a question, in what part of the geotail (near-, mid-, and/or distant) are the MR2 source and EO2 trigger mechanism localized? The upward substorm current wedge field-aligned current (FAC) and the downward FAC in the polar cap dusk sector, both produced by different types of the magnetosphere-ionosphere feedback instability, are found to provide the main contribution to the FAC system during EO1 and EO2. Also, we obtain the estimates for the EO1 and EO2 power and energy. Addressed are the variations in the tail lobe magnetic flux in association with EO2. In addition, we describe a 3-D system of mesoscale cells, each of which involves a plasma vortex and a local FAC maximum. The cells of this system in the inner magnetosphere and in the tail lobes intensify one after other within 2-minute interval. At last, we substantiate the assumption that the fast plasma flow recorded by the CLUSTER satellites 7 minutes prior to EO1, was the BBF from the most distant tail.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ КОРОТИРУЮЩИХ ПОТОКОВ СВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ ВРПЗ

И.П. Безродных¹, Е.И. Морозова¹, А.А. Петрукович¹, М.Н. Будяк²,
В.Т. Семёнов²

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия, torozova.evgeniya2014@yandex.ru

²ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», г.Москва, Россия

В работе анализируется структура потоков электронов внешнего радиационного пояса Земли (ВРПЗ), сформированных в 2007 г. при воздействии отдельных достаточно изолированных высокоскоростных потоков солнечного ветра (СВ). Для анализа использованы данные спутника LANL-GEO (диапазон энергии электронов 24.1 – 2000 кэВ) и база данных OMNI для параметров солнечного ветра. Для 30 возрастных потоков электронов исследуется зависимость энергетических спектров потоков электронов отдельно от скорости и плотности солнечного ветра. Для трех диапазонов плотности СВ 4-6 см⁻³, 6-12 см⁻³ и 12-21 см⁻³ исследована зависимость потоков электронов от скорости СВ и для и трех диапазонов скорости СВ 400-535 км/с, 535-602 км/с и 602-668 км/с исследована зависимость потоков электронов от плотности СВ. Наиболее общие средние характеристики рассматриваемых зависимостей: при увеличении скорости СВ средние потоки электронов повышаются, наиболее значительно для релятивистских энергий, при скорости больше ~ 650 км/с скорость возрастания снижается. При увеличении плотности СВ средние потоки электронов для энергий больше ~ 100 кэВ уменьшаются, наиболее значительно для релятивистских энергий и для плотностей больше ~ 12 см⁻³. Для энергий < 100 кэВ при плотности СВ до 10 см⁻³ потоки электронов увеличиваются, при плотности больше 10 см⁻³ уменьшаются. Минимум вариаций при изменении плотности и скорости СВ фиксируется для энергий электронов 170 – 350 кэВ. Показано влияние соотношения плотности и скорости в коротирующих потоках СВ на формирование структуры энергетических спектров потоков электронов ВРПЗ. Анализ экспериментальных данных показывает значительное влияние волновых процессов (пакетов EMIC, VLF и ULF волн) на ускорение и потери электронов ВРПЗ.

ASYMMETRIC EVOLUTION OF THE MAGNETOSPHERIC SUBSTORM EXPANSION PHASE IN THE EARTH'S TWO HEMISPHERES

V.V. Mishin, V.M. Mishin, S.B. Lunyushkin, Yu. Karavaev, M. Kurikalova,
Yu. Penskiikh

ISTP SB RAS, Irkutsk, Russia, vladm@iszf.irk.ru

Предлагается эмпирический сценарий асимметричного развития продольных токов (ПТ) на expansion phase (EP) глобальной магнитосферной суббури: «летнего» типа в одном полушарии и «зимнего» типа в противоположном полушарии. Получены временные ряды распределения плотности ПТ в системе мезомасштабных ячеек внутри каждой из трёх ионосферных Областей Ииджимы и Потемры (И-П). Описано взрывное развитие ПТ во время EP в секторе ~18–24 MLT Областей R1 и R2 «летнего» полушария. In contrast, на той же фазе EP сопряжённого сектора «зимнего» полушария наблюдаются признаки развала системы ПТ и взрывное усиление ПТ в секторе ~ 24–06 MLT. Кавычки здесь означают, что в равноденствие могут иметь место и «летний» и «зимний» типы. Предполагаемой причиной такой межполушарной асимметрии глобальной EP служат разделённые в пространстве два типа M-I feedback неустойчивости: между усилением ПТ и проводимостью ионосферы (тип 1), и между интенсивностью ПТ и электрическим полем (тип 2). Неустойчивость типа 1 начинается в секторе ~18–24 MLT Области 1 «летнего» полушария и служит инициатором и организатором глобальной EP, асимметричной по MLT в двух полушариях. Вблизи пика EP, M-I система находится в особом режиме, её электрическая цепь отключена от основного генератора.

КОНВЕКЦИОННЫЙ НАГРЕВ ЭЛЕКТРОНОВ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ: РОЛЬ ПОЛЯ V_y

А.В. Артемьев, А.С. Лукин

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия, as.lukin.phys@gmail.com*

В докладе рассматривается процесс нагрева холодных электронов электрическим полем утро-вечер в ходе конвекции из дальнего хвоста к Земле. Исследование посвящено роли поля V_y в распределении энергии, набираемой электронами, между продольной (вдоль внешнего магнитного поля) и поперечной (поперёк внешнего магнитного поля) степенями свободы. В качестве базовой конфигурации магнитного поля выбрана конфигурации токового слоя хвостовой области магнитосферы. Для расчёта траектории большого ансамбля электронов, движущиеся на временах конвекции плазмы из дальнего хвоста к Земле (десятки минут для усиленной конвекции и несколько часов для спокойных геомагнитных условий) используется приближение ведущего центра с уравнениями, записанными в гамильтоновой форме. Проведена проверка диапазона параметров системы, для которых приближение ведущего центра хорошо описывает динамику электронов. Выполнены расчёты эволюции функции распределения электронов при конвекции в геометрии хвоста магнитосферы с $V_y = 0$ и с $V_y \neq 0$. Результаты численных расчётов сопоставлены с известными данными спутниковых наблюдений функции распределения электронов.

ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОКОВЫХ СИСТЕМ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПЛАТО В РАДИАЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ДАВЛЕНИЯ

В.В. Вовченко¹, Е.Е. Антонова^{2,1}

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, a1246@list.ru

²НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, elizaveta.antonova@gmail.com

Проведен анализ нелинейного возмущения поля диполя системой поперечных токов, возникающих при радиальном распределении давления, на котором давление почти не зависит от радиального расстояния. Такое распределение давления фиксировалось на эксперименте. Путем нелинейного моделирования получены радиальные зависимости депрессии магнитного поля, плотности поперечного тока и объемов магнитных силовых трубок при различных значениях плазменного параметра. Показано, что при некоторых значениях плазменного параметра может измениться зависимость объема магнитной силовой трубки от радиального расстояния и появиться область отрицательного градиента объема. Обсуждена применимость полученных результатов к решению проблемы генерации крупномасштабных систем продольных токов в магнитосфере.

КОНЦЕНТРАЦИЯ И ТЕМПЕРАТУРА ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ ВДОЛЬ ГЕОМАГНИТНЫХ ОБОЛОЧЕК ВБЛИЗИ ПЛАЗМОПАУЗЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ НА СПУТНИКЕ ИНТЕРБОЛ-1

В.В. Безруких, Г.А. Котова, М.И. Веригин

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, vbez@iki.rssi.ru

Большинство орбит КА, на которых выполнялись измерения характеристик холодной плазмы в плазмосферах, позволяли получать распределения концентрации и температуры холодной плазмы в зависимости от параметра L . При этом оказывалось практически невозможным получение экспериментальных данных о распределении параметров плазмы вдоль силовых трубок или вдоль поверхностей с $L = const$. В результате эволюции орбиты высокоапогейного КА Интербол-1 в 1996-97 гг. значительные участки его траектории проходили вдоль геомагнитных оболочек $4 < L < 6$, что дало возможность получить данные о широтных профилях концентрации и температуры ионов в силовых трубках, лежащих как в периферийной плазмосфере, так и в области пограничного слоя плазмосферы, и уточнить протяженность этого слоя в радиальном направлении.

Работа выполнена при частичной поддержке программы РАН П7.

ВЫСЫПАНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ СУБРЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭНЕРГИЙ ВБЛИЗИ ПОЛЯРНОЙ ГРАНИЦЫ ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА СПУТНИКАХ «ВЕРНОВ» И «ЛОМОНОСОВ»

А.В. Богомолов¹, В.В. Богомолов^{1,2}, В.В. Калегаев¹, И.Н. Мягкова¹, М.И. Панасюк^{1,2}, В.Л.Петров¹, С.И. Свертилов^{1,2}, И.В. Яшин¹

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, г. Москва, Россия, aabooogg@sinp.msu.ru

²МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, г. Москва, Россия

Приводятся результаты наблюдений резких возрастаний потоков магнитосферных электронов в районе полярной границы внешнего радиационного пояса Земли по данным измерений на спутниках «Вернов» и «Ломоносов». Эксперимент на спутнике «Вернов», проводился с июля по декабрь 2014 г. Спутник «Вернов» имел солнечно-синхронную орбиту с высотой от 640 до 830 км и наклонение - 98.4°, что создавало благоприятные условия для регулярных измерений в полярных областях. В составе аппаратуры РЭЛЕК на спутнике «Вернов» входил спектрометр жесткого рентгеновского, гамма-излучения (0.01-3.0 МэВ) и электронов (0.2-10.0 МэВ) ДРГЭ. Для регистрации электронов высоких энергий использовались в основном детекторы блока ДРГЭ-3 прибора ДРГЭ. Этот блок состоял из трех идентичных трехслойных сцинтилляционных фосвич-детекторов (CsI(Tl)/BGO/пластмассовый сцинтиллятор) с осями, разнесенными перпендикулярно друг другу. Поле зрения каждого детекторного узла было ограничено оловянным коллиматором таким образом, что при эффективной площади одного детектора ~2 см², его геометрический фактор составлял ~2 см²ср. Также релятивистские электроны регистрировались по тормозному излучению с помощью детекторов гамма-квантов ДРГЭ-1(2) большой площади (~130 см²), ориентированных в местный зенит. В приборе ДРГЭ предусмотрена как непрерывная запись скорости счета регистрируемых частиц и квантов с временным разрешением 1 с, так и фиксация времени регистрации каждого гамма-кванта или электрона с точностью ~15 мкс, а также их энергии. Высокое временное позволило не только проводить детальный анализ переменности, но и сопоставлять измерения временных профилей событий, полученных с разными приборами комплекса аппаратуры РЭЛЕК, а также с данными других космических аппаратов и наземных измерений.

В ходе эксперимента в различных энергетических каналах построены детальные временные профили интенсивности магнитосферных электронов в областях высыпаний. Как известно, высыпания электронов из радиационных поясов связаны, прежде всего, с волновой активностью в разных диапазонах длин волн и частот (от 0.1 Гц до 15 МГц). Такие высыпания неоднократно наблюдались в ходе полета спутника «Вернов» в различных областях околоземного пространства, в том числе, в полярных областях, при пересечении дрейфовых оболочек, соответствующих высокоширотной границе внешнего радиационного пояса (L ~ 8.3, 6.9, 5.9). По-видимому, эти высыпания связаны с областью изотропизации на высокоширотной границе внешнего пояса и могут быть обусловлены рассеянием на электромагнитных (ЭМ) волнах низкой частоты, в частности ионно-циклотронных (ЭМИЦ) волнах.

Подобные высыпания электронов субрелятивистских энергий также наблюдаются на спутнике «Ломоносов», который был запущен 28 апреля 2016 г. и имеет схожую с космическим аппаратом «Вернов» орбиту – солнечно-синхронную, но с меньшей высотой (490 км). В состав научной аппаратуры на спутнике «Ломоносов» входит прибор БДРГ, детекторы которого полностью аналогичны детекторам ДРГЭ-1(2) на спутнике «Вернов» Этот прибор может использоваться для регистрации электронов релятивистских и субрелятивистских энергий. Обсуждаются предварительные данные наблюдений высыпаний магнитосферных электронов, зарегистрированных с помощью этого прибора.

ВОЗДЕЙСТВИЕ РЕЗКИХ ФРОНТОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ВЫСОКОШИРОТНУЮ ИОНОСФЕРНО-МАГНИТОСФЕРНУЮ СИСТЕМУ: СОБЫТИЕ 21-22 ИЮНЯ 2015 г.

Л.А. Дремухина¹, Л.И. Громова¹, С.В. Громов¹, Н.Г. Клейменова^{2,3}

¹ИЗМИРАН, г. Москва, (Троицк), Россия, dremukh@izmiran.ru

²ИФЗ РАН, г. Москва, Россия

³ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

Приведены результаты анализа воздействия больших ступенчатых возрастаний динамического давления солнечного ветра Pd на полярную область ионосферы Земли в период необычно длинной начальной фазы одной из самых интенсивных бурь текущего цикла солнечной активности 21-23 июня 2015 года ($Dst_{min} = -204$ нТл). Начальной фазе бури предшествовал длительный (около двух суток) интервал чрезвычайно спокойного солнечного ветра с близкими к нулю значениями Bz и By ММП. В течение предварительной фазы бури к Земле подошли три резких ударных фронта (со значениями $Pd \sim 12, 10$ и 60 нПа, соответственно), обусловленных, в первых двух случаях, возрастанием плотности солнечного ветра при низких значениях скорости, а в третьем, самом мощном, также и возрастанием значений скорости солнечного ветра. К развитию магнитной бури привел только третий удар, во время которого Bz ММП повернулась к югу и достигла значений ~ -37 нТл. Наш анализ опирается на сопоставление вариаций плазмы и магнитного поля солнечного ветра с одновременными наземными измерениями магнитометров скандинавской сети обсерваторий *IMAGE* и антиподной по LT северо-американской сети обсерваторий, измерениями магнитосферного магнитного поля спутниками миссии *SWARM*, данными о динамике положения аврорального овала по модели *OVATION*, а также данными о потоках энергичных заряженных частиц на геосинхронной орбите и высыпаниями энергичных электронов в области аврорального овала. Показано, что сценарий развития возмущений определяется предысторией условий в солнечном ветре: подход первого динамического удара после длительных спокойных условий не привел к развитию значимых возмущений, второй фронт, при флуктуирующих Bz и By ММП, привел к развитию суббуревых возмущений, а третий, при большом южном Bz ММП, вызвал развитие интенсивных суббуревых возмущений и начало бури. Обработка магнитограмм спутников *SWARM* за рассматриваемый период показала наличие значительных магнитных возмущений в области широт $>70^\circ$, соответствующих продольным токам слоистой структуры с плотностью $\sim (0.2-0.3) \mu A/m^2$, пока не нашедших отражения в существующих моделях систем высокоширотных продольных токов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПАРАБОЛОИДНОЙ МОДЕЛИ МАГНИТОСФЕРЫ В КАЧЕСТВЕ НАЧАЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ ПРИ ГИБРИДНОМ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С МАГНИТОСФЕРОЙ МЕРКУРИЯ

И.И.Алексеев,¹ Д.А. Парунакян¹, Е.С. Беленькая¹, М. Ходаченко^{1,2},
С. Дядечкин³, Esa Kallio³, Markku Alho³

¹ НИИЯФ МГУ, г.Москва, Россия

² Space Research Institute, Austrian Acad. Sci., Graz, Austria

³ Aalto University, Helsinki, Finland

Одним из способов численного моделирования взаимодействия потока солнечного ветра с планетными магнитосферами является гибридное моделирование, при котором ионы описываются в бесстолкновительном режиме, а электроны описываются безмассовой жидкостью, плотность которой определяется условием квазинейтральности. Для структуры получаемых с помощью гибридного моделирования решений определяющими являются не только набор уравнений, но и начальные и граничные условия. Если численная задача решается методом установления, то от начального условия зависит не только время выхода на квазистационарный режим, но и само полученное в итоге решение. В данной работе обсуждается методика использования параболоидной модели для задания начального приближения, а также зависимость полученного решения от направления северо-южной компоненты ММП.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С ПОВЕРХНОСТЬЮ ЛУНЫ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ВОЛНОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

М.С. Бученкова^{1,2}, А.А. Скальский¹, А.М. Садовский¹

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия, asadovsk@iki.rssi.ru, skalsky@iki.rssi.ru

²Московский физико-технический институт (государственный университет), г.Москва, Россия

Взаимодействие солнечного ветра с поверхностью Луны представляет собой интересный вид взаимодействия межпланетной плазмы с небесным телом.

Взаимодействие солнечного ветра непосредственно с реголитом Луны, с областями аномальной намагниченности на ее поверхности, наличие области разряда в шлейфе Луны на ее ночной стороне, все это вместе приводит к неравновесным функциям распределения ионов и электронов и разнообразию волновых явлений в окрестности Луны.

В работе приведен обзор наблюдений волн в окололунном пространстве и проведено сравнение различных механизмов их генерации. Особое внимание уделено областям около минимагнитосфер, которые формируются над аномально намагниченными участками поверхности Луны.

секция СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР И ГЕЛИОСФЕРА

SOLAR WIND PROPERTIES DEDUCED FROM HELIUM ABUNDANCE

J. Safrankova, T. Durovcova, Z. Nemecek

*Charles University, Faculty of Mathematics and Physics, Prague, Czech Republic,
jana.safrankova@mff.cuni.cz*

Helium plays a significant role in dynamics and formation of the structure of the solar corona and solar wind. Its relative abundance is an important parameter that is often used for the determination of an origin of solar wind structures, such as the streamers extending into the heliospheric current sheet. Based on the Wind data, Kasper et al. (2007) and Richardson & Kasper (2008) have shown that a highly averaged (250 days) relative helium abundance in the slow solar wind ($v < 420$ km) is correlated with the sunspot number and ranges between 1% and 4%, whereas this abundance is nearly constant and equal to $\approx 4\%$ in the high-speed solar wind. However, this rough division is too simple and does not correspond with long-term Wind observations of the solar wind plasma and magnetic field.

We present the experimental study of different solar wind properties where helium content serves as their indicator. We used 2D histograms of the ratio of proton and alpha velocities and the cone angle of the interplanetary magnetic field. We found various combinations of solar wind properties that differ in parameters of the helium component. Finally, we discuss these changes in view of solar wind sources and a solar wind evolution along the path to the L1 point.

ДИНАМО НА ГЕЛИОПАУЗЕ

Е.С. Беленькая

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, elena@dec1.sinp.msu.ru

При пересечении гелиопаузы на геоцентрическом расстоянии 121,7 а.е. Voyager 1 обнаружил усиление магнитного поля в 2 раза. При этом ориентация поля осталась неизменной, соответствующей спирали Архимеда. Для объяснения этого явления предложен механизм динамо, действующий сразу за гелиопаузой во внешнем гелиошисе. Перечислены необходимые условия действия динамо и показано, что все они выполняются в рассматриваемой области. Приведены соответствующие энергетические оценки.

ФОРМИРОВАНИЕ ИОННОГО СОСТАВА МЕЖПЛАНЕТНЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ

Ф.Ф. Горяев¹, В.А. Слемзин¹, Д.Г. Родькин¹, П. Пагано²

¹*Физический институт им. П.Н. Лебедева (ФИАН), г. Москва, Россия, goryaev_farid@mail.ru*

²*School of Mathematics and Statistics, University of St. Andrews, North Haugh, St. Andrews, Fife KY16 9SS, Scotland, UK*

Межпланетные корональные выбросы массы (МКВМ), образующиеся на Солнце в результате спонтанной активности в виде вспышек и корональных выбросов массы (КВМ), являются одним из основных факторов космической погоды. По ионному составу МКВМ можно судить о состоянии плазмы в источнике выброса, что связано с тем, что ионный состав плазмы «замораживается» на расстояниях нескольких солнечных радиусов от поверхности Солнца. Однако при прохождении КВМ через корону от источника до области «замораживания» состояние плазмы эволюционирует в процессе изменения ее температуры, плотности и, как следствие, ионного состава. В настоящей работе разработан подход, который позволяет исследовать эволюцию ионного состава плазмы выброса при ее движении от источника типа вспышки до области «замораживания». В качестве примера, мы рассмотрели эволюцию ионного состава элементов Fe, O и C для солнечного события 2 августа 2011г, сопровождавшегося вспышкой и выбросом, при котором МКВМ достигло Земли 4 августа 2011г. Формирование КВМ рассматривалось с использованием карт магнитного поля по данным SDO/HMI и изображений с телескопа AIA/SDO с помощью численного расчета в рамках модели NLFFF/MHD (Pagano et al. 2013). МГД расчеты показали рост температуры в ядре выброса до 4 МК с последующим охлаждением, что согласуется с изменением яркости структуры в канале AIA 211 Å. Кроме того, изменение высоты фронта КВМ со временем по МГД расчету хорошо согласуется с наблюдениями КВМ на лимбе с помощью телескопа STEREO-A/EUVI в канале 171 Å. Диагностика параметров плазмы выполнялась по данным ВУФ каналов AIA. Для основания эруптирующей структуры при видимом расширении в пределах $0.1-0.13 R_{\text{sun}}$ от поверхности Солнца температура изменялась в пределах от 2.7 до 1.7 МК, а плотность от 10^9 до $5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$. Это существенно ниже значений, полученных с помощью МГД расчета до расстояний $\approx 0.25 R_{\text{sun}}$ для апекса замкнутой магнитной структуры КВМ, что свидетельствует о том, что нагрев эффективнее в верхней части расширяющейся плазмы и происходит за пределами области вспышки. Для расчета зарядового состава ионов C, O и Fe в движущейся плазме использовались кинетические уравнения баланса, в которых учитывались процессы ионизации и рекомбинации. До расстояний $\approx 0.25 R_{\text{sun}}$ параметры плазмы брались из МГД расчетов, а выше использовались модельные предположения с учетом остывания плазмы из-за процессов теплопроводности и излучения, а также адиабатического расширения. Область расстояний, на которых происходит «замораживание» ионного состава, определяется в результате прямого расчета. Сравнивая рассчитанные параметры ионного состава МКВМ с измеренными у Земли, мы установили, что они согласуются при условии наличия дополнительного источника нагрева, средняя мощность которого уменьшается с высотой от $\sim (5-6) \cdot 10^{-3}$ (эрг $\text{см}^{-3} \text{ с}^{-1}$) для расстояний $\approx 0.5-1.5 R_{\text{sun}}$ до $\sim (1-2) \cdot 10^{-5}$ (эрг $\text{см}^{-3} \text{ с}^{-1}$) при $\sim 1.5 R_{\text{sun}}$ и выше. Анализ ионного состава плазмы КВМ помогает прояснить связь между параметрами МКВМ и свойствами их источников на Солнце, что весьма актуально для проблемы идентификации источников солнечного ветра и открывает новые возможности для улучшения моделей прогнозирования космической погоды.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕЛИОСФЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И МОДУЛЯЦИЯ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

**М.С. Калинин, Г.А. Базилевская, М.Б. Крайнев, Н.С. Свиржевский,
А.К. Свиржевская**
ФИАН, г. Москва, Россия, mkalinin@fian.fiandns.mipt.ru

По данным космических аппаратов *Улисс*, *Вояджер 1*, *Вояджер 2*, а также по данным базы OMNI проанализированы спектральные характеристики турбулентной составляющей гелиосферного магнитного поля на широком временном интервале. Показано, что показатель спектра мощности флуктуаций существенно зависит от фазы цикла солнечной активности, гелиоцентрического расстояния и гелиошироты. Среднее значение показателя спектра мощности в пределах секторной зоны выше (≈ 1.2), чем вне секторной зоны (≈ 0.8). На расстояниях более ≈ 50 а.е. зависимость показателя от фазы солнечного цикла постепенно исчезает. Результаты анализа были применены в рамках решения транспортного уравнения для описания интегральной интенсивности галактических космических лучей на широком временном интервале (за три 11 – летних солнечных цикла, 1983-2013 гг.). Учёт пространственной зависимости тензора диффузии позволяет корректно описать минимумы 21/22 и 23/24 циклов солнечной активности, сильно отличающиеся по уровню интенсивности, при одинаковых значениях модельных параметров.

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ ГРАНИЦЫ ГЕЛИОСФЕРЫ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖЗВЕЗДНОГО ВОДОРОДА ВНУТРИ ГЕЛИОСФЕРЫ

П.Д. Минаев, В.В. Измоденов, О.А. Катушкина
*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия, p142800@gmail.com*

Известно, что нейтральные атомы водорода попадают в гелиосферу (область вокруг Солнца, занятую солнечным ветром) из локальной межзвездной среды за счет большой длины свободного пробега, которая сравнима с размерами гелиосферы. По этой же причине для определения физических параметров этих атомов нельзя применять газодинамический подход, а необходимо решать кинетическое уравнение. Перезарядка межзвездных атомов на протонах в районе границы гелиосферы приводит к тому, что внутри гелиосферы функция распределения атомов по скоростям существенно отличается от первоначальной в межзвездной среде. В частности, известно, что функция распределения становится асимметричной относительно максимума. В работе представлено решение кинетического уравнения для функции распределения атомов водорода по скоростям с различными граничными условиями, заданными на расстоянии 90 а.е. от Солнца. Проводится сравнение результатов, полученных с учетом и без учета асимметрии функции распределения атомов на 90 а.е. Это позволяет исследовать роль эффектов границы гелиосферы на параметры атомов вблизи Солнца. Кроме самой функции распределения нейтральных атомов, также анализируются её моменты, такие как, концентрация, температура и средняя скорость атомов водорода.

КВАЗИДВУХЛЕТНИЕ ВАРИАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ И СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

В.П. Охлопков

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, ovpetrovich@yandex.ru

Исследованы квазидвухлетние вариации потока галактических космических лучей (ГКЛ) по данным стратосферного зондирования и измерений нейтронными мониторами, различных проявлений солнечной активности и параметров межпланетной среды. При этом данные по среднему магнитному полю Солнца (СМП) были сформированы из наблюдений Крымской и Стенфордской обсерваторий, по данным которых рассчитаны три ряда: средние за месяц значения положительных ежедневных данных, СМП₊, средние за месяц значения отрицательных ежедневных данных, СМП₋, средние за месяц абсолютные значения, |СМП|.

В солнечной активности квазидвухлетние вариации ярко выражены при больших уровнях активности. В минимумах СА их амплитуды КДВ минимальны.

В стратосфере и в нейтронной компоненте наибольшего развития исследуемые квазидвухлетние вариации КЛ достигают в периоды максимумов и спадов солнечной активности (20 – 23 циклы СА). В периоды минимумов СА их амплитуды минимальны. КДВ в КЛ имеют явно выраженную 11-летнюю модуляцию. В 24-м цикле СА эта связь нарушается.

Кросскорреляционный анализ показывает, что квазидвухлетние вариации КЛ в 1967-1976 гг., 1987- 1992 гг. и в 1996-2001 гг. более тесно связаны с квазидвухлетней вариацией СМП₊ в 1978-1986 гг. с вариацией СМП₋. Однако в 1987-1992 гг. корреляционная связь одинаково хороша как с СМП₊, так и с СМП₋. Сдвиг по фазе между КЛ и СМП в различные периоды времени колеблется в интервале 2-6 месяцев.

Очень высокая связь проявляется между межпланетным магнитным полем (ММП) и СМП. Коэффициенты корреляции составляют 0.90-0.95 с запаздыванием ММП на 1-2 месяца.

Очень высокая корреляция КЛ наблюдается с межпланетным магнитным полем. Коэффициенты корреляции 0.90 с запаздыванием КЛ на 1-2 месяца.

Показано, что двухлетние вариации ГКЛ вызваны вариациями с тем же периодом в среднем магнитном поле Солнца, совпадают с ними по времени и проявляются в противофазе, имеют отклик на знак этого поля. Квазидвухлетняя вариация космических лучей вызывается квазидвухлетней вариацией среднего магнитного поля Солнца через квазидвухлетнюю вариацию межпланетного магнитного поля.

ОСОБЕННОСТИ ЧАСТОТНЫХ СПЕКТРОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ, СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ПАРАМЕТРОВ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ

В.П. Охлопков

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, ovpetrovich@yandex.ru

Исследование квазипериодичностей (методом спектрального анализа) в 5 циклах солнечной активности (СА, за период с 1965 по 2015 год отдельно по циклам солнечной активности) как в потоках космических лучей (КЛ), так и в параметрах солнечной активности и межпланетной среды позволило выявить устойчивые сдвиги спектральных линий в частотных спектрах в сочетаниях четный-нечетный циклы СА (20 – 21 и 22 - 23).

Проявления квазидвухлетней периодичности в КЛ, четко присутствующей и в среднем магнитном поле Солнца как звезды (СМП) и синхронно изменяющей свой период в этих параметрах от цикла к циклу, свидетельствует о связи этой периодичности в КЛ с СМП через квазидвухлетнюю вариацию межпланетного магнитного поля. Квазидвухлетняя периодичность КЛ в четных (22.0-23.5 месяца) и нечетных (20-21 месяц) циклах различается по длительности примерно на 2 месяца. В отличие от квазидвухлетней вариации период годовой вариации и вариации с $T = 9.1 - 10$ в четных циклах меньше, чем в нечетных. Квазипериодичность с $T = 15 - 16$ месяцев проявляется в четных циклах. Можно представить частотную структуру, начиная с квазидвухлетней периодичности, следующей схемой: четный цикл (23 – 16 – 12 – 9.2 – 7.7 – 6.5), нечетный цикл (20.4 – 13 – 10.5 – 8.7 – 7.3 – 6.2). При отсутствии в нечетных циклах квазипериодичности 15 – 16 месяцев, это место занимает квазипериодичность 13 месяцев. Остальные более высокочастотные вариации при этом сдвигаются в сторону уменьшения периода. Таким образом, мы видим проявление 22-летнего цикла в длительности периодичностей, особенно ярко выраженной в квазидвухлетней вариации. Хорошо известен 22-летний цикл в СА, в котором особыми свойствами обладают 11-летние циклы СА в сочетании четный-нечетный циклы, в частности, это проявляется в относительных высотах циклов в парах четный-нечетный, в промежутках между максимумами 11-летних циклов, в формах кривых временного хода циклов. Все это нашло отражение в частотных спектрах.

ПРОХОЖДЕНИЕ СКВОЗЬ МАГНИТОСФЕРУ CIR-ПОТОКА СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

А.С. Потапов

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, potapov@iszf.irk.ru

Рассмотрено прохождение потока CIR (corotating interaction region) сквозь магнитосферу путем сопоставления данных измерения плазменно-магнитной структуры потока до и после взаимодействия потока с магнитосферной полостью. Используются данные измерений 11 февраля 2004 г. на космических аппаратах ACE и WIND, находившихся соответственно вблизи точек либрации L1 и L2. Показано что, несмотря на заметное искажение, как плазменная, так и магнитная структура потока сохраняется. Однако хвостовая часть потока CIR подвержена сильной деформации. По другим событиям оценена частота появления и основные характеристики токовых, а также холодных и «горячих» (с высоким значением β) плазменных слоев внутри сдвиговой структуры CIR-потоков. Для 30 проанализированных событий CIR обнаружено 127 токовых слоев с плотностью тока более 0.12 A/m^2 и только 41 «горячий» слой ($\beta > 5$). Получены оценки того, насколько часто фронт CIR-потоков совпадает с гелиосферным токовым слоем (ГТС). В рассмотренных событиях полное совпадение (в пределах часа) имело место в 17% случаев, и полностью связь фронта CIR с ГТС отсутствовала в 47% случаев. В остальных событиях фронт потока не совпадал с ГТС на несколько часов. Результаты позволяют лучше понять эволюцию коротящих потоков солнечного ветра. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 16-05-00631 и 16-05-00056, а также Программы 7 Президиума РАН (проект 0344-2015-0018).

ВЛИЯНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОСКОРОСТОГО ПОТОКА СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И КОРОНАЛЬНОГО ВЫБРОСА МАССЫ В КОРОНЕ НА ИОННЫЙ СОСТАВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Д.Г. Родькин¹, В.А. Слемзин¹, Ю.С. Шугай², И.С. Веселовский^{2,3}

¹*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия,
rodkindg@gmail.com*

²*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Научно-исследовательский институт ядерной физики
им. Д.В. Скобельцына, Москва, Россия*

³*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

В работе рассмотрено взаимодействие в короне коронального выброса массы (КВМ) и высокоскоростного потока солнечного ветра (ВСП СВ) из корональной дыры (КД). Взаимодействие потоков солнечного ветра (СВ) зависит от взаимного расположения корональных источников – КД и активной области (АО) – и их магнитной конфигурации. В результате такого взаимодействия могут измениться такие параметры СВ, как скорость и плотность протонов, магнитное поле и ионный состав. На примере двух событий июня – июля 2012 года (периоды 08.06.2012 – 10.06.2012 и 05.07.2012 - 06.07.2012) анализировалось влияние взаимодействия КВМ и ВСП СВ из КД на ионный состав СВ (измеренный по данным космического аппарата ACE). Для полученных данных о КВМ, которые были направлены в сторону Земли, а также установления связи с их корональными источниками, АО, использовались изображения, получаемые с космических аппаратов (КА): STEREO-A, STEREO-B, SDO(AIA), SOHO(LASCO). В первом случае источник – АО 1493 - примыкает к КД, и полярность магнитного поля ближайшего к КД пятна АО противоположна полярности КД. В этих условиях взаимодействие КВМ с ВСП СВ было сильным и вероятно, привело к слиянию потоков в результате пересоединения части линий магнитного поля в нижней области короны, где состояние плазмы определяется столкновениями. В результате перемешивания с более холодным потоком плазмы из КД, кратность ионизации ионов плазмы КВМ существенно понизилась до величин, соответствующих температуре ВСП СВ из КД. Во втором событии расстояние между источниками было большим, ВСП находился на спаде, и взаимодействия в короне, скорее всего, не было, поэтому степень ионизации СВ была типичной для МКВМ. Таким образом, результат взаимодействия между КВМ и ВСП СВ зависит от расстояния между их источниками и их магнитной конфигурации, что нужно учитывать при прогнозировании параметров СВ.

МЕЖПЛАНЕТНЫЕ КОРОНАЛЬНЫЕ ВЫБРОСЫ МАССЫ И ИХ ИСТОЧНИКИ В 24 СОЛНЕЧНОМ ЦИКЛЕ

**В.А. Слемзин¹, Д.Г. Родькин¹, Ф.Ф. Горяев¹, Ю.С. Шугай²,
И.С. Веселовский^{2,3}**

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева (ФИАН), г. Москва, Россия, slem@sci.lebedev.ru

²НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

³ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

Межпланетные корональные выбросы массы (МКВМ) являются наиболее геоэффективными транзиентными потоками солнечного ветра, связанными с процессами спонтанной солнечной активности – корональными выбросами массы (КВМ) и вспышками. Процессы формирования МКВМ могут быть изучены с помощью анализа ионного состава плазмы транзиентов и его сопоставления с параметрами источников. В отличие от таких параметров МКВМ, как скорость и магнитное поле, благодаря эффекту «замораживания» ионного состава на выходе из короны ($4-5 R_{\text{Sun}}$), он практически не меняется во время прохождения транзиента через гелиосферу. Таким образом, распределение ионного состава внутри потока солнечного ветра несет информацию об источнике транзиента и его прохождении через нижнюю корону.

В данной работе были определены источники МКВМ 24го солнечного цикла из базы данных Ричардсона и Кейн (Richardson&Cane), проанализирован ионный состав МКВМ и исследована корреляция ионных параметров МКВМ с характеристиками источников: рентгеновскими потоками вспышек и скоростью КВМ. Составлена комбинированная база данных за период 2009-2015гг., включающая данные о 165 МКВМ (времена начала и окончания, скорость, ионный состав) и корональных источниках (времена начала вспышек и КВМ), скорость КВМ, балл вспышки), и проанализирована корреляция параметров МКВМ с параметрами источников и уровнем солнечной активности (среднегодовым числом солнечных пятен).

Анализ показал, что за первые 7 лет 24-го солнечного цикла (2009-2015) число МКВМ уменьшилось на 25% по сравнению с таким же периодом 23-го цикла, притом, что число КВМ увеличилось на 80%, а число вспышек незначительно уменьшилось (-15%). Доля МКВМ, определяемых как магнитные облака, выросла с 61 до 78%. Это означает, что МКВМ, и особенно, магнитные облака, наиболее эффективно возникают в результате КВМ, сопряженных со вспышками. Распределения значений ионных параметров МКВМ в 24 цикле показали, что ионизационное состояние углерода, кислорода и железа для магнитных облаков соответствуют более высокой температуре источников, чем для общей массы транзиентов. Распределение температурно-зависимого параметра – отношения плотностей ионов O^{7+}/O^{6+} относительно скорости протонов в 24 цикле, в целом, соответствует зависимости, установленной по данным 23 цикла (Richardson&Cane, 2004), однако, степень корреляции между этими параметрами низкая (0.23). Подтверждается существование связи среднего заряда ионов железа в МКВМ с рентгеновским потоком ассоциированных вспышек (Gopalswamy et al., 2013). В то же время, скорость протонов МКВМ практически не коррелирует со скоростью КВМ на выходе из короны. Результаты проведенного исследования будут использованы при выборе оптимальных параметров источников для использования при прогнозировании параметров МКВМ.

О РЕГУЛЯРНЫХ ИСТЕЧЕНИЯХ ПЛАЗМЫ С ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЦА

К.И. Никольская

ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, knikol@IZMIRAN.ru

Анализируются наблюдения Солнечной Короны с телескопом TRACE – с высоким пространственным разрешением ($\sim 1''$), с телескопами Skylab, SOHO и других спектрофотометрических наблюдений короны (FIP BIAS-effect), а также скоростей солнечного ветра КА Ulysses. Основные выводы. С поверхности Солнца имеет место перманентное высокоскоростное истечение плазмы, ответственное за образование Солнечной короны и солнечного ветра. Солнечная корона формируется в результате захвата потоков фотосферной плазмы замкнутыми магнитными полями активных областей на поверхности Солнца и нагревается за счет энергии, освобождающейся при остановке потоков в замкнутых магнитных полях активных областей. Солнечный ветер – высокоскоростной - с $V = 700-800 \text{ км/с}$, - те же потоки, покинувшие Солнце в отсутствие замкнутых магнитных полей, и медленный СВ с $V \leq 500 \text{ км/с}$ – потоки, испытавшие торможение в ЗМ полях.

ОПТИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП С КОМПЛЕКСОМ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ЛУННОЙ ПЫЛИ

Х.И. Абдусаматов

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Россия,
abduss@gao.spb.ru*

Лунная пыль может представлять определенную проблему при проведении долговременных прецизионных фотометрических наблюдений астрономических объектов, в том числе и Земли оптическим телескопом. Оптический телескоп должен быть застрахован комплексом систем защиты его зеркал от возможного попадания заряженных частиц лунной пыли, парящих в приповерхностном слое на высоте порядка нескольких сот миллиметров, особенно в дневное время. Разработан трехзеркальный внеосевой оптический телескоп с выдвижным козырьком для проведения долговременных фотометрических наблюдений Земли с поверхности Луны в ночное время. Предложено устройство (патент РФ № 164303) для защиты оптического телескопа от заряженной лунной пыли, представляющее собою чашу, выполненную в виде перевернутого усеченного конуса, снабженную в центральной зоне креплениями для установки в нее телескопа. Внешняя поверхность чаши покрыта электроизолированной электропроводящей оболочкой, подключенной к блоку электропитания, расположенному в чаше, и имеющей электрический заряд с заданной частотой смены полярности, в частности в зависимости от смены дня и ночи на данной поверхности Луны. При этом чаша, имеющая опорные ноги высотой по вертикали порядка 300 мм, выполнена с возможностью расположения над ровной площадкой поверхности Луны так, что ее верхний уровень расположен на высоте более 1000 мм над поверхностью. Нижний край входного зрачка телескопа в горизонтальном положении трубы находится выше верхнего уровня чаши, а торцы трубы в вертикальной проекции не достигают верхней внутренней поверхности конуса. Кроме того, внешняя поверхность входного зрачка и поверхности зеркал оптического телескопа покрыты электроизолированными электропроводящими оболочками, подключенными к блоку электропитания, расположенному в чаше, и имеющими электрический заряд с заданной частотой смены полярности, в частности в зависимости от смены дня и ночи на данной поверхности Луны. При долговременных прецизионных фотометрических наблюдениях Земли предлагаемый комплекс систем защиты оптического телескопа от заряженных частиц лунной пыли является наиболее эффективным для страховки и предохранения поверхности его зеркал от заряженных частиц лунной пыли как в ночное, так и особенно в дневное время. В области лунного терминатора наблюдения не проводятся.

**секция НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ВОЛНОВЫЕ
ПРОЦЕССЫ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ**

THE VLF EMISSIONS OVER RUSSIAN ALPHA TRANSMITTERS BY DEMETER OBSERVATIONS

X. Zhang¹, S. F. Zhao¹, Y. Ruzhin², R. Son⁹¹

¹*Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China*

²*Pushkov Institute of Terrestrial magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation Russian Academy of Science, Moscow 142190, Russia, ruzhin@izmiran.ru*

The spatial distribution features over three Russian Alpha navigators were analyzed based on the DEMETER satellite records at local nighttime during the solar minimum in December of 2008, in which the three transmitters are with the same emitted power of 500 kW and all the same emitted radio waves at 11.9 kHz, 12.6 kHz and 14.9 kHz. The results showed that the maximal electric field reached $10^{3-4} \mu\text{V}^2\text{m}^2\text{Hz}^{-1}$ in the topside ionosphere of 670 km, and the horizontal covered area even exceeded 80° in longitude with electric field above $10\mu\text{V}^2\text{m}^2\text{Hz}^{-1}$ at 14.9 kHz.

Among three transmitters, the lowest electric field and the smallest longitude scale were detected over the west Krasnodar (KRA) station at 14.9 kHz, which is demonstrated that the highest electron density at lower ionosphere plays an important negative role by the simulation results from the full-wave propagation model. Another feature over KRA was the significant decrease in electromagnetic field strength at 11.9 kHz and 12.6 kHz, being one order of magnitude lower than others, where the lower hybrid resonance (LHR) waves with close frequency at topside ionosphere affected severely the VLF electromagnetic wave propagation. The simulation results revealed the effects of background plasma parameters and geomagnetic field on the VLF propagation into the ionosphere. Negative relationship is illustrated between electron density and the intensity of electric field in topside ionosphere, which well explains the lowest electromagnetic wave intensity over the west KRA transmitter at all three frequency points. The geomagnetic inclination leads the maximal intensity moving to the south of the three transmitters, and fast attenuation at north direction.

Compared with the ground VLF observations at Tonghai in China, the most complex variations were detected from KRA with three frequencies, while the signals from KHA and NOV were quite similar with each other in strength and diurnal changes at three frequencies. And KHA maintained high strength in a longer distance than NOV in local nighttime, which is consistent with the large longitudinal covering scale at satellite altitude in topside ionosphere.

КРИТЕРИИ ОБЪЕДИНЕНИЯ ТОРСИОННЫХ АЛЬФВЕНОВСКИХ И МЕДЛЕННЫХ МАГНИТОЗВУКОВЫХ ВОЛН, СОЗДАВАЕМЫХ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ПЛАЗМОЙ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ В ВАКУУМЕ И В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ С МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

В.Н. Тищенко, Ю.П. Захаров, И.Ф. Шайхисламов, А.Г. Березуцкий,
Э.Л. Бояринцев, А.В.Мелехов, А.Г. Пономаренко, В.Г. Посух,
П.А. Прокопов.
ИЛФ СО РАН, г. Новосибирск, Россия, a.berezuckiy@yandex.ru

Механизм объединения волн (МОВ), создаваемых периодическими сгустками плазмы взрывного характера (далее - источник), доказан авторами для газов, плазмы с магнитным полем и магнитного поля в вакууме, что соответствует ионосфере – магнитосфере Земли. Примеры типичных источников – взрывные генераторы плазмы в активных экспериментах “Флаккус 1, 2” в ионосфере, последовательность оптических пробоев в воздухе или на мишени. При “резонансе” источника с фоном формируются низкочастотные волны: в воздухе – инфразвук, в плазме с магнитным полем - торсионная Альфвеновская (АВ) и медленная магнитозвуковая (МВ) волны, которые переносят импульс (МВ) и момент импульса (АВ) в узкой силовой трубке магнитного поля [1,2]. В магнитном поле в вакууме источник создает поток вращающейся плазмы, обладающий свойствами АВ и МВ [3]. С использованием расчетов определены критерии, при выполнении которых МОВ действует и амплитуда волн максимальна.

В настоящей работе осуществлена экспериментальная проверка критериев. На стенде КИ-1 ИЛФ СО РАН, лазерные импульсы CO_2 -лазера последовательно создавали вспышки двухкомпонентной ($2\text{H}^+ + \text{C}^{3+}$) плазмы на облучаемой мишени. Взаимодействие источника с фоном наблюдается при следующих условиях: безразмерная частота пульсаций источника [2-3], $0.3 < \omega < 0.5$, отношение теплового давления к давлению магнитного поля $\beta < 1$ – условие формирования АВ, $\alpha > 5$ – отношение ларморовского радиуса к ионно - плазменной длине, радиус Лармора $R_L \sim 1$. Критерии применимы так же для ионно-плазменной трубки в магнитном поле в вакууме. При выполнении критериев, вдоль поля распространяется поток плазмы, содержащий, как и совмещенные в пространстве АВ и МВ, продольный ток, электрические и магнитные поля, а при $\alpha > 1$ и $R_L \sim 0.3 \div 1$, интенсивность момента импульса АВ максимальна. В эксперименте $R_L \sim 0.4$, что близко к диапазону, в котором амплитуда АВ слабо зависит от R_L .

Таким образом, при выполнении критериев, в силовой трубке магнитного поля МОВ и лазерная плазма формируют низкочастотные АВ и МВ. Критерии объединения позволяют определить параметры сгустков лазерной плазмы (частоту и энергию вспышек, температуру, массу и заряд ионов), для формирования протяженных низкочастотных волн - торсионных Альфвеновских и медленных магнитозвуковых волн.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН «Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звезд», программы исследований СО РАН (проект И.10.1.4, 01201374303).

ЛИТЕРАТУРА

1. Тищенко В.Н., И.Ф.Шайхисламов. «Квантовая электроника», 44, № 2 (2014), с.98 – 101.
2. Тищенко В.Н., И.Ф. Шайхисламов, А.Г. Березуцкий. “Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности”: М.: МГУ, 2014, с. 65 – 74.
3. Тищенко В.Н., Ю.П. Захаров, И.Ф. Шайхисламов, А.Г. Березуцкий, Э.Л. Бояринцев, А.В.Мелехов, А.Г. Пономаренко, В.Г. Посух, П.А. Прокопов. *ПЖЭТФ*, 2016, т.104, в.5, с.302.

НЕОБЫЧНАЯ УЗКОПОЛОСНАЯ ЭМИССИЯ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЧАСТОТЫ: ВОЗМОЖНЫЙ СЦЕНАРИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ

А.С. Потапов¹, Б.В. Довбня², Т.Н. Полюшкина¹, Д.Г. Баишев³

¹ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, potapov@iszf.irk.ru

²ГО Борок ИФЗ РАН, Ярославская область, Россия

³ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия

Представлены результаты анализа необычно длительного узкополосного излучения в диапазоне Pc1 с возрастающей несущей частотой от 0.5 до 3.5 Гц. Событие наблюдалось 17 марта 2013 г. на фоне главной фазы сильной магнитной бури, вызванной приходом высокоскоростного потока солнечного ветра с ударной волной в голове потока и длительным интервалом отрицательных значений вертикальной компоненты межпланетного магнитного поля. Излучение длительностью около 9 часов имело локальный характер, проявляясь лишь на трех станциях, находящихся в интервале географических долгот $\lambda = 100^\circ - 130^\circ$ в.д. и магнитных оболочек $L = 2.2 - 3.4$. Несущая частота сигнала возрастала в ступенчатом режиме от 0.5 до 3.5 Гц. Предложена интерпретация излучения на основе стандартной модели генерации ионно-циклотронных волн в магнитосфере за счет резонансного взаимодействия с потоками ионов умеренных энергий. Предполагается, что непрерывный сдвиг области генерации, располагающейся во внешней области плазмосферы, на меньшие L -оболочки способен объяснить как локальность явления, так и диапазон повышения частоты. Узкая полоса излучения обязана образованию так называемых носовых структур в энергетическом спектре внедряющихся из геомагнитного хвоста в магнитосферу потоков ионов. Составлен один из возможных вариантов умозрительного сценария развития процессов, приводящих к генерации наблюдавшегося излучения с указанием конкретных значений положения области генерации, плотности плазмы, магнитного поля и энергии резонансных протонов. Обсуждаются морфологические отличия рассмотренного излучения от известных типов геомагнитных пульсаций и причины, приведшие к появлению столь необычного события. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 16-05-00631, 16-05-00056 и 15-45-05108, а также Программы 7 Президиума РАН (проект 0344-2015-0018).

ПОРОГ ВОЗБУЖДЕНИЯ ВОЛН, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ ПОД УГЛОМ К МАГНИТНОМУ ПОЛЮ, В МАГНИТОСФЕРНОМ ЦИКЛОТРОННОМ МАЗЕРЕ В РЕЖИМЕ ЛАМПЫ ОБРАТНОЙ ВОЛНЫ

В.С. Грач¹, А.Г. Демехов^{2,1}

¹ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, vsgrach@appl.sci-nnov.ru

²ПГИ, г. Апатиты, Россия

Уравнения, описывающие режим лампы обратной волны в магнитоактивной плазме при наличии перепада («ступеньки») на функции распределения энергичных заряженных частиц по скоростям, обобщены на случай произвольного направления распространения волны по отношению к внешнему магнитному полю и произвольной волновой моды. Полученная система уравнений описывает резонансное взаимодействие произвольной моды как с встречным, так и с попутным потоком энергичных электронов (при этом взаимодействие с разными потоками происходит на разных гармониках циклотронного резонанса).

Для свистовых волн для случая, когда взаимодействие происходит только с встречным потоком на основном циклотронном резонансе, получена зависимость порога возникновения неустойчивости в режиме лампы обратной волны от угла χ между волновым вектором \mathbf{k} и внешним магнитным полем \mathbf{B} . Показано, что безразмерный параметр связи ρ , превышение которым пороговой величины ρ^{thr} определяет условие возбуждения волн, имеет наибольшее значение при продольном распространении и стремится к нулю при стремлении угла распространения χ к резонансному конусу. Зависимость $\rho(\chi)$ может иметь как монотонный, так и не монотонный характер, в зависимости от параметров фоновой плазмы и энергии частиц.

В случае взаимодействия свистовых волн с электронами достаточно низких энергий необходимо учитывать влияние взаимодействия волны с попутным потоком электронов на «нулевом резонансе» (затухание Ландау). На примере неустойчивости в безграничной среде продемонстрировано, что этот фактор приводит к уменьшению инкремента неустойчивости вплоть до нуля, если функция распределения частиц убывает с ростом продольной энергии.

Зависимость порога возникновения неустойчивости от угла χ определена также для медленной необыкновенной волны (Z-моды) для случая достаточно разреженной плазмы, когда частота Z-моды меньше гирочастоты электронов. Показано, что существует некоторый угол $0 < \chi < \pi/2$, при котором параметр ρ максимален.

НОЧНЫЕ РСЗ ПУЛЬСАЦИИ: ИСТОЧНИКИ ВНЕ И ВНУТРИ МАГНИТОСФЕРЫ

Н.В. Ягова

ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, nyagova@yandex.ru

Исследуются спектральные параметры геомагнитных пульсаций диапазона 30–80 мГц, наблюдаемых в ночном секторе (ночные РСЗ) по данным наземных и спутниковых измерений. Анализируется пространственное распределение поля пульсаций и параметры магнитного поля, плазмы и частиц вне и внутри магнитосферы, благоприятные для их генерации. Обнаружено, что ночные РСЗ имеют внутри плазмосферы амплитудный максимум на широтах резонансного максимума классических дневных РСЗ. Обсуждаются механизмы генерации и резонансного усиления высокочастотного сигнала в условиях ночной ионосферы.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ВЫСОКОШИРОТНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ

Н.Р. Зелинский¹, Н.Г. Клейменова¹, С.В. Громов²

¹ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, hello_nikita@mail.ru

²ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия

Применительно к исследованию геомагнитных пульсаций были разработаны алгоритмы новых математических методов интегральных преобразований, обычно используемых в анализе временных рядов. Так, был модифицирован алгоритм вычисления выпрямляющего функционала «Обобщенная дисперсия собственных значений матрицы ковариации», характеризующего приращение суммарной горизонтальной амплитуды колебаний относительно фоновых значений в выбранный интервал времени. Обобщенная дисперсия вычислялась как Колмагоровское среднее двух-компонентной (X и Y) матрицы ковариации (т.е. поляризации). Для анализа одной компоненты магнитного поля, а также скорости и плотности солнечного ветра был использован другой выпрямляющий потенциал - «энергия фрагмента обзора». Объектом нашего исследования были иррегулярные геомагнитные пульсации типа $Pi3$ в полосе частот 2-7 мГц, зарегистрированные на скандинавском профиле магнитометров IMAGE в начальную фазу магнитной бури 22 января 2012 г. Интенсивный всплеск $Pi3$ пульсаций наблюдался около геомагнитного полдня в интервале, когда на короткое время (порядка одного часа) направление межпланетного магнитного поля (ММП) изменилось с северного на южное, т.е. положительные значения B_z ММП сменились отрицательными. Установлено, что спектральные характеристики пульсаций $Pi3$ были различными на геомагнитных широтах выше и ниже границы области замкнутых и открытых силовых линий геомагнитного поля. Как показали вычисления «генеральной дисперсии» всплеск $Pi3$ пульсаций во внутренней магнитосфере был синхронным, в то время как в полярных широтах наблюдался еще один предшествующий всплеск колебаний. Спектр полярных пульсаций оказался подобным спектру вариаций в компонентах ММП. Спектры пульсаций на широтах 57-67° (т.е. во внутренней магнитосфере) были подобны между собой, но отличались от полярных в деталях, однако характеризовались общим максимумом на ~3.2-3.3 мГц. Этот же максимум наблюдался и в спектре компонент ММП и плотности солнечного ветра. Анализ морфологических характеристик обсуждаемых пульсаций показал, что их нельзя отнести к хорошо известным резонансам силовых линий, источник колебаний, по-видимому, связан с флюктуациями в турбулентном магнитослое.

ДИНАМИКА ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ, ПРОДОЛЬНЫХ ТОКОВ И СВЕЧЕНИЯ НОЧНОЙ АТМОСФЕРЫ НА СРЕДНИХ ШИРОТАХ ВО ВРЕМЯ МАГНИТОСФЕРНЫХ СУПЕРБУРЬ

**В.В. Мишин, Ю.Ю. Клибанова, Б. Цэгмэд, Ю.А. Караваев, М.А. Курикалова,
С.Б. Лунюшкин, А.Б. Кондратьев**

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия,
vladm@iszf.irk.ru*

Исследуются вариации короткопериодных и широкополосных геомагнитных пульсаций, продольных токов в ионосфере, потоков заряженных частиц в магнитосфере во время свечения ночного неба на средних широтах во время двух супербурь: 6 апреля 2000 г. и 20 ноября 2003 г. Используются геомагнитные и оптические данные наземных обсерваторий ИСЗФ СО РАН, а также данные спутников серии LANL. С помощью техники инверсии магнитограмм (ТИМ) получено пространственное распределение плотности продольных токов.

Отмечается различие в поведении красной и зеленой линий свечения верхней атмосферы Земли, возможная связь всплесков этих свечений и широкополосных геомагнитных пульсаций в послеполуночном секторе с высыпанием заряженных частиц и динамикой продольных токов, южная граница низкоширотной зоны которых наблюдалась ниже широты Иркутска.

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНЫХ СТРУКТУР В УНЧ МАГНИТНОМ ШУМЕ НА РАЗНЫХ ШИРОТАХ

Е.Н. Ермакова¹, А.В. Рябов¹, Д.С. Котик¹, Т. Бозингер², В.А. Пилипенко³

¹НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г.Н. Новгород, Россия,

I.ermakova@nirfi.sci-nnov.ru

²Университет Оулу, Финляндия, *tilmannbsinger@gmail.com*

³ИФЗ РАН, Москва, Россия, *space.soliton@gmail.com*

Выполнен сравнительный анализ динамики спектров амплитуды и поляризационного параметра (ϵ) фонового УНЧ шума по данным мониторинга горизонтальных магнитных компонент на станции (Новая Жизнь, Россия, 56 N, 46 E), японской станции Мошири (44.37N, 142.27E) и низкоширотной станции на о. Крит (35.15 N, 25.20 E) в разных гелиогеофизических условиях. Обнаружено, что резкие изменения параметров спектра поляризации могут быть связаны, как с вариациями высоты и электронной концентрации на высотах максимума F-слоя, так и с изменением профилей ионосферных параметров на более низких высотах, например, с возникновением спорадических Es-слоев и промежуточных слоев, расположенных между E и F-слоями. Обнаружены особенности в суточной динамике параметра ϵ на низких широтах: сохранение после восхода солнца характерной для темного времени суток зависимости, когда поляризационный параметр меняет знак при определенном значении частоты $f=f_{\epsilon p}$; наличие двух различных значений граничной частоты $f_{\epsilon p}$ в спектре ϵ ; частые спорадические понижения $f_{\epsilon p}$ до значений 1-1.5 Гц. Обнаружена сильная сезонная зависимость параметров спектра ϵ на станции Мошири в темное время суток. Численные расчеты ϵ , выполненные на основе модели IRI-2012 с заданием модельных спорадических и промежуточных слоев выявили зависимость спектров поляризации от интенсивности и высоты тонких слоев. На основе сравнительного анализа экспериментальных спектров и результатов численных расчетов определены характерные изменения электронной концентрации на высотах 80-350 км в период фазы восстановления сильных магнитных бурь. Статистический анализ данных 6-летней регистрации магнитных компонент УНЧ шума на о. Крит выявил особенности тонкой структуры спектра (ТСС) на этой станции. Было обнаружено существенное различие в основных параметрах и суточной динамике ТСС на о. Крит и двух среднеширотных станциях. Это позволило предположить, что формирование ТСС на средних и низких широтах имеет различную природу.

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ СДВИГОВОГО ТЕЧЕНИЯ В НИЗКОШИРОТНОМ ПОГРАНСЛОЕ ГЕОМАГНИТНОГО ХВОСТА

А.С. Леонович, Д.А. Козлов

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия,
leon@iszf.irk.ru*

Исследована неустойчивость Кельвина-Гельмгольца, развивающаяся в области низкоширотного погранслоя (LLBL) геомагнитного хвоста при обтекании магнитосферы Земли солнечным ветром. Использована цилиндрическая модель геомагнитного хвоста с продольным током. Рассматривается спиральный поток плазмы, обтекающий геомагнитный хвост. Рассчитаны инкременты неустойчивости поверхностных волн, распространяющихся вдоль магнитопаузы. Показано, что неустойчивость симметричных мод колебаний не имеет нижнего порога по скачку скорости в сдвиговом слое. Для несимметричных мод такой порог есть: колебания становятся неустойчивыми только при скорости обтекания выше этого порога. Как для симметричных, так и для несимметричных мод имеется верхний порог по скачку скорости в сдвиговом слое, при превышении которого колебания становятся устойчивыми. Величина показателя спиральности обтекающего потока существенно влияет на зависимость инкремента поверхностных волн от числа Маха. Чем больше этот показатель, тем ниже верхний порог скачка скорости, выше которого поверхностные волны становятся устойчивыми. Магнитопауза в LLBL геомагнитного хвоста неустойчива в низко- и средне-скоростных потоках солнечного ветра, но становится устойчивой в высокоскоростных потоках.

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ НА СТРУКТУРУ ПОЛЯ У ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ В ОНЧ-ДИАПАЗОНЕ

А.В. Ларченко, О.М. Лебедь, Ю.В. Федоренко, С.В. Пильгаев, А.С. Никитенко

*Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия,
alexey.larchenko@gmail.com*

Неоднородности нижней ионосферы влияют на работу систем связи и могут исказить результаты электромагнитного зондирования земной коры. Считается, что рассеяние свистовых волн на ионосферных неоднородностях играет важную роль при прохождении волн ОНЧ диапазона из магнитосферы в волновод Земля-ионосфера. Любая информация о профиле электронной концентрации и присутствии неоднородностей в нижней ионосфере важна при интерпретации данных наблюдений ОНЧ-сигналов на земной поверхности.

Одним из средств диагностики нижней ионосферы являются наблюдения амплитуд и фаз СДВ сигналов. В докладе рассматриваются результаты наблюдений структуры поля СДВ передатчиков российской системы РСДН-20 на высокоширотной сети станций ПГИ в обс. «Верхнетуломский» (68.6° N, 31.79° E), «Ловозеро» (67.97° N, 35.02° E) и «Баренцбург» (78.06° N, 14.22° E). Приведены результаты измерений волнового импеданса (отношения вертикальной компоненты электрического поля к горизонтальной компоненте магнитного поля) и амплитуд ТЕ и ТМ мод сигналов СДВ передатчиков на частотах 11.9 и 12.65 кГц. Показано, что изменения этих параметров могут служить индикатором возникновения неоднородностей нижней ионосферы. Результаты наблюдений сравниваются с результатами моделирования распространения ОНЧ-волн полноволновым методом.

**секция ПРОГНОЗ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ
И ПРИКЛАДНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ
МАГНИТОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ**

ИЗМЕНЕНИЯ ЖЕСТКОСТЕЙ ОБРЕЗАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ПЕРИОД МИНИМУМА DST В НОЯБРЕ 2003 г. В ПЛАНЕТАРНОМ МАСШТАБЕ

О.А. Данилова¹, М.И. Тясто¹, Е.С. Вернова¹, В.Е. Сдобнов²

¹Санкт-Петербургский Филиал ИЗМИРАН, Россия, md1555@mail.ru

²Институт Солнечно-земной физики СОРАН, Россия

Были рассчитаны жесткости обрезания космических лучей в модельном поле магнитосферы Цыганенко Ts01 для минимума Dst-вариации мощной магнитной бури в ноябре 2003 г. по широтно-долготной сетке $5^\circ \times 15^\circ$. Проведено сравнение с расчетами жесткостей обрезания, полученными Shea & Smart для главного геомагнитного поля IGRF в спокойный период на эпоху 2000г. Сделан анализ полученных результатов. Определены области наибольших отклонений от спокойного периода.

О ТЕНДЕНЦИЯХ В СМЕНЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ В АТМОСФЕРЕ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ ПРИ СОПОСТАВЛЕНИИ С МАГНИТОСФЕРНОЙ ВОЗМУЩЕННОСТЬЮ

Т.Е. Вальчук¹, Н.К. Кононова², В.А. Щевьев³

¹ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк, valchuk@izmiran.ru

²ИГ РАН, Старомонетный пер. 29.

³Институт водных проблем РАН, Москва, ул. Губкина 3.

Основателем солнечно-земной физики (СЗФ) – новой науки XX века – был первый директор ИЗМИРАН Н.В. Пушков (1903 г. – 1981 г.). В настоящее время в рамках СЗФ обоснованно подтверждается взаимосвязь космических и земных процессов во всем их многообразии. Приток солнечной энергии к Земле является основным природным фактором, определяющим вариации земного магнитного поля, солнечных космических лучей, авроральных высыпаний, ионосферных параметров, а также все разнообразие климатических и погодных трансформаций в атмосфере – над сушей и водными пространствами Земли. Развитие техногенной цивилизации снабжает исследователей – гелиофизиков и метеорологов, геофизиков и климатологов – поступлением информации он-лайн, это позволяет давать прогнозы : геомагнитной активности на сайте ИЗМИРАН, метеопрогноз – в средствах массовой информации, а также проводить научные исследования по влиянию гелиофизических процессов солнечной активности, которые в наше время подробно регистрируются в околоземном космосе, их влиянии на атмосферные процессы. В ИГ РАН Б.Л. Дзержевским и его последователями установлена смена циркуляционных режимов в атмосфере Земли, их чередование и воспроизводство за 1899-2016гг. Календарь элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) в настоящей работе является основой для исследования солнечно-земных связей. Наша задача – сопоставить климато-погодные вариации с каталогом магнитных бурь (МБ) по данным магнитной обсерватории «МОСКВА» с 1950 г. по настоящее время. Только при тщательном анализе чередования магнитных бурь в сопоставлении с календарем ЭЦМ за длительные периоды могут быть выявлены характер и уровень воздействия Солнца на ЭЦМ северного полушария, которые определены с суточной дискретизацией. Поиск воздействия проявлений солнечной активности в виде магнитных бурь на атмосферные циркуляции, основанный на статистических оценках, позволяет сделать выводы о том, что 1) выявлена тенденция пролонгации ЭЦМ при реализации магнитных бурь, 2) смена ЭЦМ при протекании геомагнитных бурь способствует переходам к более турбулентным формам ЭЦМ Основанием трактовки является поступление энергии в магнитосферу при протекании МБ.

МОДЕЛЬ АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЫ С РС-ИНДЕКСОМ В КАЧЕСТВЕ ВХОДНОГО ПАРАМЕТРА

В.Д. Николаева, Е.И. Гордеев, А.В. Николаев, О.А. Трошичев,
Л.Н. Макарова, П.Т.Ньюелл

Модель слоя E авроральной ионосферы (E-AIM) разработана для расчета временного и пространственного распределения основных ионов (N_2^+ , NO^+ ; O_2^+ ; O^+) и малых нейтральных компонент (NO , $N(4S)$; $N(2D)$) в высотном диапазоне от 90 до 150 км. В основе модели лежит система дифференциальных уравнений неразрывности ионов с такими источниками ионизации как УФ излучение Солнца и ионизация электронами магнитосферного происхождения. В высоких широтах ($60 - 75^\circ$ MLat) высыпания электронов с энергиями 1 – 30 кэВ играют огромную роль и являются основной причиной резкого повышения электронной концентрации в E слое ионосферы. В модели E-AIM электронные высыпания могут задаваться двумя различными способами: (1) по данным прямых спутниковых измерений и (2) по дифференциальному потоку электронов, рассчитанному по эмпирической модели OVATION-Prime [Newell, JGR 2009] с РС-индексом в качестве входного параметра. Такой метод оценки потоков электронов позволяет оценивать ионный состав в любой точке авроральной зоны с высокой степенью достоверности.

“OVATION-Prime” (Oval Variation, Assessment, Tracking, Intensity and Online Nowcasting) [Newell et al., 2010] – эмпирическая модель, основанная на измерениях потоков электронов и ионов спутниками DMSP. Входными параметрами модели являются данные солнечного ветра, полученные со спутника ACE. Использование параметров солнечного ветра, измеренных далеко от магнитосферы, может привести к следующим проблемам: (1) солнечный ветер, измеренный на спутнике ACE, не всегда является геоэффективным (не достигает магнитосферы Земли) и (2) неверный расчет скорости распространения от точки Лагранжа до магнитопаузы. Эти проблемы автоматически решаются при использовании в качестве входного параметра индекса РС, который служит оценкой энергии солнечного ветра внутри магнитосферы.

Расчеты модели E-AIM с РС-индексом в качестве входного параметра источника высыпаний электронов показало лучшее соответствие данным радара некогерентного рассеяния (EISCAT, Tromsø), чем расчеты других широко известных ионосферных моделей (IRI, CTIPE и GITM).

КОНЦЕПЦИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ ВКО

**А.М. Мёрзлый², В.И. Арефьев¹, Н.Л. Бузинский⁵, А.А. Петрукович²,
В.В. Тихонов¹, В.В. Трёкин⁴, С.Ю. Хабибулин³**

¹ЗАО «РТИС ВКО», г. Тверь, Россия

²ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия

³ЦСКБ ОАО «РТИ», г. Москва, Россия

⁴НИИЦ (г. Москва) ЦНИИ ВВКО, г. Москва, Россия

⁵ОАО «НПК «НИИДАР», г. Москва, Россия

Рассмотрены основные положения концепции специализированной системы геофизического обеспечения средств ВКО.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ СИГНАЛОВ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ПО ДАННЫМ ДЕКАМЕТРОВОГО РАДАРА ЕКВ ИСЗФ СО РАН

И.А. Лавыгин, В.П. Лебедев, К.В. Гркович, О.И. Бернгардт
ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, berng@iszf.irk.ru

Когерентный радар декаметрового диапазона ЕКВ ИСЗФ СО РАН на настоящее время является единственным импульсным загоризонтным научным радаром в РФ, работающим в режиме круглосуточного мониторинга. Сектор сканирования радара по азимуту составляет 50 градусов и покрывает примерный сегмент Екатеринбург - Новая Земля - Норильск площадью порядка 1млн. кв.км. Пространственное разрешение радара составляет 15-60 км в зависимости от режима. Временное разрешение радара составляет 1-2 минуты. Диапазон частот радара 8-20МГц.

Приемо-передающая аппаратура радара создана в Университете Лейстера (Великобритания) на средства СО РАН, и представляет собой аналог стерео радара CUTLASS сети SuperDARN. Радар установлен и введен в эксплуатацию в конце 2012 года совместно с Институтом Геофизики УрО РАН в обл.Арти ИГФ УрО РАН и с тех пор более 97% времени работает в непрерывном режиме.

Основой работы радара является прием сигнала, рассеянного как на ионосферных неоднородностях методом обратного однократного рассеяния, так и сигнала рассеянного на неоднородностях земной поверхности (возвратно-наклонное зондирование).

Анализ усредненных характеристик рассеянного сигнала на подобных радаров позволяет получать данные о ионосферной конвекции в высокоширотной ионосфере, и на настоящее время вносит существенный вклад в исследование магнитосферных процессов и процессов магнитосферно-ионосферного взаимодействия. Несмотря на достаточную развитость методов статистической обработки сигнала, используемых для интерпретации данных радаров международной сети SuperDARN, анализ рассеянного сигнала до усреднения является новым и неразработанным методом.

В работе на основе данных специальных измерений с повышенной частотой оцифровки проведен предварительный анализ тонкой структуры сигнала обратного рассеяния. На основе модели одиночных рассеивателей, разработанной и апробированной ранее для УКВ- диапазона, создан алгоритм анализа тонкой структуры рассеянного сигнала и проведена оценка пригодности этой модели для задачи анализа характеристик рассеянного сигнала.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 16-05-01006а, функционирование радара ЕКВ проводится при финансовой поддержке проекта II.12.2.3.

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИОНОСФЕРНЫХ ТОКОВ ПО ДАННЫМ МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ЦЕПОЧКИ МАГНИТОМЕТРОВ

М.А. Евдокимова, А.А. Петрукович

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, evdokimari@mail.ru

В работе исследуются модели восстановления профиля западного электроджета по данным магнитного поля меридиональной цепочки магнитометров. Эта задача представляет интерес в связи с тем, что данные магнитного поля известны в конечном, довольно небольшом количестве точек. Сделан обзор существующих линейных моделей и показана их применимость на сети IMAGE. В первой модели (A.L. Kotikov, Yu.O. Latov and O.A. Troshichev, 1987) токи представляются в виде бесконечно тонких проводов. Во второй (V.A. Popov, V.O. Papitashvili, J. F. Waterman, 2001) электроджет моделируется последовательностью узких бесконечно длинных полос. Оптимальной является модель с большим числом равномерно расположенных проводов (полос). Однако, большое число параметров (токов) приводит к большим ошибкам, и на более разреженной сети станций описанные методы плохо применимы. Для малого количества станций оптимальной является нелинейная модель с малым числом некоррелированных параметров. Была построена модель одной полосы с плавающим центром и границами и вычислены ошибки параметров.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

В.А. Пилипенко¹, В.Б. Белаховский¹, Я.А. Сахаров², В.Н. Селиванов³

¹Институт физики Земли РАН, г. Москва, Россия

²Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия

*³Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН,
г. Апатиты, Россия*

Данные системы регистрации геомагнитно-индуцированных токов (ГИТ) Полярного геофизического института и ЦФТПЭС КНЦ РАН в линиях электропередач Кольского полуострова и Карелии, данные магнитометров сети IMAGE использованы для исследования характеристик variability геомагнитного поля. Векторная техника представления вариаций горизонтальной компоненты геомагнитного поля и его производной для магнитной бури 17 марта 2013 года показала гораздо большую variability величины dB/dt по сравнению с ΔB . Количественная оценка variability с помощью RB-параметра подтвердила, что вариации геомагнитного поля происходят в сравнимой степени как по величине, так и по направлению. Эти результаты не могут быть объяснены простой моделью протяженного ионосферного тока и показывают важность учета полей мелкомасштабных токовых структур для расчета ГИТ. Ионосферные токи флуктуируют не только в направлении восток-запад, но и в направлении север-юг. Таким образом, ГИТ направлены как в восточно-западном, так и в северно-южном направлениях и представляют опасность для энергетических систем, вытянутых в том числе в северно-южном направлении.

2016 ГОД В ПРОЯВЛЕНИЯХ МАГНИТНЫХ БУРЬ НА ВЕТВИ СПАДА 24 ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Т.Е. Вальчук

*ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва (г. Троицк), Россия,
valchuk@izmiran.ru*

Исследованы магнитные бури (МБ) в интервале прошедшего 2016 года по данным ИЗМИРАН и мировой сети ИНТЕРМАГНЕТ. Продолжена типизация МБ 24 цикла солнечной активности (СА), предложенная и проведенная ранее автором на материалах 2010-2015гг. Продолжение исследований позволяет выделить конкретные особенности МБ на спаде СА в 24 цикле – характерном временном интервале до перехода к фазе минимума текущего цикла СА. Исследование гелиофизических источников СА, ответственных за приход к магнитосфере Земли возмущающих факторов, обусловивших буревые магнитосферные возмущения, послужат продолжением типизации МБ в низком по числам Вольфа 24 цикле. Данные космических миссий и наземные наблюдения процессов СА, а также параметры околоземного космоса по данным OMNI Web, обусловивших возникновение и протекание МБ на Земле – служат источниками сведений при типизации протекших МБ. Продление типизации МБ позволяет дать статистическую оценку смене преимущественных тенденций в генерации магнитосферных буревых возмущений на различных фазах солнечного 11-летнего цикла. Типизация магнитных бурь в зависимости от источников СА стала возможной при изобилии данных о проявлениях СА на диске Солнца и вариаций параметров СВ и ММП в околоземном космосе. Космическая погода, как фактор воздействия на Землю, становится все более важным и привычным представлением, отражающим ведущую роль Солнца во множестве земных процессов – магнитосферной активности, климатических и погодных вариациях, что сказывается в свою очередь на здоровье и хозяйственной деятельности человечества. По мере обработки материалов предшествующих циклов СА, по меньшей мере с 1995 г., когда имеются как гелиофизические данные, так параметры околоземного космоса, можно расширить каталог типизированных МБ. А по мере совершенствования наблюдательных данных о СА и параметрах околоземного космоса, определяющих протекание МБ, все точнее и конкретнее в космической погоде станет типизация МБ.

СЕЙСМИЧНОСТЬ КАВКАЗА И СОЛНЕЧНО- СУТОЧНАЯ ВАРИАЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Ю.Я. Ружин, Х.Д. Канониди, К.Х. Канониди

ИЗМИРАН им. Н.В.Пушкова, г.Москва (г.Троицк), Россия, ruzhin@izmiran.ru

Недавно обнаруженная связь суточной вероятности землетрясения с локальной спокойной солнечно-суточной вариацией геомагнитного поля (Sq-вариацией) для большинства районов земного шара (Китай, Италия, Греция, Калифорния, Австрия и т.д.) послужила толчком к возникновению идеи о наличии всеобщей зависимости суточной сейсмической активности и региональной вариации Sq горизонтальной компоненты H магнитного поля Земли. Предложен и обоснован физический механизм связи Sq-вариации (теллурических токов) с суточной зависимостью вероятности появления землетрясения. Показано, что индуцированные теллурические токи в проводящей литосфере Земли играют ведущую роль в геодинамическом процессе. В присутствии главного магнитного поля Земли теллурические токи генерируют силы Лоренца, действующие на литосферу. Модельные оценки показали, что механические моменты этих сил заключают неожиданно огромную энергию сравнимую с приростом энергии тектонической деформации.

В нашей работе исследованы особенности проявления этого механизма для района Кавказа. Представлено ежечасное число землетрясений за период 35 лет (каталог U.S.G.S.) в окрестности Нальчика (круг радиусом в 150 км, всего 136 землетрясений, $M \geq 3.5$) в сравнении со спокойной солнечно-суточной (Sq) вариацией геомагнитного поля (трехкомпонентные измерения на обсерватории Баксан). Показано, что вероятность землетрясений в местном времени имеет выделяющийся дневной максимум (с 7-8 часов до 15-16). Именно в этот же период происходят и интенсивные изменения в суточной вариации компонент геомагнитного поля. В отличие от вышеописанных ситуаций наблюдается дневной максимум (а не ночной!) для вероятности землетрясений. Обнаруженное отличие от уже известных результатов было проверено также и для соседнего района (республика Чечня) с эквивалентной площадью и за тот же период. Обнаружено отсутствие явного отличия «ночь-день» и, соответственно, какой либо связи с Sq-вариацией. Отсутствие суточной зависимости (контраста «ночь-день») получено и для большей (около 5×10^5 км²) части территории Кавказа (регион: 41°-45° с.ш., 38°-48° в.д.; период 1973-2008 г.; всего 541 землетрясение).

Обнаруженные особенности в пределах Кавказского региона могут свидетельствовать о том, что привносимые возмущения за счет индуцированных в земной коре токов магнитной вариации могут способствовать как снижению порога триггерирования, так и повышению его, а при некоторых условиях и не оказывать вообще существенного влияния.

НЕУЧТЕННЫЕ ФАКТОРЫ В СХЕМАХ ПРОГНОЗА КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Т.В. Кузнецова

ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, tvkuz2@yandex.ru

Существующие схемы прогноза геомагнитной активности (ГА) (например, Newell et al, 2007 и др.) не учитывают временные изменения эффективности взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой, обусловленные как длинно - периодическим трендом, так и 22л магнитным циклом солнца. Следствием при прогнозе космической погоды (КП) является недооценка вероятности экстремальной ГА в периоды, когда ожидается повышенный уровень возмущенности на основе статистических исследований учета влияния указанных факторов. В эти периоды даже среднее по мощности СМЕ может привести к экстремальной ГА и известным рискам. Кроме того, в существующих схемах прогноза учитывается состояние солнечного ветра, а геомагнитного поля нет. Давно установленная зависимость уровня ГА от UT и месяца в году говорит о необходимости такого учета. В рамках разработанной нами модели взаимодействия электрических (E) и магнитных (B) полей с магнитным моментом Земли (Me) при одних и тех же параметрах солнечного ветра эффективность взаимодействия определяется ориентацией крупномасштабных E и B полей солнечного ветра относительно Me, имеющего свою UT и годовую вариацию (Kuznetsova and Laptukhov, 2011). Последнее позволяет на основе параметров солнечного ветра, измеряемых в L1 аппаратом ACE в реальном времени отследить начало периодов повышенной эффективности взаимодействия по рассчитанным эффективным параметрам модели на основе входящих измерений (и ожидаемой ГА для больших уровней возмущенности с передачей автоматически в центр прогноза). Обсуждаемая проблема при прогнозе КП связана с обсуждаемой научной проблемой - потери эффективности взаимодействия при одних и тех же параметрах солнечного ветра, входящих в разные функции взаимодействия (например, эpsilon Akasofu, 1980 и др.). Мы показываем, что учет изменения ориентации полей E и B в солнечном ветре на различных фазах 22л цикла (четные и нечетные солнечные циклы) играет большую роль в эффективности взаимодействия. Годовое распределение относительной разности D модуля вектора Пойтинга (плотности потока э/м энергии на основе измерений в солнечном ветре) в интервалах четных и нечетных солнечных циклов N20-23 достигает равных максимумов DP~40% в июле, ноябре и максимума DP~20% в апреле. Аналогичное годовое распределение для магнитного индекса DKp, показало экстремум -DKp~15% в марте (знак указывает на преобладание вклада четных циклов) и такой же экстремум +DKp~15% в июле с преобладанием вклада нечетных циклов. Результат показывает, что мощность источников P в солнечном ветре не определяет ГА: DP~ 40% в июле в солнечном ветре дает DKp~15% в июле в ГА, а DP~20% в апреле приводит к DKp~15% в марте вблизи равноденствия. Другие геомагнитные индексы дают тот же результат. Причина эффективного взаимодействия в четных циклах вблизи равноденствия и неэффективная в нечетных в июле и ноябре в механизме взаимодействия в системе Солнце-Земля и в учете эффектов, связанных с 22л циклом. С другой стороны, мощные источники в июле и ноябре в нечетных циклах на определенной фазе 22л цикла показывают экстремальную эффективность, что нашло отражение в UT и годовом распределении SSC магнитных бурь с максимальными частотами появления в июле и ноябре, полученном нами. В докладе обсуждаются наши последние и предыдущие результаты, которые дают возможность учета обсуждаемых факторов при прогнозе КП.

ПРОГНОЗ ВЕКОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ АА-ИНДЕКСА ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ МЕТОДОМ ПОИСКА НЕЛИНЕЙНОЙ СТАЦИОНАРНОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ЕГО БУДУЩИМИ И ПРОШЛЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ

В.А. Лаптухов, А.И. Лаптухов

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, a.laptukhov@mail.ru

Известно, что трёхчасовой aa индекс геомагнитной активности представляет собой дискретный ряд целочисленных значений: числа $aa=2, 5, 7, 8, 9, 11, 12$ встречаются очень часто, а чисел $aa=1, 3, 4, 6, 10, 13, 14, 21$ нет вообще [1]. Поэтому для прогноза динамики геомагнитной активности удобнее перейти к логарифмическому целочисленному индексу геомагнитной активности по формуле [1] $LA=1+[4\ln((aa+4)/6)]$, где квадратные скобки обозначают оператор округления до целой части числа, например $[3.96]=3$, $[9.1]=9$. Числа LA изменяются без пропусков от 1 до 20. Чтобы исключить существенный годовой год в работе анализируются среднегодовые значения aa и LA индексов геомагнитной активности с 1868 по 2015 г. всего 148 чисел. Для прогноза вековых изменений геомагнитной активности нами рассматривались скользящие средние по 21 году значения LA_{21} индекса. При этом мы получали 128 чисел LA_{21} , в которых исключались колебания этого индекса внутри каждого солнечного цикла длительностью в 21 год. Метод прогноза аналогичен тому, который изложен в работе [2]. Результат прогноза, начиная с 2015-[21/2]+1=2006г., такой. Средние по 21 году значения чисел LA_{21} были максимальными в 1985 г. (средние за 1975-1995гг.) и равны $LA_{21}=5.85$. Затем эти числа почти монотонно уменьшались и в 2018 г. (средние за 2008-2028гг.) достигнут минимума, равного $LA_{21}=4.1-4.2$. После этого начнётся монотонный рост сначала медленный до $LA_{21}=4.6-4.8$ в 2055 г. и затем более быстрый рост до максимального значения в 2082-2096 гг., равного $LA_{21}=5.7-5.9$, почти такого же, как в 1985г. Затем, по крайней мере, до 2015 г. предсказывается медленное уменьшение параметра LA_{21} до значений не ниже 4.6. Далее делать прогноз слишком рискованно, так как удалённость прогнозируемой точки уже сравнима с длительностью анализируемого интервала, равного 2015-1868+1-20=128 годам.

Прогноз вековых изменений чисел Вольфа, сделанный этим же методом в работе [3] близок к изложенному выше, а именно: с 2010 по 2050 г. активность Солнца в средних по 21 году значений чисел Вольфа W_{21} будет низкой, близкой к той, которая была в 1880-1920 гг. Максимальная же солнечная активность прогнозируется в 2090-2100 гг. на уровне 1948-1958 гг. или, что близко, на уровне 1981-1991 гг. Близость этих прогнозов указывает на их справедливость, хотя, строго говоря, это ещё не есть доказательство их справедливости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаптухов А.И., Левитин А.Е., Лаптухов В.А. Восстановление сведений о межпланетном и солнечном магнитном поле на основе aa индекса геомагнитной активности. «Геомагнетизм и аэрономия». 2009. том 49. №1, с.49-57.
2. Лаптухов А.И., Лаптухов В.А. Прогноз вековых изменений глобальной приземной температуры воздуха до 2130 г.//Геомагнетизм и аэрономия. 2015. том 55. №4. С.517-524..
3. Лаптухов А.И., Лаптухов В.А. Прогноз солнечной активности на несколько циклов// Инженерная физика. 2015. №10. С. 48-56.

АНАЛИЗ СИТУАЦИЙ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ КА ЗОНД И КА МЕТЕОР-МП НА ИХ ОРБИТАХ И ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕОРДИНАРНЫХ УСЛОВИЙ ОДНОВРЕМЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЭМИССИЙ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ С РАЗНЫХ ПОЗИЦИЙ АВРОРАЛЬНЫХ ИМАДЖЕРОВ АВРОВИЗОР-ВИС-МП И ЛЕТИЦИЯ

М.А. Баньщикова¹, А.К. Кузьмин², И.Н. Чувашов¹

¹Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики Томского государственного университета (НИИ ПММ ТГУ), г. Томск, Россия, mba-tomsk@mail.ru, chuvashovin@gmail.com

²ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, alkuzmin@mail.ru

В связи с возможным одновременным запуском КА «Метеор-МП» и КА «Зонд» (программа Геофизика) сделаны предварительные расчеты параметров орбит КА и проанализированы возможные ситуации одновременных наблюдений одних и тех же областей аврорального овала имаджерами Летиция (на КА Зонд) и Авровизор-ВИС/МП (на КА Метеор-МП) с учетом углов полей зрения приборов и их компоновки на борту КА в осенние, зимние и весенние периоды в северной и южной полярных зонах, а также ситуаций пролетов каждого из КА над наземной фотометрической сетью авроральных имаджеров MAIN в окрестности г. Апатиты. Учитывая преимущества получения изображений авроральных эмиссий под разными углами наблюдения рассматривается возможность реконструкции объемной структуры распределения интенсивности эмиссий в бортовых изображениях и получения распределений электронной концентрации в максимуме E-области ионосферы, а также распределений потока энергии и средней энергии высыпающихся электронов.

КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА КАК ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ФАКТОР ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ, СВЯЗАННЫХ С ПРОЯВЛЕНИЕМ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

И.В. Мальнева

ВГУП ВСЕГИНГЕО, Московская обл., Россия, malnir@mail.ru

В ряде прежних публикаций сотрудников ВСЕГИНГЕО активность опасных геологических процессов (селей, оползней и др.) связывалась с изменениями солнечной активности в рамках 11-летнего солнечного цикла. В настоящее время наблюдается длительный минимум активности Солнца и непонятно, каким будет уровень активности Солнца в ближайшие годы. Учитывая это, мы уделили внимание анализу всплесковых проявлений активности Солнца в суточно-часовом разрезе. В вероятностном плане они могли оказать вспомогательное, а иногда и решающее влияние на создание угрозы и формирование селевых потоков, катастрофических оползней за счёт привнесённой энергии плазмы инъекций геоэффективного солнечного ветра в приповерхностную область Земли. Это касается, в частности, проявлений селей в 2000 и 2011 гг. по р. Герхожансу и соответствующей угрозы на леднике Башкара в 2008 г., землетрясений в Италии в 2009, 2016 годах.

Изначальной основой работ служат архивные и текущие данные о процессах корональных плазменных выбросов масс из Солнца как следствии истечения вещества из корональных дыр и эрупций во время пятенных и солнечно-волконных вспышек. При графических корреляционных аналитических исследованиях в первую очередь использованы временные ряды количественных значений плотности и скорости плазмы и энергии солнечного ветра, полученные измерительными приборами поближе к Земле, начиная с орбит космических аппаратов SOHO, ACE, NOAAPOES. Аналитическая сводка описаний неблагоприятных ситуаций, соотносимых с проявлениями опасных геологических процессов приведена на с. 50–54 публикации Д. Г. Гонсировского «Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска: Сб. материалов Всероссийской науч. конф. с междунар. участием (26–30 мая 2015 г., Южно-Сахалинск, ИМГиГ ДВО РАН). Владивосток: Дальнаука, 2015. Т. 2. :Интернет-ресурс www.imgg.ru/uploads/publications/975/ : www.imgg.ru/ru/news/100».

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ СОЛНЦА

Е.А. Курочкин¹, В.М. Богод¹, П.М. Свидский², А.В. Шендрик¹

¹СПбФ САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, vbog@sao.ru

²Институт прикладной геофизики Госкомгидромет, г. Москва, Россия

На сайте http://www.spbf.sao.ru/cgi-bin/ion-p?page=rat_search.ion ведется регулярный прогноз вспышек и протонных событий по спектрально-поляризационным наблюдениям на РАТАН-600 и формируется многоволновая база данных радиоастрономических наблюдений в диапазоне 3-18 ГГц с чувствительностью по потоку не хуже 0.05 с.е.п. Это позволяет проводить диагностику раннего зарождения активности и снизить порог обнаружения вспышек до уровня С-класса. Проведена оценка качества прогноза для выбранного временного интервала, который указывает на повышенную эффективность прогнозирования.

Для оценки качества прогноза был выбран интервал наблюдений Солнца с 1 января 2011 г. по 1 января 2015 г., в котором проанализированы наблюдения 4677 активных областей. Численные оценки указывают на достоверность обнаружения протонных событий на уровне 94% с ошибкой 13.2% и вспышек классов М и X на уровне 88% с ошибкой 12.8%.

секция ТЕОРИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ

СИЛА, ДЕЙСТВУЮЩАЯ ВО ВНЕШНЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ НА ЭЛЕКТРОН ПРЕНЕБРЕЖИМО МАЛЫХ РАЗМЕРОВ С УЧЁТОМ ЕГО МАГНИТНОГО МОМЕНТА

А.И. Лаптухов

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, a.laptukhov@mail.ru

Известно, что в классической электродинамике плотность сил, действующая на электрический заряд с плотностью ρ и ток с плотностью тока \mathbf{j} во внешнем электромагнитном поле \mathbf{E} и \mathbf{B} равна $\mathbf{F}=\rho\mathbf{E}+[\mathbf{j}\mathbf{B}]/c$. Так как покоящейся в точке $\mathbf{R}=\mathbf{0}$ электрон имеет отличный от нуля магнитный момент \mathbf{M} , то, значит, в его объёме течёт электрический ток с плотностью \mathbf{j} , создающий магнитный момент $\mathbf{M}=\langle[\mathbf{R}\mathbf{j}]\rangle/(2c)$, где угловые скобки $\langle \rangle$ обозначают интегрирование по всему объёму электрона с зарядом $\langle\rho\rangle=e$. Без ограничения общности плотность тока в объёме электрона можно задать в виде $\mathbf{j}=\text{crot}(\rho\mathbf{M}/e)$, тогда, вычисляя интеграл, просто убедиться, что $\mathbf{M}=\langle[\mathbf{R}\mathbf{j}]\rangle/(2c)=\mathbf{M}$. Если электрон в некоторый момент времени t находится в точке $\mathbf{R}=\mathbf{0}$ во внешнем неоднородном поле \mathbf{B} , то удобно записать $\mathbf{B}=\mathbf{B}_0+(\mathbf{R}\text{grad})\mathbf{B}_0+\dots$ и затем просто вычислить $\langle[\mathbf{j}\mathbf{B}]\rangle/c=\langle[\text{rot}(\rho\mathbf{M}/e)\mathbf{B}]\rangle/c=0+\text{grad}(\mathbf{M}\mathbf{B}_0)+\dots$. Переходя к пределу, когда размер частицы пренебрежимо мал по сравнению с характерным размером неоднородности внешнего магнитного поля \mathbf{B} (при этом члены $+\dots$ исчезнут), получим известную в классической электродинамике формулу $\langle[\mathbf{j}\mathbf{B}]\rangle/c=\text{grad}(\mathbf{M}\mathbf{B})$, согласно которой на замкнутый ток (например, кольцо с током) пренебрежимо малых размеров, создающий магнитный момент \mathbf{M} , действует сила $\text{grad}(\mathbf{M}\mathbf{B})$. С учётом этого в работе показано, что в общем нестационарном случае сила, действующая во внешнем электромагнитном поле \mathbf{E} и \mathbf{B} на электрон пренебрежимо малых размеров, имеет вид:

$$\mathbf{F}=e\mathbf{E}+e[\mathbf{V}\mathbf{B}]/c+\text{grad}(\mathbf{M}\mathbf{B})-\mathbf{T}[\mathbf{M}\mathbf{E}]/c+[\mathbf{V}\text{rot}[\mathbf{M}\mathbf{E}]]/c$$

Здесь \mathbf{V} скорость движения электрона, \mathbf{T} - дифференциальный оператор - частная производная по времени t . При этом предполагается, что поля $\mathbf{E}=-\text{grad}\Phi-\mathbf{T}\mathbf{A}/c$ и $\mathbf{B}=\text{rot}\mathbf{A}$ выражаются через потенциалы электромагнитного поля Φ и \mathbf{A} , которые связаны условием $\mathbf{T}\Phi+c\text{div}\mathbf{A}=0$. В силе \mathbf{F} часто слагаемые, содержащие магнитный момент электрона \mathbf{M} , малы и ими можно обоснованно пренебречь. Но было бы ошибочно утверждать, что этими членами можно пренебречь всегда.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ВАРИАЦИЙ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА В ПЛАЗМЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА, В СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ БУДУЩЕГО

А.И. Лаптухов

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, a.laptukhov@mail.ru

Плазма конвективной зоны хорошо перемешивается и поэтому химически однородна. Но в солнечных космических лучах после вспышки 5.9.1973 отношение плотности частиц $\text{He}^3/\text{He}^4=6$, $\text{He}^3/p=1.15$. На Солнце имеем: $\text{He}^3/\text{He}^4=0.04\%$, $\text{He}/p=5\%$. В плазме солнечного ветра (СВ) $\text{He}/p=(1-5)\%$, но при корональных выбросах измеряют и до $\text{He}/p=20\%$. На вопрос, почему так пока нет ответа. Получено возможное решение этих трудных проблем с помощью учёта структуры электрона конечного размером $R_e \sim h/(m_e c) \sim 0.01$ ангстрем Å , (сравним, для протона $R_p \sim 0.00001 \text{Å} \sim h/(m_p c)$, где m_p - масса протона, h - постоянная Планка). Предлагается модель распределения поля $\mathbf{E} = -\text{grad}\Phi$, $\mathbf{B} = \text{rot}\mathbf{A}$ внутри объёма электрона с зарядом e и магнитным моментом \mathbf{M} в простом виде: $\Phi = e/(R^{**2} + a^{**2})^{**0.5}$, $\mathbf{A} = \text{rot}(\mathbf{M}\Phi/e)$, где постоянная $a \sim R_e \sim 0.01 \text{Å}$ характеризует размер электрона. Обоснование модели: В работе [1] с учётом всех фундаментальных законов сохранения получена система уравнений для поля, заряда и тока, в рамках которой можно рассчитать структуру свободного электрона (и протона), а также структуру электрона, в центре которого покоится протон. Расчёт [1] показал, что присутствие точечного протона в центре неточечного электрона мало (не более 10%) влияет на структуру свободного электрона, т.е. структура электрона, в основном, определяется теми силами внутри его ядра, которые компенсируют кулоновские силы отталкивания. С учётом этого вывода на основе рассматриваемой модели электрона легко показать, что внутри объёма электрона может находиться не только один, но и два, три и даже четыре точечных протона. Для этого надо решить простые задачи классической физики, а именно: в заданном поле электрона $\mathbf{E} = e\mathbf{R}/(R^{**2} + a^{**2})^{**1.5}$ надо расположить два (или три, или четыре) точечных протона так, чтобы они находились в равновесии. Для двух протонов в поле \mathbf{E} условие равновесия очевидно: $eE = e^{**2}/(2R)^{**2} \rightarrow R = 0.81a$. Для трёх протонов аналогично находим: $R = 1.5a$. Для расположенных в вершинах тетраэдра на расстоянии R от центра четырёх протонов имеем: $R = 4.14a$. Обозначим эти необычные частицы (электрон-протонные ядра с размером $\sim R_e \sim 0.01 \text{Å}$) как (пер), (перр) = (рпер) и (рперр), соответственно. Частицы (пер) и (перр) маскируются в плазме СВ под ядра гелия He^4 и его изотопа He^3 , у которых отношением массы частицы m к её заряду q равны $m/q=2/1$ и $m/q=3/2$, соответственно. Частица (рперр) с $m/q=4/3$ не имеет аналогов среди обычных ядер и атомов. К сожалению, их мало, но следы этих частиц можно обнаружить в данных измерений [2] спектра масс частиц солнечного ветра. Частица (перр) может быстро поглощать и излучать во все стороны излучение Солнца, при этом ускоряться до высоких энергий и регистрироваться в космических лучах ошибочно как изотоп He^3 . Это новый эффективный механизм ускорения космических лучей. Здесь поток частиц с $m/q=3/2$ иногда сравним с потоком протонов, т.е. имеет место превышение плотности обычных He^3 ядер на четыре порядка величины! Это и есть один из основных аргументов (см. также [1]) в пользу существования в природе, космических лучах и плазме СВ необычных частиц (перр), а, значит, и (пер), и (ер) частиц с энергией связи $\sim kэв$ (но не мэв и не эв!), что, очевидно, важно [1] для энергетики будущего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаптухов А.И. Структура электрона и электрон-ядерные силы. Квазинейтрон как один из основных агентов низкоэнергетических преобразований атомов// Инженерная физика. №9. 2014. С. 9-16.
2. Vame S.J. et al. Solar Phys. V. **62**. No 1. 1979. P. 179-201.

ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ УСИЛЕНИЯ И ТРАЕКТОРИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АВРОРАЛЬНОГО КИЛОМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА

М.М. Шевелёв, Т.М. Буринская

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, troSimba@gmail.com

В представленной работе создан программный код, позволяющий вычислять коэффициенты усиления и траектории распространения X-моды, возбуждаемой потоком слаборелятивистских электронов, для неоднородной плазмы в рамках локально однородного приближения. Расчёт траектории производится путём численного решения уравнений геометрической оптики в трёхмерном пространстве. При этом для неустойчивых колебаний на каждом шаге производится поиск решения дисперсионного уравнения относительно перпендикулярной локальному магнитному полю компоненты волнового вектора и мнимой части частоты, что позволяет рассчитывать не только лучевую траекторию, но и коэффициент усиления. При расчёте траекторий учитывается изменение продольной и поперечной компонент скорости потока, вследствие сохранения магнитного момента электрона в слабо меняющемся поле. В коде также реализованы адаптивные шаги по времени и по пространству, для учёта изменений групповой скорости вдоль траектории и кривизны самой траектории распространения электромагнитной волны. Программный код дополнен инструментами автоматизации построения и анализа карт уровня коэффициента усиления и траекторий распространения. Приведены первые результаты расчётов зависимости коэффициентов усиления волн от параметров источника.

О СОВОКУПНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЧАСТОТ КРОССОВЕРА И ИОННОЙ ОТСЕЧКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СВИСТОВЫХ ВОЛН ДЛЯ ОЦЕНКИ ИОННОГО СОСТАВА ХОЛОДНОЙ ФОНОВОЙ ПЛАЗМЫ

Б.В. Лундин

ИЗМИРАН, г. Москва (г. Троицк), Россия, lundin.bv@gmail.com

Оценка практической возможности восстановления ионного состава приземной плазмы по регистрациям магнитной компоненты низкочастотных электронных свистовых волн осложнена редкостью случаев идентификации нижней частотной границы диапазона прозрачности на частотно-временных спектрах свистовых излучений. Практически столь же редко корректно идентифицируются частоты, связанные с явлением так называемого кроссовера, на частотах которого возможна смена поляризации магнитного поля плоских волн. При наличии регистраций недостаточно исчерпывающих спектральных данных для надежной идентификации обоих эффектов возможно использование упрощенной модели ионного состава приземной холодной плазмы умеренной плотности. При этом оценки относительного ионного содержания возможны, когда ионы могут быть сгруппированы в соответствии с их гирочастотами в две группы легких ионов с сопоставимыми гирочастотами (как H^+ и/или H^- и He^+) и третью группу из более тяжелых ионов (типа O^+ и/или O^-) вместе с другими заряженными конгломератами различного знака заряда с пренебрежимо малыми гирочастотами (по сравнению с гирочастотами H^+ и He^+ , например). Дополняющие (если доступны) друг друга данные по частотам ионной отсечки и кроссовера позволяют оценить адекватность используемой упрощенной модели ионного состава и определить относительную совокупную зарядовую плотность всех трех типов носителей зарядов. Типы легких ионов (два типа - с разными гирочастотами) могут быть подобраны перебором среди наиболее правдоподобных для лучшего соответствия особенностям регистрируемых спектров свистовых волн. Для реализации развитого подхода лучше подходят широкополосные данные многокомпонентной регистрации магнитных компонент волнового поля. Низкий уровень шумов в магнитных компонентах позволяет с большей точностью определять частоты ионной отсечки и/или кроссовера; кроме того, значение локальной ионной плазменной частоты выявляется по перестройке формы эллипса поляризации магнитной компоненты свистовых волн (большая и малая оси эллипса поляризации на этой частоте меняются местами).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДАКТОВ С ПОНИЖЕННОЙ ПЛОТНОСТЬЮ В МАГНИТОАКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ НА КРУПНОМАСШТАБНОМ СТЕНДЕ «КРОТ»

Н.А. Айдакина, М.Е. Гуцин, И.Ю. Зудин, С.В. Коробков, А.В. Костров, А.В. Стриковский
ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, aidakina@appl.sci-nnov.ru

Одним из эффектов, обнаруженных при проведении активных нагревных экспериментов в ионосфере Земли, является мелкомасштабное расслоение плазмы на сильно вытянутые вдоль магнитного поля неоднородности плотности (дакты). Мелкомасштабные неоднородности, формирующиеся в околоземной плазме, могут обеспечивать режимы волнового распространения низкочастотных волн, возбуждаемых наземными передатчиками, а также способствовать выводу излучения из волновода «Земля-ионосфера» в магнитосферу. Вопросы формирования и взаимодействия искусственных неоднородностей плотности, как в околоземной, так и в лабораторной плазме представляют значительный интерес.

На крупномасштабном плазменном стенде «Крот» (ИПФ РАН, г. Н. Новгород) проведены экспериментальные исследования по формированию и взаимодействию мелкомасштабных неоднородностей плотности при локальном нагреве магнитоактивной плазмы ВЧ электромагнитным полем. В ходе экспериментов исследована пространственная структура и динамика группы неоднородностей, формирующихся системой из нескольких электрических антенн при одновременном ВЧ нагреве магнитоактивной плазмы. Рассмотрены особенности процессов формирования и взаимодействия нескольких неоднородностей при различном расположении источников. При расположении электрических антенн на расстоянии менее длины электронной теплопроводности поперек внешнего магнитного поля, одиночные мелкомасштабные неоднородности объединяются, и в плазме формируется единая мелкомасштабная неоднородность. При расположении электрических антенн на расстоянии более длины электронной теплопроводности поперек внешнего магнитного поля, объединение неоднородностей не происходит. В данном случае, особенности формирования структуры нескольких неоднородностей существенно зависят от мощностей, подводимых к электрическим антеннам. При малых мощностях, подводимых к источникам, в экспериментах наблюдается эффект «сообщающихся сосудов», т.е. в соседних неоднородностях уровни возмущений выравниваются. При большой мощности, подводимой к одной из электрических антенн, возмущения в соседней неоднородности (с малой подводимой мощностью) может уменьшиться по абсолютной величине, в этом случае усиливается несимметрия уровней возмущений неоднородностей. Исследования глубины одиночных неоднородностей от мощности, подводимой к электрическим антеннам, показали, что наблюдаемый эффект «сообщающихся сосудов» справедлив при малых значениях мощности на линейном участке данной зависимости. Кроме того, результаты экспериментов показывают, что зависимость глубины одиночной неоднородности от мощности имеет нелинейный характер, причем с увеличением мощности, подводимой к источнику, может существенно изменяться и форма неоднородностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов В.Л., В.О. Рапопорт, Е.А. Шорохова, Н.А. Айдакина, М.Е. Гуцин, И.Ю. Зудин, С.В. Коробков, А.В. Костров, М. Парро, Ж.-Л.Рош. Тонкая структура дактов плотности, формирующихся при активном радиочастотном воздействии на лабораторную и космическую плазмы. Письма в ЖЭТФ, Т.101, №5, с.342-346 (2015).

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВИСТОВЫХ ВОЛН В ПЛАЗМЕ С НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ КОНЦЕНТРАЦИИ

И.Ю. Зудин, Н.А. Айдакина, С.В. Коробков

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, zudinij@appl.sci-nnov.ru

В ходе активных экспериментов, проводимых в околосредной и лабораторной плазме, в результате воздействия интенсивного высокочастотного излучения в плазме могут наблюдаться эффекты возбуждения нестационарных возмущений концентрации [1, 2]. Распространение волн через возмущенную область плазмы в общем случае должно сопровождаться изменением частоты, амплитуды и спектра излучения. Следует ожидать, что подобные эффекты будут наиболее выражены при распространении волн свистового диапазона частот благодаря их выраженной частотной и угловой дисперсии, а также значительному замедлению [3].

Для описания эффектов распространения волн в плавно неоднородных и медленно меняющихся средах применимо приближение пространственно – временной геометрической оптики (ПВГО), которое позволяет записать уравнения, описывающие изменение частоты излучения в нестационарной среде. Однако, для описания изменения амплитуды излучения требуется рассмотрение конкретной модели, описывающей механизмы возмущения электродинамических параметров плазмы. Трудность реализации данного подхода может оказаться сопоставимой с точным решением уравнений, описывающих распространение излучения. Альтернативой приближенному аналитическому описанию в данном случае является численное решение уравнений Максвелла, дополненных уравнением, описывающим поляризационный отклик нестационарной плазмы. Необходимо отметить, что конкретный вид материального уравнения зависит от механизмов изменения параметров плазмы.

Представленная работа посвящена численному моделированию распространения свистовых волн при наличии одномерного нестационарного течения плазмы вдоль внешнего магнитного поля, приводящего к возмущениям концентрации. Подобные течения могут возбуждаться под действием поперечной силы, действующей на плазму со стороны высокочастотного поля [2]. Основу численной модели составляет система уравнений Максвелла, дополненная уравнением для поляризационного отклика плазмы, соответствующего рассматриваемому случаю. Для численного интегрирования системы уравнений использовалось обобщение метода конечных разностей во временной области (FDTD). Доклад посвящен обсуждению самой модели, а также обсуждению результатов численного моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов В.Л., В.О. Рапопорт, Е.А. Шорохова, Н.А. Айдакина, М.Е. Гуцин, И.Ю. Зудин, С.В. Коробков, А.В. Костров, М. Парро, Ж.-Л. Рош. Тонкая структура дактов плотности, формируемых при активном радиочастотном воздействии на лабораторную и космическую плазмы. // Письма в ЖЭТФ. – 2015. – Том 101, вып. 5 – с. 342-346.
2. Айдакина Н.А., М.Е. Гуцин, И.Ю. Зудин, С.В. Коробков, А.В. Костров, А.В. Стриковский. Квазистационарное магнитное поле, возбуждаемое в плазме радиоимпульсом свистового диапазона частот. // Письма в ЖЭТФ. – 2011. – Том 93, №9 – с. 555-560.
3. Айдакина Н.А., М.Е. Гуцин, И.Ю. Зудин, С.В. Коробков, А.В. Костров, А.В. Стриковский. Кросс-модуляция волн свистового диапазона частот в магнитоактивной плазме. // Письма в ЖЭТФ. – 2015. – Том 101, №4 – с. 254-257.

СОЛИТОНЫ В ПЛАЗМЕ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЛУНЫ И ПЫЛЕВОЙ ОКОЛОЗЕМНОЙ ПЛАЗМЕ С УЧЕТОМ АДИАБАТИЧЕСКОГО ЗАХВАТА ЭЛЕКТРОНОВ

Т.И. Морозова, С.И. Копнин, С.И. Попель

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, timoroz@yandex.ru

МФТИ (ГУ), г. Долгопрудный, Московская область, Россия

В работе рассмотрена возможность возникновения солитонов в плазме приповерхностного слоя освещенной части Луны и пылевой плазме мезосферы Земли. Поверхность Луны заряжается под действием электромагнитного излучения Солнца, плазмы солнечного ветра и плазмы хвоста магнитосферы Земли. Пылевые частицы, находящиеся на поверхности Луны или в приповерхностном слое, поглощают фотоэлектроны, образованные под действием фотоэффекта с поверхности Луны, фотоны солнечного излучения, электроны и ионы солнечного ветра, а если Луна находится в хвосте магнитосферы Земли, то электроны и ионы плазмы магнитосферы. Все эти процессы приводят к зарядке пылевых частиц, их взаимодействию с заряженной поверхностью Луны, подъему и движению пыли. В частности, при определенных параметрах могут возникнуть условия для образования пылевых звуковых солитонов у поверхности Луны. Образование пылевых звуковых структур также играет важную роль в мезосфере Земли [1]. В данной работе учитывается адиабатический захват электронов в пылевой плазме у поверхности Луны и мезосфере Земли. Адиабатический захват электронов следует учитывать, когда характерное время образования солитона больше, чем ширина солитона, деленная на тепловую скорость электронов. Функция распределения электронов в данной работе подчиняется распределению Гуревича [2]. Решая основную систему уравнений, описывающих пылевые звуковые структуры и используя стандартный подход, можно найти области существования пылевых звуковых солитонов в пылевой плазме приповерхностного слоя Луны и в мезосфере Земли. Построены зависимости амплитуд солитонов, связывающих их с другими параметрами задачи. Пылевые звуковые структуры, содержащие положительно заряженные частицы появляются в случае ямок ионной плотности и повышенной электронной плотности, а содержащие отрицательные заряды в случае ямок электронной плотности и повышенной ионной плотности. Таким образом, исследования свойств солитонов способствуют в определении знак заряда пылевых частиц.

Работа выполнена по Программе № 7 фундаментальных исследований Президиума РАН "Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звезд", а также при поддержке РФФИ (проект № 15-02-05627-а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Popel S.I., Kopnin, S.I., Kosarev, I.N., Yu, M.Y., Adv. Space Res., 2006, 37, 414.
2. Lifshitz E.M., Pitaevskii, L.P., Physical Kinetics, Pergamon, Oxford, 1981.

**секция ВОЗДЕЙСТВИЕ КОСМИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ НА АТМОСФЕРУ
И КЛИМАТ ЗЕМЛИ**

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ МАСС ЦИКЛОНОВ ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

А.А. Караханян, С.И. Молодых

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, asha@iszf.irk.ru

В работе на основе данных NCEP/NCAR реанализа (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/>) проведен анализ изменения температуры и влажности воздушных масс внетропических циклонов обоих полушарий при их перемещении во время геомагнитных возмущений в минимуме солнечной активности. Уровень возмущенности геомагнитного поля оценивался на основе aa-индекса геомагнитной активности (<http://www.ngdc.noaa.gov>). Положение и перемещение внетропических циклонов определялось по термобарическим картам на уровне 500 гПа, с учетом центров циклонов электронного ресурса NASA – <http://data.giss.nasa.gov/>. Отбор циклонов осуществлялся в месяцы, когда происходит интенсивное развитие циклонической деятельности. Дополнительным условием отбора являлось совпадение моментов начала геомагнитного возмущения и возникновения циклона. Данное условие определялось из предположения, что геомагнитная активность окажет максимальное влияние во время начальной стадии развития циклона. При перемещении воздушных масс внетропических циклонов во время геомагнитных возмущений во всей толще тропосферы изменения температуры теплой и холодной воздушных масс хорошо соответствуют вариациям геомагнитной активности. Обнаружено, что увеличение геомагнитной активности сопровождается повышением температуры в теплой воздушной массе, при этом холодная воздушная масса прогревается медленнее. Вследствие этого температурный градиент на высотах ниже 300 гПа между воздушными массами сохраняется более длительное время, что может привести к углублению и регенерации циклона. Изменения влажности во время эволюции циклонов в возмущенных геомагнитных условиях отражают физические механизмы связи между температурой и влажностью. При возрастании температуры увеличивается давление насыщающих паров, что приводит к увеличению удельной влажности воздуха и уменьшению относительной влажности воздуха. Выявленные отличия в изменении температурных свойств воздушных масс внетропических циклонов при их перемещении во время геомагнитных возмущений, по сравнению с классическим циклогенезом, могут привести к увеличению интенсивности и регенерации циклонов, что согласуется с данными других авторов, полученных при исследовании связи между вариациями космических лучей и циркуляционными процессами в нижней атмосфере.

ПРОЯВЛЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО СДВИГА 1977 г. В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

С.И. Молодых

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, sim@iszf.irk.ru

В работе на основе данных NCEP/NCAR reanalysis проведен комплексный анализ изменений в северной части Тихого Океана, являвшихся региональным проявлением глобального климатического сдвига происходившего в 1977 году. Изменения, связанные с климатическим сдвигом 1977 года подразделяются на два вида: к первому относятся крупномасштабные изменения, охватывающие почти всю северную часть Тихого океана, а ко второму наиболее сильные изменения в Беринговом и Охотском морях. Первый вид характеризуется тем, что после климатического сдвига наблюдалось понижение температуры на средних широтах западной части Тихого океана (вдоль течения Куроисио) в то время как в восточной части и на низких широтах происходило повышение температуры. Наиболее вероятной причиной этого является изменение энергообмена между океаном и атмосферой. После климатического сдвига уменьшился полный поток энергии из океана в атмосферу на низких широтах и в восточной части средних широт, при этом в западной части средних широт полный поток энергии из океана в атмосферу увеличился. Анализ изменения вертикального профиля температуры в океане показал, что после климатического сдвига происходило понижение температуры в западной части средних широт и повышение температуры в восточной части Тихого океана до глубины 150 метров. При этом, повышение температуры на низких широтах наблюдалось только до глубины 50 метров, а в слое 75-150 метров температура понизилась. Эти изменения температуры связаны с ослаблением как горизонтальной, так и вертикальной крупномасштабной циркуляции в Тихом океане. Крупномасштабные изменения температуры приземного воздуха привели к тому, что вследствие увеличения меридионального градиента давления в районе Берингова и уменьшения в районе Охотского морей скорость приземного ветра возросла над Беринговым морем и понизилась над Охотским. Изменение скорости приземного ветра после климатического сдвига сопровождалось увеличением толщины слоя перемешивания в Беринговом море и уменьшением в Охотском. Следствием изменения толщины слоя перемешивания, участвующего, как в сезонных, так и в межгодовых вариациях, явилось то, что изменения второго типа, связанные с климатическим сдвигом и наблюдавшиеся в Беринговом и Охотском морях были существенно больше, чем в других регионах.

ВЛИЯНИЕ АНОМАЛИИ КВАЗИДВУХЛЕТНИХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ (КДО) 2016 ГОДА НА ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ МОЩНОСТИ ОЗОНОВОЙ «ДЫРЫ» В АНТАРКТИКЕ

И.П. Габис, О.А. Трошичев

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия, gabis@aari.nw.ru

Квазидвухлетние осцилляции (КДО) зонального ветра экваториальной стратосферы являются существенной частью глобальной циркуляции земной атмосферы. Долгосрочный прогноз КДО возможен вследствие точной сезонной синхронизации и вытекающей из нее дискретности изменения периода осцилляций (24, 30 или 36 месяцев). Прогноз циклов КДО дает возможность предсказывать изменения зависящих от КДО атмосферных параметров и/или процессов. Например, прогнозирование интенсивности весенней депрессии озона в Антарктике (озоновой «дыры») возможно с помощью эмпирических моделей изменения параметров озоновой «дыры» в течение циклов КДО разного сценария. Прогнозы, сделанные по данной методике, успешно оправдываются (корреляция между модельными и фактически наблюдаемыми значениями ~ 0.7). На протяжении последних ~ 60 -ти лет с момента своего открытия КДО считались устойчивым и достаточно предсказуемым фактором изменчивости атмосферы [1]. Однако, необычное поведение КДО в 2016 году [2] оказалось неожиданным. Оно не было предсказано прогностическими моделями, очевидно, потому что изменения ветра в ходе КДО в течение 2016 года противоречат общепринятому механизму генерации КДО. Поэтому, можно надеяться, что эта аномалия приведет к дальнейшему прогрессу в понимании явления КДО. В работе анализируются «последствия» аномалии КДО 2016 года для долгосрочного прогноза мощности озоновой «дыры».

ЛИТЕРАТУРА

1. Baldwin M.P. et al., 2001. The quasi-biennial oscillation. *Reviews Geophys.* V. 39. N. 2, P.179.
2. Osprey S.M., et al., 2016. An unexpected disruption of the atmospheric quasi-biennial oscillation. *Science.* V. 353, Is. 6306, pp. 1424. DOI: 10.1126/science.aah4156.

ВЛИЯНИЕ ПОТОКА ПОЛНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ И ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА КЛИМАТ ЗЕМЛИ

Л.З. Бикташ

ИЗМИРАН, г.Москва (г.Троицк), Россия, lilia_biktash@mail.ru

Основным источником, влияющим на климат Земли, является поток полной солнечной радиации, который незначительно меняется в цикле солнечной активности. Изменение прозрачности атмосферы под воздействием солнечных и галактических космических лучей, солнечного ветра и геомагнитных бурь модулирует поток полной солнечной радиации и приводит к значительным вариациям глобальной температуры даже при условии постоянства потока полной солнечной радиации. Важными элементами этой сложной цепи действия разных факторов на климат являются антропогенное и вулканическое влияние. В работе представлены изменения потока полной солнечной радиации в циклах солнечной активности и возможное влияние этих изменений на климат Земли. Рассмотрены различные солнечные явления, которые могут привести к этим изменениям: вариации солнечного радиуса, температурные флуктуации солнечной поверхности, активные области и корональные дыры. Представлены результаты сопоставления потока полной солнечной радиации, вулканической активности и годовых вариаций глобальной температуры Земли в 20 -23 солнечных циклах. Показано, что усиления вулканической активности и понижения потока полной солнечной радиации совпадают с максимумами модуля межпланетного магнитного поля и с возрастанием количества рекуррентных магнитных бурь. Эти изменения наблюдаются на спадах солнечных циклов и могут понижать глобальную температуру в среднем от 0.1°C до 0.2°C в течении 1-2 лет.

**секция ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЕ
ТОКОВЫХ СЛОЕВ**

КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СФЕРИЧЕСКОГО ТОКОВОГО СЛОЯ

Р.А. Кислов¹, Х.В. Малова^{1,2}, И.С. Веселовский²

¹ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, kr-rk@bk.ru

²Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Отдел излучений и вычислительных методов, г.Москва, Россия

В работе представлено обобщение модели токового слоя Харриса для сферической геометрии. Рассмотрено два случая. В первом учитывается только наличие дрейфовой скорости в азимутальном направлении. Получившийся токовый слой отличается от плоского случая увеличивающейся с ростом радиуса толщиной и квадратично спадающей по радиусу концентрацией плазмы при сохранении одномерности по всем остальным плазменным параметрам. Добавление электрического поля, нормального к токовому слою, приводит к смещению его нейтральной плоскости. В более сложном случае предполагается наличие значительного радиального дрейфа (как в солнечном ветре). В результате нетривиальные решения возможны только в двумерном обобщении модели, в котором токовый слой может иметь сложную структуру и быть ограниченным в пространстве.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ДИНАМИКА ИОНОВ АРГОНА И КРИПТОНА В ЛАБОРАТОРНЫХ ТОКОВЫХ СЛОЯХ

Н.П. Кирий, В.С. Марков, А.Г. Франк, Д.Г. Васильков, Е.В. Воронова
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Россия, kyrie@fpl.gpi.ru

Доклад посвящен результатам экспериментального исследования динамики тяжелых ионов в лабораторных токовых слоях. Данная работа была инициирована исследованиями эффекта Холла в токовых слоях, которые проводятся в последнее время в Отделе физики плазмы ИОФ РАН [1,2].

Исследования проводились на установке ТС-3D спектральными методами [3-5]. Токовые слои создавались при разряде в аргоне и криптоне в магнитном поле с X линией, градиент магнитного поля составлял ~ 0.6 кГс/см, начальное давление рабочего газа ~ 30 мТорр, амплитудная величина электрического тока в слое – 45 кА. Эксперименты проводились в основном в 2D магнитных конфигурациях, ряд экспериментов был выполнен в 3D магнитных конфигурациях, в которых вдоль направления тока прикладывалось однородное магнитное поле с индукцией ~ 3 кГс [6].

Измерения проводились с помощью двухканальной оптической схемы, в которой излучение плазмы собиралось как из центральной квазицилиндрической области, вытянутой вдоль направления тока в слое, так и вдоль большего поперечного размера - ширины слоя, что позволяло определять температуру и энергию направленного движения атомов и ионов. Пространственное разрешение измерений составляло ~ 2.6 см [3].

Одни и те же участки спектра регистрировались одновременно в обоих направлениях, в одном импульсе работы экспериментальной установки, с помощью программируемой цифровой электронно-оптической камеры, длительность строб-импульса составляла $\Delta t_{\text{gate}} = 1$ мкс. Регистрировались в основном спектральные линии ионов аргона Ar II 480.6 нм и криптона: Kr II 473.9 и Kr III 501.6 нм, а также ионов углерода: C III 464.7 нм и C IV 581.2 нм. Углерод присутствовал в разряде в качестве примеси.

Сравнительный анализ результатов экспериментов показал, что максимальные температуры ионной компоненты плазмы в токовых слоях, сформированных при разряде в аргоне и криптоне в 2D магнитных конфигурациях, находятся в диапазоне 90 – 125 эВ, при этом нагрев ионов аргоновой плазмы происходит почти вдвое быстрее. Показано, что ионы с максимальной тепловой энергией локализованы в центральной области токового слоя, в окрестности X линии. Установлено, что максимальная энергия направленного движения ионов аргона, ускоренных вдоль ширины слоя, в среднем составляет ~ 70 эВ, а ионов криптона ~ 450 эВ.

Работа выполнена в рамках Госзадания № 01200953488 «Динамика токоносящей плазмы в трехмерных магнитных конфигурациях» и при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 15-02-03644, и Программой ОФН РАН IV.2.14 «Динамика разреженной плазмы в космосе и в лаборатории».

ЛИТЕРАТУРА

1. Франк А.Г., А.В. Артемьев, Л.М. Зеленый // ЖЭТФ 2016, Т.150, вып.2 (10). С.807.
2. Франк А.Г., Г.В. Островская, Е.В. Юшков и др. // Космические исследования 2017. Т.55 (1).
3. Кирий Н.П., А.Г. Франк // Физика плазмы 2012. Т.38. С.1042.
4. Кирий Н.П., В.С. Марков, А.Г. Франк // Письма в ЖЭТФ 2012. Т.95. С.17.
5. Кирий Н.П., В.С. Марков, А.Г. Франк и др.// Физика плазмы 2016. Т.42. С.563.
6. Франк А.Г., Н.П. Кирий //Успехи прикладной физики 2015. Т.3. С.454.

секция ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И ХАОС

УПОРЯДОЧЕННОЕ И ХАОТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ЛИНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОКРЕСТНОСТИ ПРОСТОЙ СИСТЕМЫ ТОКОВЫХ ВИТКОВ

А.Т. Лукашенко¹, И.С. Веселовский^{1,2}

¹НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, a_lu@mail.ru

²ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

Согласно недавним исследованиям [1, 2], хаотическое поведение линий магнитного поля может наблюдаться даже вблизи очень простых систем токов, в частности, в окрестности двух сцепленных токовых колец, расположенных в перпендикулярных плоскостях.

Проведённое детальное рассмотрение данной системы показывает, что на больших расстояниях она с высокой степенью точности эквивалентна диполю, а на малых — каждый проводник можно аппроксимировать линейным током, и воздействие возмущений от удалённых участков системы в последнем случае приводит к приближённой намотке линий магнитного поля на деформированные тороиды, охватывающие каждое из колец. Также существует область, включающая удалённую от колец часть пространства, в которой происходит навитие линий на вложенные друг в друга топологические торы, охватывающие систему как целое, через «дырки» которых проходит ось общего диполя системы. Переход между этими совокупностями магнитных поверхностей с упорядоченным поведением линий поля осуществляется через область, в которой поведение линий является хаотическим за исключением отдельных участков («магнитных островов»), образующихся вблизи некоторых из замкнутых линий поля.

Таким образом, поведение линий магнитного поля в данной системе токов является «хорошим» в том смысле, что они остаются в ограниченной части пространства (исключая линию, идущую по оси общего диполя), не приближаясь в то же время сколь угодно близко к кольцам, а область хаотичности имеет ограниченные пространственные размеры. Такого рода системы из токовых витков в дальнейшем могут быть использованы для моделирования магнитных полей в короне Солнца, в частности, в качестве модификации метода МСТ (magnetic charge topology).

ЛИТЕРАТУРА

1. Aguirre J., Peralta-Salas D. Realistic examples of chaotic magnetic fields created by wires // EPL, 2007. V. 80. 60007.
2. Hosoda M., Miyaguchi T., Imagawa K., Nakamura K. Ubiquity of chaotic magnetic-field lines generated by three-dimensionally crossed wires in modern electric circuits // Phys. Rev. E., 2009. V. 80. 067202.